

✓

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

AVALIAÇÃO DE UM TRECHO RODOVIÁRIO
EXPERIMENTAL COM BASE DE MACADAME SECO

GLAUCO PONTES FILHO

Orientador: Prof. Dr. MANOEL HENRIQUE ALBA SÓRIA.

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036171

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

SÃO CARLOS-SP
MARÇO/1994



Class. <u>Tese - EESC</u>
Curr. <u>4533</u>
Tombo <u>063/94</u>

31140036171

Transportes

st 0739212

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Mércia de Araújo Pontes.

PENSAMENTOS

Pesquisa básica é quando estou
fazendo o que não sei o que estou fazendo.

WHERNER VON BRAUN
1912-1977
Engenheiro alemão

Visão é a arte de enxergar coisas invisíveis.

JONATHAN SWIFT
1667-1745
Escritor Inglês

Viver é a coisa mais rara do mundo.
A maioria das pessoas apenas existe.

OSCAR WILDE
1854-1900
Escritor Inglês

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória, nosso orientador.

Aos professores do Departamento de Transportes da EESC/USP, em especial aos professores Eiji Kawamoto, João Alexandre Widmer e Glauco Túlio Pessa Fabbri.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. José Bernardes Felex pelo inestimável incentivo, apoio e pela competente atuação como chefe do Departamento de Transportes da EESC/USP, e ao Prof. Dr. Antônio Clóvis Pinto Ferraz, pelos seus sábios conselhos que nunca me deixaram esmorecer.

Aos funcionários do Departamento de Transportes da EESC/USP, em especial ao Carlos, pela colaboração na área computacional, e ao Nelson, pelas sugestões.

Aos amigos Antônio João da Silva, Ilce de Oliveira Campos, Fernando José Rosalen, Roberto Toshimitsu Aramaki, Benjamin J. R. dos Santos, Luzenira Alves Brasileiro, Vânia Maria Pampolha, Marcelo Victor de Carvalho, Antônio Augusto e demais colegas da Pós-Graduação do Departamento de Transportes da EESC/USP, pela amizade.

Aos engenheiros Rubens Brazetti, José Pesuschi e Reginaldo Prado, do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, pela valiosa contribuição no fornecimento dos dados que tornaram possível este trabalho.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

PÁGINA

Lista de Figuras.....	vii
Lista de Fotografias.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Lista de Abreviaturas e Símbolos.....	xii
Resumo.....	xiv
<i>Abstract</i>	xiv
1. Introdução.....	01
2. O Trecho Laboratório Escola.....	03
3. Características da Região.....	05
3.1. Relevo.....	05
3.2. Vegetação Primária.....	05
3.3. Clima.....	06
3.4. Litologia.....	08
3.5. Pedologia.....	08
3.7. Ensaio Físicos do Solo.....	10
4. Projeto da Pavimentação.....	12
4.1. Considerações Iniciais.....	12
4.2. Base de Macadame Seco.....	14
4.2.1. A Evolução da Construção de Estradas de Pedra (Antecedentes Históricos).....	14
4.2.2. O Macadame Seco Utilizado na Obra.....	18
4.3. Revestimentos.....	20
4.3.1. Tratamento Superficial Triplo	20
4.3.2. Macadame Betuminoso.....	23
4.3.3. Tratamento Superficial Quádruplo.....	26
4.3.4. Pré-Misturado a Frio.....	27
4.3.5. Pré-Misturado a Frio Denso.....	30
5. Avaliação dos Segmentos.....	33
5.1. Tráfego.....	34
5.1.1. Volume de Tráfego.....	34
5.1.2. Número Equivalente de Operações do Eixo Padrão.....	34

5.2. Estudo Deflectométrico.....	37
5.2.1. Introdução.....	37
5.2.2. Análise Estatística das Deflexões Recuperáveis.....	37
5.3. <i>Present Serviceability Rating (PSR) e Present Serviceability Index (PSI)</i>	46
5.4. Avaliação Subjetiva da Superfície.....	49
5.4.1. Introdução.....	49
5.4.2. Procedimento de Avaliação.....	49
5.4.3. Cálculo dos Valores de Serventia Atual.....	50
5.5. Avaliação Objetiva da Superfície.....	51
5.5.1. Flecha de Trilha de Roda.....	51
5.5.1.1. Introdução.....	51
5.5.1.2. Cálculo das Médias e Variâncias das Flechas.....	53
5.5.2. Inventário do Estado da Superfície dos Pavimentos.....	55
5.5.3. Índice de Gravidade Global (IGG).....	60
5.5.3.1. Introdução.....	60
5.5.3.2. Cálculo do IGG dos Trechos.....	64
5.6. <i>Pavement Condition Index (PCI)</i>	73
5.6.1. Introdução.....	73
5.6.2. Adaptação ao Estudo.....	75
5.6.3. Cálculo do PCI.....	77
6. Análise Estatística.....	81
6.1. Introdução.....	81
6.2. Métodos de Tukey e Scheffé.....	83
6.3. Aplicação da Análise de Variância.....	84
7. Análise dos Resultados.....	97
8. Conclusões e Recomendações.....	99
Referências Bibliográficas.....	102
Bibliografia.....	106
Anexo A: Macadame Seco - Especificação de Serviço.....	108
Anexo B: Macadame Seco - Aspectos Particulares das Especificações.....	117
Anexo C: Fotografias.....	127
Anexo D: Programas para Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG).....	133
Anexo E: Glossário.....	140
Anexo F: Ábacos do Método PCI.....	143

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº	PÁGINA
2.1- Localização do Trecho Laboratório Escola (TLE).....	04
3.1- Esboço do relevo do Estado do Paraná.....	06
3.2- a) Isoietas anuais (mm); b) temperatura anual média (°C).....	07
3.3- Perfil típico de um solo.....	09
3.4- Variação da porcentagem de argila com a profundidade em alguns perfis de jazidas da região.....	10
4.1- Sarjetas tipo “1” e “3”.....	14
4.2- Esquema de pavimento da época do Império Romano.....	16
4.3- Faixa granulométrica II para macadame seco.....	19
4.4- Faixa granulométrica I-4 MGA DER/PR (TST - 1ª camada).....	21
4.5- Faixa granulométrica I-4 MGA DER/PR (TST - 2ª camada).....	21
4.6- Faixa granulométrica I-4 MGA DER/PR (TST - 3ª camada).....	22
4.7- Faixa granulométrica I-E para macadame betuminoso (DNER).....	24
4.8- Faixa granulométrica II-A para macadame betuminoso (DNER).....	25
4.9- Faixa granulométrica III-A para macadame betuminoso (DNER).....	25
4.10- Faixa granulométrica I (IBP) para pré-misturado a frio.....	29
4.11- Faixa granulométrica C para CBUQ (DNER).....	32
5.1- Deflectograma do segmento 17-A (LE), estações 1 a 22.....	39
5.2- Deflectograma do segmento 17-A (LE), estações 23 a 45.....	39
5.3- Deflectograma do segmento 17-A (LD), estações 1 a 22.....	40
5.4- Deflectograma do segmento 17-A (LD), estações 23 a 45.....	40
5.5- Deflectograma do segmento 17-B (LE), estações 46 a 64.....	41
5.6- Deflectograma do segmento 17-B (LE), estações 65 a 83.....	41
5.7- Deflectograma do segmento 17-B (LD), estações 46 a 64.....	42
5.8- Deflectograma do segmento 17-B (LD), estações 65 a 83.....	42
5.9- Deflectograma do segmento 17-C (LE), estações 84 a 100.....	43
5.10- Deflectograma do segmento 17-C (LD), estações 84 a 100.....	43
5.11- Deflectograma do segmento 17-D (LE), estações 101 a 108.....	44
5.12- Deflectograma do segmento 17-D (LD), estações 101 a 108.....	44
5.13- Deflectograma do segmento 17-E (LE), estações 109 a 115.....	45
5.14- Deflectograma do segmento 17-E (LD), estações 109 a 115.....	45
5.15- O conceito de serventia-desempenho como desenvolvido por Carey e Irick.....	46

5.16-	Formulário de Avaliação do PSR usado no “AASHO Road Test”.....	47
5.17-	Ficha de avaliação de serventia.....	50
5.18-	Medidor de flecha de trilha de roda do “AASHO Road Test”.....	51
5.19-	Aparelho para medição de flecha de trilha de roda.....	52
5.20-	Notações utilizadas.....	54
5.21-	Localização das estações de medição de defeitos.....	55
5.22-	Correlação teórica entre o PSI e o IGG.....	63
5.23-	Conceito de desempenho de pavimentos utilizando o PSI.....	71
5.24-	Evolução do IGG com o tempo.....	72
5.25-	Evolução do PSI com o tempo.....	72
5.26-	Passos para o cálculo do PCI.....	74
5.27-	Evolução do PCI com o tempo.....	80
8.1-	Atividades principais em um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos.....	101

LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTO Nº	PÁGINA	
2.1-	Trecho Laboratório Escola.....	03
4.1-	Detalhe da drenagem superficial (sarjeta).....	14
4.2-	Construção de uma base Telford no Condado Mercier, em 1911.....	17
4.3-	Detalhe do agregado graúdo utilizado na obra.....	18
5.1-	Detalhe da flecha de trilha de roda.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA Nº	PÁGINA
3.1- Ensaio físico do solo (Método MCT).....	10
3.2- Ensaio físico do solo (Método DNER).....	11
4.1- Resumo das soluções de pavimentação (segmento 17).....	12
4.2- Soluções de pavimentação adotadas no TLE.....	13
4.3- Faixas granulométricas de material de enchimento.....	19
4.4- Faixas granulométricas para TST (Instrução I-4 MGA DER/PR).....	20
4.5- Seqüência de descarga de materiais betuminosos e agregados minerais e suas respectivas taxas médias (TST).....	23
4.6- Faixas granulométricas para macadame betuminoso (DNER).....	24
4.7- Seqüência de descarga de materiais betuminosos e agregados minerais e suas respectivas taxas médias (MB).....	26
4.8- Seqüência de descarga de materiais betuminosos e agregados minerais e suas respectivas taxas médias (TSQ).....	27
4.9- Composição granulométrica da mistura de agregados utilizada no PMF.....	28
4.10- Composições granulom. individuais médias dos agregados britados (PMFD)...	30
4.11- Composição granulométrica média do agregado natural (PMFD).....	31
4.12- Composição granulométrica da mistura de agregados (PMFD).....	31
4.13- Resultados da dosagem de PMFD (Método Marshall).....	32
5.1- Volume diário médio de veículos no TLE.....	34
5.2- Fatores de Equivalência da AASHTO.....	35
5.3- Cálculo do Fator de Carga (FC).....	35
5.4- Números “N”	36
5.5- Valores de “z”.....	38
5.6- Análise estatística das deflexões recuperáveis.....	38
5.7- Resultados da Avaliação Subjetiva da Superfície (VSA).....	50
5.8a- Análise estatística da flechas nas trilhas de roda.....	54
5.8b- Análise estatística da flechas nas trilhas de roda.....	55
5.9- Quantitativo dos defeitos no pavimento (08/90).....	56
5.10- Quantitativo dos defeitos no pavimento (06/91).....	57
5.11- Quantitativo dos defeitos no pavimento (10/91).....	57
5.12- Quantitativo dos defeitos no pavimento (02/92).....	57
5.13- Codificação das ocorrências na superfície do pavimento.....	58

5.14-	Áreas de defeitos observados nos inventários (em porcentagem).....	59
5.15-	Classificação dos defeitos no pavimento.....	61
5.16-	Fatores de ponderação para cálculo do IGI.....	61
5.17-	Limites de IGG.....	62
5.18-	Novos limites de IGG.....	63
5.19-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-A (08/90).....	64
5.20-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-A (06/91).....	64
5.21-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-A (10/91).....	65
5.22-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-A (02/92).....	65
5.23-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-B (08/90).....	65
5.24-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-B (06/91).....	66
5.25-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-B (10/91).....	66
5.26-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-B (02/92).....	66
5.27-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-C (08/90).....	67
5.28-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-C (06/91).....	67
5.29-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-C (10/91).....	67
5.30-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-C (02/92).....	68
5.31-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-D (08/90).....	68
5.32-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-D (06/91).....	68
5.33-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-D (10/91).....	69
5.34-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-D (02/92).....	69
5.35-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-E (08/90).....	69
5.36-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-E (06/91).....	70
5.37-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-E (10/91).....	70
5.38-	Planilha de cálculo do IGG. Segmento 17-E (02/92).....	70
5.39-	Resumo dos valores de IGG e respectivos conceitos.....	71
5.40-	Tipos de defeitos em pavimentos flexíveis considerados no PCI.....	75
5.41-	Adaptação dos defeitos (IGG para PCI).....	76
5.42-	Densidades dos defeitos.....	77
5.43-	Valores de dedução dos segmentos.....	78
5.44-	Valores do PCI dos segmentos.....	79
5.45-	Avaliação qualitativa do PCI.....	79
5.46-	Estratégias de manutenção e reabilitação.....	80
6.1-	Quadro de resultados observados (x = variável mensurada).....	82
6.2-	Quadro de ANOVA para amostras de tamanhos diferentes.....	83
6.3-	Valores médios das deflexões recuperáveis (08/90).....	85
6.4-	Valores médios das deflexões recuperáveis (06/91).....	86
6.5-	Valores médios das deflexões recuperáveis (10/91).....	87

6.6-	Valores médios das deflexões recuperáveis (02/92).....	88
6.7-	Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (08/90).....	89
6.8-	Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (06/91).....	89
6.9-	Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (10/91).....	90
6.10-	Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (02/92).....	90
6.11-	Valores médios das flechas nas trilhas de roda (08/90).....	91
6.12-	Valores médios das flechas nas trilhas de roda (06/91).....	92
6.13-	Valores médios das flechas nas trilhas de roda (10/91).....	93
6.14-	Valores médios das flechas nas trilhas de roda (02/92).....	94
6.15-	Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (08/90).....	95
6.16-	Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (06/91).....	95
6.17-	Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (10/91).....	95
6.18-	Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (02/92).....	96
7.1-	Resultados dos métodos de avaliação utilizados (02/92).....	97
7.2-	Resultados do confronto entre os segmentos.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DER/PR	- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná
DER/SP	- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DPD	- Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento
ABPv	- Associação Brasileira de Pavimentação
TLE	- Trecho Laboratório Escola
PMF	- Pré-Misturado a Frio
MAC BET	- Macadame Betuminoso
TSQ	- Tratamento Superficial Quádruplo
TST	- Tratamento Superficial Triplo
PMFD	- Pré-Misturado a Frio Denso
CBUQ	- Concreto Betuminoso Usinado a Quente
IPAI	- Instituto de Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial
MGA	- Maringá
ASTM	- American Society for Testing and Materials
IGI	- Índice de Gravidade Individual
IGG	- Índice de Gravidade Global
PCI	- Pavement Condition Index
ME	- Método de Ensaio
ES	- Especificação de Serviço
ES-D	- Especificação de Serviço - Drenagem
ES-P	- Especificação de Serviço - Pavimentação
PRO	- Procedimento
TER	- Terminologia
AASHO	- American Association of State Highway Officials
AASHTO	- American Association of State Highway and Transportation Officials
ANOVA	- Análise de Variância
TE	- Trilha de roda externa
TI	- Trilha de roda interna
LD	- Lado direito
LE	- Lado esquerdo
CBR	- California Bearing Ratio
LL	- Limite de Liquidez
IP	- Índice de Plasticidade

NCHRP	- National Cooperative Highway Research Program
TRB	- Transportation Research Board
HRB	- Highway Research Board
IPR	- Instituto de Pesquisas Rodoviárias
MCT	- Miniatura Compactado Tropical
RBV	- Relação Betume-Vazios
RR	- Ruptura Rápida
RM	- Ruptura Média
RL	- Ruptura Lenta
CM	- Cura Média
IBP	- Instituto Brasileiro de Petróleo
CAP	- Cimento Asfáltico de Petróleo
VSA	- Valor de Serventia Atual
ISA	- Índice de Serventia Atual
PSR	- Present Serviceability Rating
PSI	- Present Serviceability Index
Dc	- Deflexão Característica
VDM	- Volume Diário Médio
N	- Número Equivalente de Operações do Eixo Padrão de 8,2 toneladas
VD	- Valor de Dedução
VTD	- Valor Total de Dedução
VDC	- Valor de Dedução Corrigido
QI	- Quociente de Irregularidade
$F_{(SS)}$	- Fator de Equivalência de Carga - Eixo Simples Rodagem Simples
$F_{(SD)}$	- Fator de Equivalência de Carga - Eixo Simples Rodagem Dupla
$F_{(TD)}$	- Fator de Equivalência de Carga - Tandem Duplo Rodagem Dupla
σ	- Desvio Padrão
σ^2	- Variância

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação comparativa de segmentos rodoviários experimentais com revestimentos de pré-misturado a frio, macadame betuminoso, tratamento superficial quádruplo, tratamento superficial triplo e pré-misturado a frio denso, todos executados sobre base de macadame seco. Foram realizados os estudos do tráfego e das deflexões recuperáveis, além das avaliações objetiva e subjetiva da superfície dos pavimentos, sendo calculados os seguintes índices: Número Equivalente de Operações do Eixo Padrão de 8.2 toneladas, Índice de Gravidade Global (IGG), Valor de Serventia Atual (VSA), *Present Serviceability Index* (PSI) e *Pavement Condition Index* (PCI). Estes índices foram classificados em ordem decrescente de desempenho, sendo eleito o revestimento que melhor se adaptou à base de macadame seco.

ABSTRACT

This work presents a comparative evaluation of different bituminous pavement surface layers: cold laid plant mix, bituminous macadam and surfaces treatments, built over a dry bound macadam base layer. A traffic study was carried out and deflections were measured with Benkelman beam. The following indexes have been calculated: Equivalent Single Axle Load, Global Gravity Index (IGG), Present Serviceability Rating (PSR), Present Serviceability Index (PSI) and Pavement Condition Index (PCI). Those indexes were classified in a descending order of performance. The better bituminous surface for the dry bound macadam was indicated.

1. Introdução

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR), impulsionado pelo grande surto agrícola ocorrido na década de 70, iniciou em 1975 a construção de pavimentos de baixo custo para rodovias vicinais e alimentadoras, de tráfego médio e baixo. Aproximadamente 4.000 km de rodovias deveriam ser construídas no prazo de 4 anos.

O sucesso de muitos destes segmentos e trechos experimentais, conduziu o DER/PR à criação de um projeto com o objetivo de promover um compromisso entre a pesquisa de novas técnicas de construção de pavimentos de baixo custo, e o treinamento de engenheiros fiscais e de pessoal de nível médio, além de construir um trecho rodoviário útil à comunidade.

Surge então o Trecho Laboratório Escola. É um trecho porque são apenas 18,5 quilômetros. É um laboratório porque mais de dez soluções de pavimentação alternativa foram construídas, testadas e comparadas. É uma escola porque ensina.

No curto trecho entre Assaí, importante município agrícola do norte do Estado, e Pau D'Alho, passando por Figueira e Cebolão, a Secretaria dos Transportes do Estado do Paraná, através do seu Departamento de Estradas de Rodagem, investiu em uma experiência inovadora: instalou o primeiro Laboratório-Escola para engenheiros fiscais, laboratoristas e topógrafos do País.

Ao mesmo tempo que homens e máquinas trabalharam na construção do trecho, o DER/PR treinou engenheiros e técnicos e incentivou a busca de novas tecnologias, mais adequadas às características de cada região.

No início realizou-se um projeto de pesquisa que envolveria todas as fases da construção rodoviária. Foram eleitos alguns tópicos especiais como:

1. Estabilização de solos argilosos vermelhos lateríticos.
2. Comparação de desempenho entre brita graduada e macadame hidráulico.
3. Desenvolvimento de um revestimento usinado a frio, de mistura densa.
4. Atividade de ensino e treinamento de técnicos de nível médio e superior.
5. Viabilidade do uso de tubo de PVC em substituição aos tubos de concreto ou cerâmicos na construção de drenos profundos.

Tudo, porém, teve um objetivo principal: definir um material de construção rodoviária de baixo custo, resistente e de fácil execução, para regiões de solo argiloso.

Uma das soluções de pavimentação adotadas no Trecho Laboratório Escola foi a execução de um trecho com base de macadame seco (segmento de número 17). O macadame seco é um tipo de base granular utilizado em pavimentos flexíveis, executado normalmente sobre o próprio subleito regularizado e compactado. Foi recentemente especificado para este fim, porque oferece algumas vantagens:

- É um material de construção rodoviária de baixo custo (britagem mais simples, fácil execução, etc.).
- Em algumas regiões é encontrado naturalmente já fraturado na dimensão adequada (em torno de 10 cm), necessitando apenas uma detonação da jazida para facilitar o carregamento.
- Pode suportar um tráfego de leve a médio durante vários anos.

No Estado do Paraná, algumas centenas de quilômetros já foram construídos com este material, e ainda não se acredita muito na sua eficiência como camada de base, porque tem apresentado problemas em alguns trechos como desagregação das bordas, rupturas plásticas do subleito, etc. A experiência adquirida demonstrou a existência de um estreito relacionamento entre o desempenho desta base e o tipo de revestimento que a protege da ação abrasiva do tráfego.

Aproveitou-se então, no TLE, inclusive para fins didáticos, revestir o macadame seco com várias soluções de baixo custo, e de diferentes técnicas de produção e construção. Dentre os revestimentos, foram escolhidos o pré-misturado a frio, o macadame betuminoso, o tratamento superficial triplo, o tratamento superficial quádruplo e o pré-misturado a frio denso. O objetivo era averiguar a eficácia do macadame seco como camada de base para rodovias rurais, e as influências do tipo de revestimento sobre esta base.

Este trabalho apresenta os resultados do estudo comparativo do desempenho dos segmentos 17-A (pré-misturado a frio), 17-B (macadame betuminoso), 17-C (tratamento superficial quádruplo), 17-D (tratamento superficial triplo) e 17-E (pré-misturado a frio denso), todos executados sobre base de macadame seco.

2. O Trecho Laboratório Escola

O trecho PR-090 - Figueira - Cebolão - Pau D'algo, denominado de Trecho Laboratório Escola (TLE), localiza-se no nordeste do Estado do Paraná, no município de Assaí. Foi um trecho financiado pelo Programa de Rodovias Rurais da Caixa Econômica Federal em 1988, e dividiu-se em 03 lotes:

- O 1º lote tem seu início na PR-090 km 187,9 (FOTO 1 - Anexo C) e termina na bifurcação ao lado da capela na localidade denominada Figueira.
- O 2º lote inicia em Figueira e finaliza na Capela de Nossa Senhora Aparecida, na localidade denominada Cebolão.
- O 3º lote inicia em Cebolão e termina em Pau D'algo.



FOTO 2.1- Trecho Laboratório Escola.

A extensão do trecho é de 18,5 km (4,0 km no 1º lote; 7,5 km no 2º lote e 7,0 km do 3º lote). Essa ligação rodoviária atende cerca de 4.000 habitantes e 760 propriedades rurais. Permite também fácil escoamento de grande parte da produção agrícola do município. A pavimentação asfáltica facilitou ainda o acesso a dez escolas da região.

Os principais produtos cultivados são: soja, trigo, algodão, milho, feijão, arroz, café e horti-fruti-granjeiros. A área de cultivo é de aproximadamente 18.000 hectares. A figura 2.1 mostra a localização do TLE no Estado do Paraná.

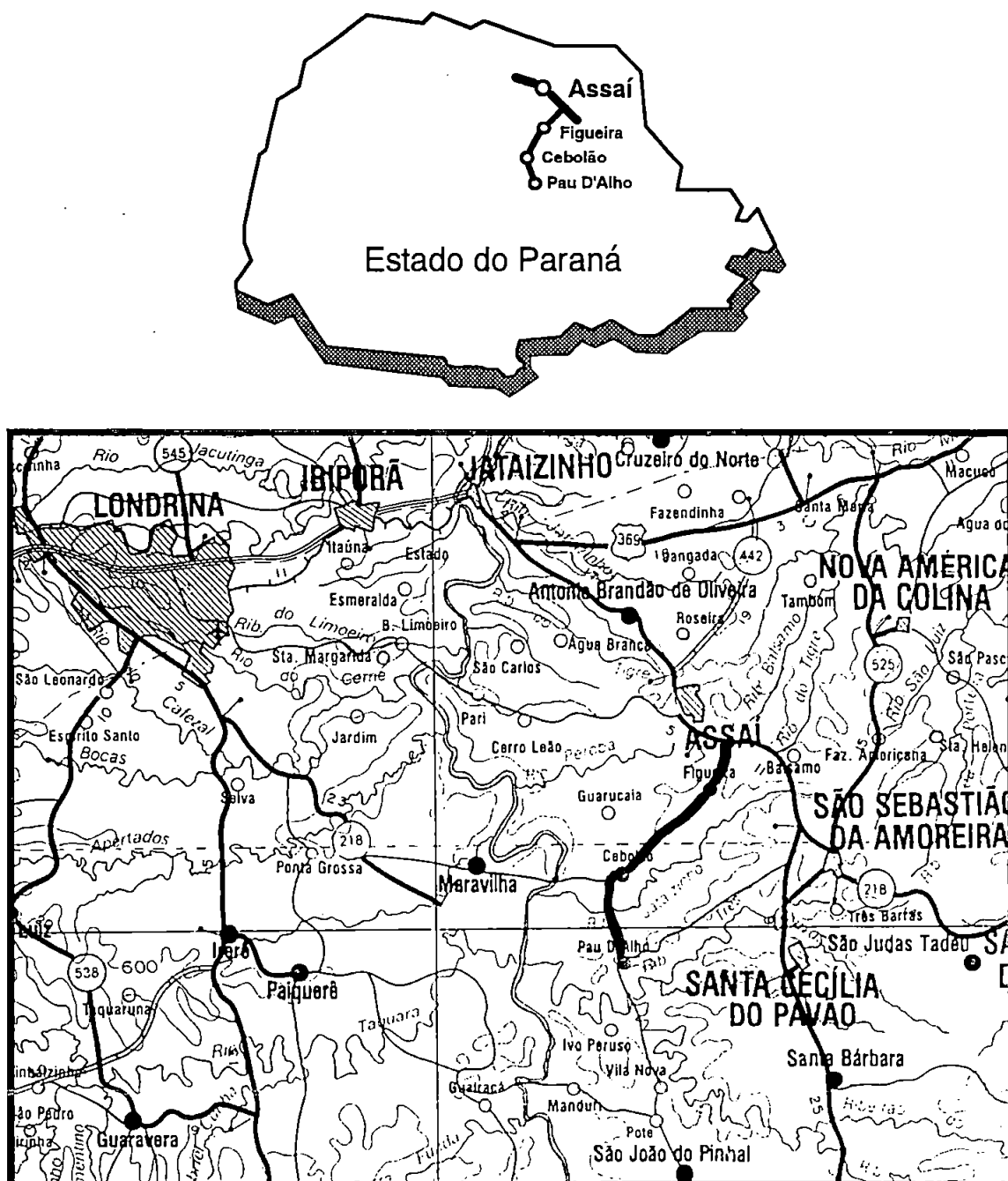


FIGURA 2.1- Localização do Trecho Laboratório Escola (TLE).

3. Características da Região

3.1- RELEVO

O Estado do Paraná possui um dos relevos mais enérgicos do País. Embora no Estado dominem superfícies planas, estas encontram-se soerguidas a grandes altitudes e formam planaltos, algumas vezes limitados por rebordos escarpados, como a Serra do Mar e a Serra Geral. Cinco unidades que se sucedem de leste para oeste compõem o quadro morfológico do Paraná: baixada litorânea, Serra do Mar, primeiro, segundo e terceiro planaltos. Este último, também chamado planalto basáltico, é formado por uma sucessão de derrames basálticos empilhados uns sobre os outros. O trabalho de erosão abriu nesse material uma topografia escalonada em patamares, denominados *trapps* (ENCICLOPÉDIA DELTA LAROUSSE, 1973). A figura 3.1 mostra o esboço do relevo do Estado.

Os segmentos do TLE situam-se em uma região de relevo suavemente ondulado (declives de 3 a 8%) a ondulado (8 a 20%), com elevações de topo levemente arredondados e declives pouco inclinados a inclinados (EMBRAPA, 1984). A altitude varia normalmente entre 360 e 550 m acima do nível do mar. Estes segmentos estão incluídos no 3º Planalto Paranaense.

3.2- VEGETAÇÃO PRIMÁRIA

A vegetação remanescente é do tipo floresta tropical subperenifólia. Esta floresta caracteriza-se pela perda parcial das folhas no estrato superior, durante a estação seca. Apresenta normalmente árvores altas, de troncos

cilíndricos e grandes diâmetros, copas em parassol e muitos cipós, árvores médias de copas mais fechadas, árvores pequenas, ervas e arbustos. Seus exemplares mais comuns são: peroba, figueira-branca, cedro, guaritá e outras (EMBRAPA, 1984).

A partir da segunda metade da década de 50, a região sofreu um acelerado desmatamento, deixando apenas 2% da floresta primitiva. Com as derrubadas e as queimadas, aparece uma vegetação muito fraca, composta quase só de samambaia, taquara, capim-amargoso e outros.

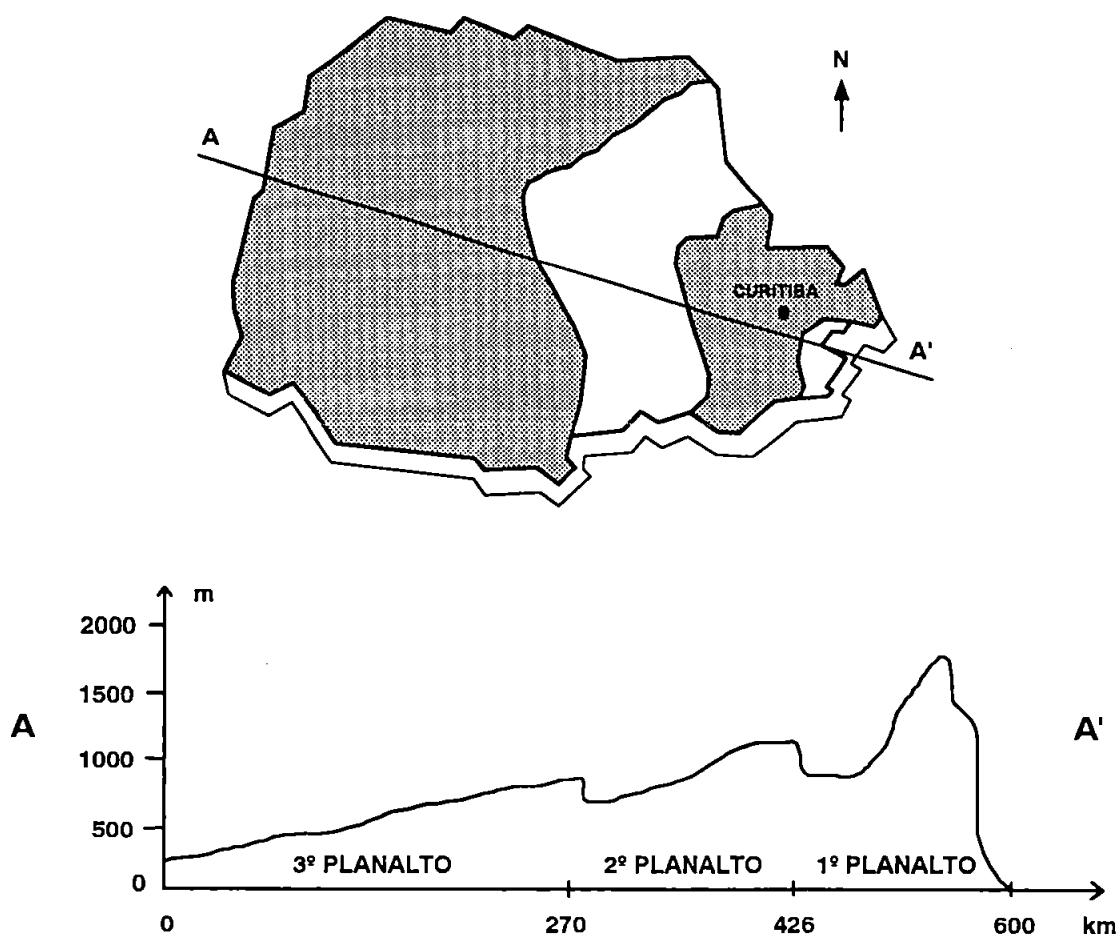


FIGURA 3.1- Esboço do relevo do Estado do Paraná (ARANOVICH, 1985).

3.3- CLIMA

Segundo ANDRADE (1964), os tipos climáticos do Brasil pela classificação Koeppen são:

- **Af** - equatorial, úmido, quente, sem estação seca, médias térmicas acima de 18°C;
- **Aw** - clima de savana, úmido, quente, com estação seca; o mês mais úmido de verão deve no mínimo apresentar 10 vezes a chuva do mês mais seco de inverno;
- **Am** - litorâneo, com chuvas concentradas no verão;
- **Bsh** - semi-árido, quente, seco; as chuvas se concentram numa pequena estação;
- **Cwa** - mesotérmico, úmido, com inverno seco, temperatura do mês mais quente acima de 22°C;
- **Cwb** - mesotérmico, úmido ou tropical de altitude, com inverno seco, temperatura do mês mais quente abaixo de 22°C.
- **Cfa** - mesotérmico, sem estação seca, temperatura do mês mais quente acima de 22°C.
- **Cfb** - mesotérmico, sem estação seca, temperatura do mês mais quente abaixo de 22°C.

De acordo com a divisão climática do Estado do Paraná (MAACK, 1968), baseada em Koeppen, verifica-se que o território paranaense está sob a influência de três tipos climáticos, a saber: **Cfa**, **Cfb** e **Af**.

Com relação aos aspectos pluviométricos, em praticamente todo o Estado a altura média da precipitação anual está compreendida entre 1.250 e 2.000 mm (NIMER, 1977). A figura 3.2 mostra a diferenciação climática do Estado.

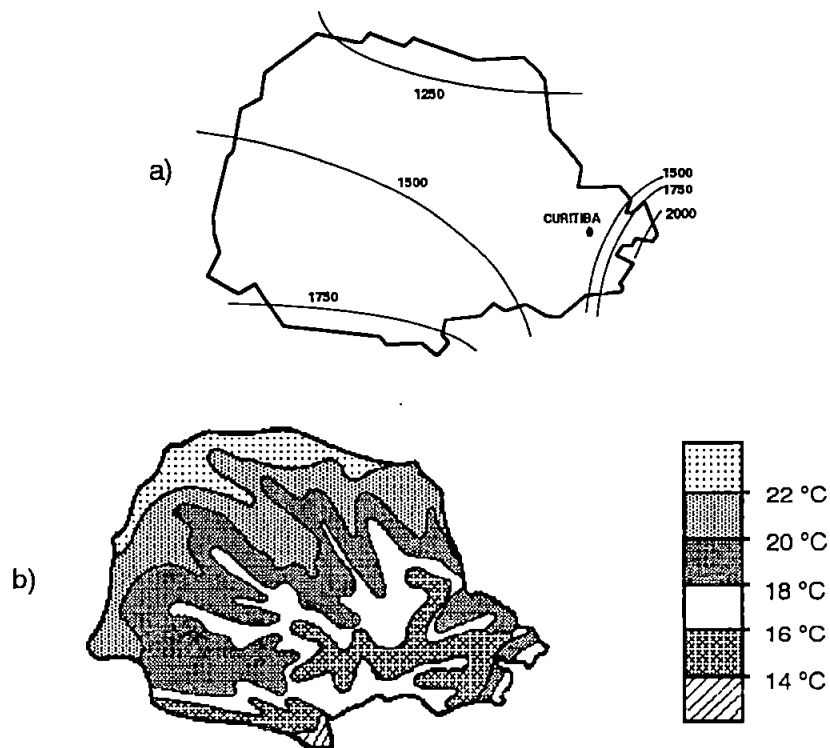


FIGURA 3.2- a) Isoietas anuais (mm); b) temperatura anual média (°C) (NIMER, 1977).

Os segmentos do TLE situam-se numa área de tipo climático **Cfa** da classificação Koeppen. Em determinados anos, o clima ficaria melhor classificado como **Cwa** em vista da existência de um período mais seco no inverno (MAACK, 1968).

3.4- LITOLOGIA

As rochas basálticas do 3º planalto paranaense possuem relativa uniformidade de composição, sendo constituídas principalmente por plagioclásios cálcicos, sendo mais freqüentes a labradorita, augita e pigeonita, ocorrendo subordinadamente, titano-magnetita, apatita, quartzo, feldspato K e, raramente, biotita. A textura basáltica, rica em vidro intersticial, é característica. Relacionada com as rochas basálticas, encontram-se rochas comagmáticas, como diabásios, diorito-pórfiro e quartzo-diorito.

Os diabásios que constituem a grande maioria dos diques e "sills", ocorrem com textura ofítica e são constituídos predominantemente por plagioclásio e clinopiroxênio. Como acessórios, encontram-se minerais opacos, apatita e quartzo. Os dioritos são constituídos por plagioclásio (andesina), piroxênio, hornblenda, biotita, quartzo e opacos, além de apatita, zircão e titanita. Os dioritos-pórfiros ocorrem como os dioritos, no topo do *trapp* basáltico (região de São Jerônimo da Serra, próximo à cidade de Assaí). No aspecto macroscópico, os dioritos-pórfiros apresentam cor cinza-escura, salpicada de manchas claras. A matriz é fina, sobressaindo dela fenocristais de plagioclásio, piroxênio, hornblenda, biotita, pirita e magnetita. O *trapp* basáltico repousa discordantemente sobre os arenitos eólicos Botucatu, sendo recoberto por sua vez, em larga extensão na parte noroeste, por sedimentos mais jovens, representados pela formação Caiuá (EMBRAPA, 1984).

3.5- PEDOLOGIA

O solo é classificado como Terra Roxa Estruturada Eutrófica "A" (solos com alta fertilidade natural e moderadamente ácidos). Estes solos são formados a partir do produto da meteorização de rochas eruptivas básicas do derrame do *trapp*, do Grupo São Bento (período Jurássico-Cretáceo). Sob esta denominação estão compreendidos solos minerais, não hidromórficos, com horizonte* B textural, com argila de baixa capacidade de troca de cátions, predominantemente caulínicas, com baixo gradiente textural B/A (entre 1,20 e

* Em Pedologia, as camadas que constituem um perfil são denominadas **horizontes** e designam-se pelas letras A (camada superficial), B (subsolo) e C (camada profunda). Esses horizontes, que se diferenciam pela cor e composição química, são ainda subdivididos em outros: A₀, A₁,..., B₁, B₂,... (CAPUTO, 1977, vol.1, p. 16).

1,45), ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio e derivados de rochas eruptivas básicas. São solos de coloração avermelhada, profundos (podem atingir mais de 30 m de profundidade), argilosos, porosos, bem drenados e com seqüência de horizonte A, B, C (figura 3.3).

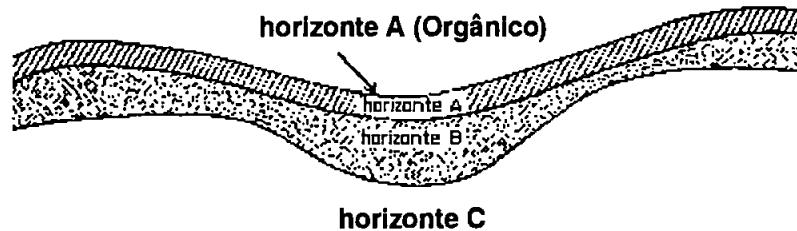


FIGURA 3.3- Perfil típico de um solo (YODER & WITCZAK, 1975).

A cor da Terra Roxa Estruturada Eutrófica é bastante uniforme, especialmente nas áreas de clima tropical, estando compreendida entre o vermelho-escuro-acinzentado e o bruno-avermelhado-escuro na camada superficial e entre bruno-avermelhado-escuro e o vermelho-escuro nos horizontes inferiores. A coloração do horizonte superficial passa a ser mais escura à medida que o clima torna-se mais úmido e frio. A textura no horizonte A é argilosa ou muito argilosa. No horizonte B, em geral, é muito argilosa, diminuindo gradativamente para C.

A estrutura do horizonte A é do tipo granular, moderada e fortemente desenvolvida e a do B é prismática, composta de blocos subangulares e angulares. Estes solos são bastante resistentes quando secos, e plásticos e pegajosos quando úmidos. São características marcantes destes solos: (1) a abundância de materiais pesados, muitos dos quais atraídos por um ímã comum devido aos elevados teores de manganês, (2) o alto grau de floculação da argila no horizonte subsuperficial, e (3) a baixa relação silte/argila no horizonte B (entre 0,08 e 0,25). Com base na reação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, cujos valores oscilam no horizonte B de 1,65 a 2,35, e na capacidade de troca de cátions, com valores corrigidos para carbono relativamente baixos (5 a 12 mE/100 g de argila no horizonte B) e médios (10 a 18 mE/100 g de argila no horizonte B), conclui-se que a atividade do complexo de troca desses solos varia de baixa a média (EMBRAPA, 1984).

Quanto à composição mineralógica das argilas, referente a um perfil de Terra Roxa Estruturada Eutrófica coletado numa região próxima ao TLE, encontrou-se no horizonte B a dominância de amorfos, seguido pela caulinita e "miscelaneous". Na fração silte deste mesmo horizonte, a caulinita é o componente principal, seguida pelos amorfos, hematita e "miscelaneous", em proporções aproximadamente equivalentes. A variação da porcentagem de argila com a profundidade em alguns perfis de solo da região é apresentada na figura 3.4.

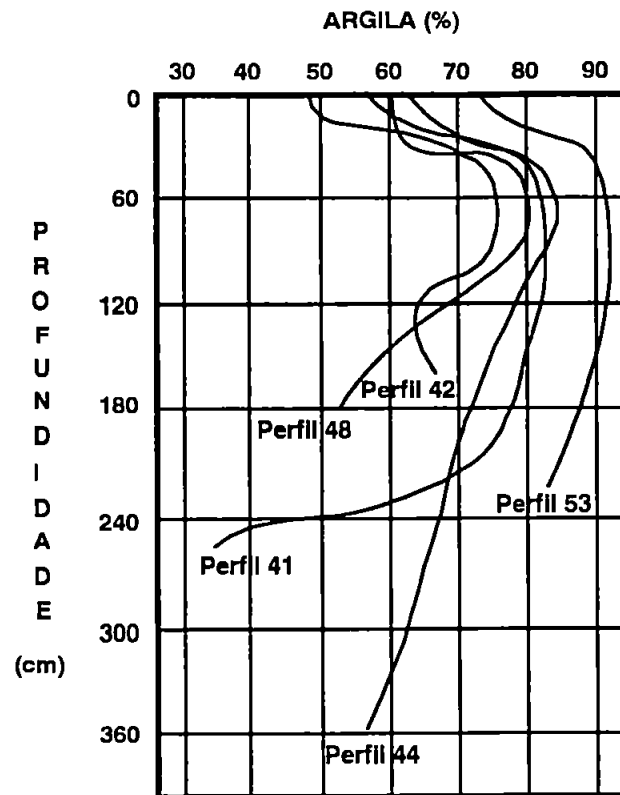


FIGURA 3.4- Variação da porcentagem de argila com a profundidade, em alguns perfis de jazidas da região (EMBRAPA, 1984).

3.6- ENSAIOS FÍSICOS DO SOLO

A seguir (tabelas 3.1 e 3.2) apresentamos os resultados dos ensaios de caracterização do solo da jazida utilizada na construção do Trecho Laboratório Escola. Estes ensaios foram realizados simultaneamente por vários laboratórios do DER/PR, com o objetivo de estudar a dispersão dos resultados obtidos, além da caracterização.

TABELA 3.1- Ensaio físicos do solo (Método MCT).

ENSAIOS	CURITIBA	LONDRINA	MARINGÁ	MÉDIA	σ
Dens. Máx. (g/cm ³)	1,519	1,521	1,505	1,515	0,0087
Umidade (%)	31,37	30,12	28,67	30,05	1,3512
CBR (c/ imersão)	8,58	14,58	14,87	12,68	3,5508
CBR (s/ imersão)	11,54	16,72	15,93	14,73	2,7907
Expansão (%)	0,28	0,049	0,23	0,19	0,1215
Contração (%)	3,57	--	2,31	2,94	0,8910
RIS (%)	72,91	87,20	90,00	83,37	9,1662

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

TABELA 3.2- Ensaio físicos do solo (Método DNER).

ENSAIOS	CURITIBA	LONDRINA	MARINGÁ	MÉDIA	σ
Dens. máx. (g/cm ³)	1.467	1.438	1.462	1.456	0,0155
Umidade (%)	31,28	32,03	32,54	31,95	0,6338
CBR (%)	12,64	12,65	14,09	13,13	0,8343
Expansão (%)	0,25	0,16	0,072	0,161	0,8343
LL (%)	51,03	58,22	56,47	55,24	3,7494
IP (%)	16,75	21,10	17,05	18,30	2,4295
% Pass. # 10	99,95	100,00	100,00	99,98	0,0289
% Pass. # 40	99,20	99,23	99,28	99,24	0,0404
% Pass. # 200	98,15	98,18	97,67	98,00	0,2862
% Diâmetro 0,05 mm	91,22	85,57	89,93	88,91	2,9607
% Diâmetro 0,005 mm	76,72	71,52	60,18	69,47	8,4578
Classificação HRB	A7-5	A7-5	--	--	--

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

4. Projeto da Pavimentação

4.1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Trecho Laboratório Escola (TLE) possui mais de 10 soluções de pavimentação. A tabela 4.1 abaixo apresenta as soluções adotadas no segmento objeto do presente trabalho. Na seqüência, a tabela 4.2 apresenta todas as soluções adotadas no TLE e suas respectivas extensões.

TABELA 4.1- Resumo das soluções de pavimentação (segmento 17).

MATERIAL DA BASE	REVESTIMENTO			DIMENSÕES DA BASE (MAC. SECO)			SEG
	IMPRI- MAÇÃO	ESP. (cm)	TIPO	EXT. (m)	LARG. (m)	ESP. (m)	
BRITA GRAÚDA (4" - 0) + BRITA MIÚDA (3/8" - 0)	CM-30	4 a 5	PRÉ-MISTURADO A FRIO COM CAPA SELANTE (PMF)	1.800	6,6	0,15	17-A
	CM-30	3 a 4	MACADAME BETUMINOSO (MB)	1.500	6,6	0,15	17-B
	CM-30	2 a 3	TRATAMENTO SUPERFICIAL QUÁDRUPLO (TSQ)	700	6,6	0,15	17-C
	CM-30	1,5 a 2,5	TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO (TST)	300	6,6	0,15	17-D
	CM-30	5 a 10	PRÉ-MISTURADO A FRIO DENSO (PMFD)	280	6,6	0,15	17-E

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

TABELA 4.2- Soluções de pavimentação adotadas no TLE.

BASES	REVESTIMENTOS	EXTENSÃO (m)
Solo Argiloso Cal Cimento	TST	750
Solo Argiloso Semi-Encapsulado	TST	290
Solo Argiloso Brita	TST	7.280
Solo Argiloso Brita	PMF	200
Solo Argiloso Brita c/ reforço lateral	TST	2.960
Solo Argiloso Cal Brita	TST	1.140
Bica Corrida	MB	300
Brita Graduada	MB	400
Macadame Seco	PMF	1.800
Macadame Seco	MB	1.500
Macadame Seco	TSQ	700
Macadame Seco	TST	300
Macadame Seco	PMFD	280
Macadame Hidráulico	MB	580
Obs: TST = Tratamento Superficial Triplo PMF = Pré-Misturado a Frio MB = Macadame Betuminoso TSQ = Tratamento Superficial Quádruplo PMFD = Pré-Misturado a Frio Denso		Total = 18.480 m

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

Quanto ao projeto geométrico, não foram necessárias retificações no traçado original da estrada existente, pois a mesma adequou-se aos critérios adotados pelo DER/PR para rodovias rurais, no que diz respeito aos raios mínimos das curvas e rampas máximas admissíveis.

A declividade transversal adotada para rodovias rurais é de 4%. Com o objetivo de evitar um maior movimento de terra, em alguns pontos a declividade foi adaptada à rodovia existente (DPD-DER/PR - Relatório Interno).

Os projetos de drenagem do trecho restringiram-se ao uso de sarjetas tipo "1" e tipo "3" (figura 4.1) em declives longos ou acentuados, desembocando em bacias de contenção. As obras de arte correntes consistiram em bueiros de greide e de passagem. Foram utilizados tubos de concreto armado (CA-2) do tipo ponta e bolsa apoiados em lastro de brita de espessura de 10 cm.

Apenas um dreno profundo foi construído no trecho. Foram utilizados tubos de PVC apoiados numa camada de areia e envoltos com brita 1 1/8".

Na maior parte do TLE optou-se pelos valetões laterais enleivados, a fim de interceptar a drenagem sub-superficial e fornecer solo para alguns pequenos aterros (DPD-DER/PR - Relatório Interno).

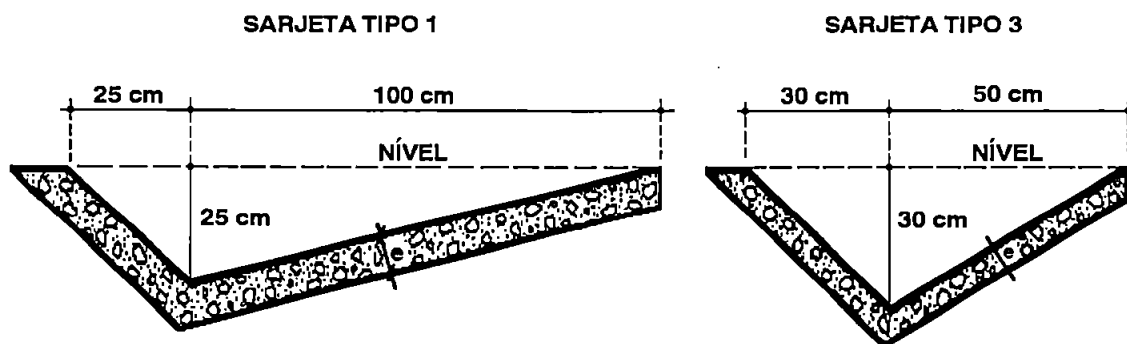


FIGURA 4.1- Sarjetas tipo "1" e "3" (DER/PR ES-D 01/91).



FOTO 4.1- Detalhe da drenagem superficial (sarjeta).

Na seqüência, apresentamos algumas considerações sobre o segmento 17 do Trecho Laboratório Escola, com relação ao tipo de base e de revestimentos utilizados.

4.2- BASE DE MACADAME SECO

4.2.1. A EVOLUÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS DE PEDRA (ANTECEDENTES HISTÓRICOS).

Se compreende facilmente que as pedras naturais, por suas condições de dureza e tenacidade, e pela possibilidade de serem trabalhadas com ferramentas elementares, tenham sido os primeiros materiais utilizados para a construção

de estradas. A arte do emprego de pedras naturais para este fim tem evoluído notavelmente no decorrer do tempo.

Dos primitivos e precários caminhos de terra originaram-se os primeiros caminhos de pedra. As primeiras bases de pedra foram construídas com seixos rolados ou pedra rejuntada, e às vezes com grandes lajes planas.

No século V, A.C., Heródoto relata a existência de grandes caminhos de pedra no Egito, como a grande calçada construída sobre um gigantesco aterro, que serviu para a construção da pirâmide de Quéops. Na China, na Índia e em algumas regiões da América do Sul e outros países, foram encontrados restos de antigos caminhos construídos com pedras.

Os caminhos de pedras da antiga Grécia foram construídos, na maioria dos casos, com grandes lajes de pedra (pedras planas). Nas cidades etruscas encontrou-se restos de pavimentos construídos com paralelepípedos, arranjados segundo arcos de círculo e assentados sobre grandes camadas de areia, semelhantes aos mosaicos atuais.

Estas épocas mais remotas nos deixaram escassos indícios, insuficientes para podermos formar um juízo exato sobre o desenvolvimento dessa classe de trabalhos. Mas, em contrapartida, existem dados bastante completos sobre os trabalhos de pavimentação na época romana.

Em quase todos os países que formaram parte do antigo império romano, se encontram restos mais ou menos completos de seus sistemas de estradas. Por outro lado, os escritores romanos têm feito em suas obras numerosas referências à construção destas vias de comunicação.

Dado que aquela época não se podia contar com uma conservação cuidadosa e constante, os romanos construíam pavimentos de pedra de extraordinária solidez para que resistissem ao tempo. A espessura desses pavimentos alcançava, freqüentemente, um metro ou mais.

A infraestrutura dessas estradas era composta, em geral, de um conjunto de lajes de pedras de 25 a 30 cm de espessura, rejuntadas com argamassa. Sobre estas lajes, estendiam uma capa de argila de 10 a 15 cm, fortemente compactada.

Estas duas camadas eram confinadas lateralmente com pedras de grande altura e espessura. Sobre essas camadas, estendiam uma capa de pedra fragmentada misturada em geral com argamassa, com uma espessura compreendida entre 40 e 50 cm. Esta camada tinha taludes em suas bordas externas.

Por último, sobrepunham uma camada de pedra fragmentada, com uma espessura de 30 cm no centro, e 20 cm nas bordas, como mostra a figura 4.2. As características essenciais das estradas romanas são as grandes espessuras e o emprego de um tipo de cimento para ligar as pedras.

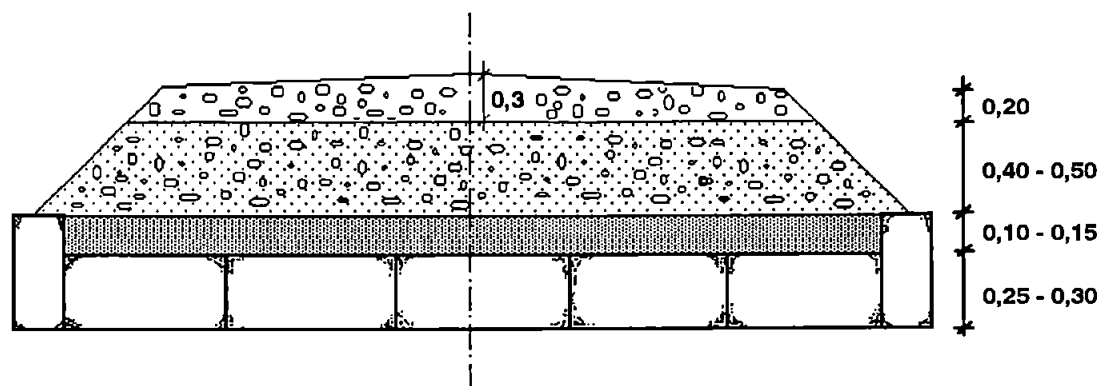


FIGURA 4.2- Esquema de pavimento da época do Império Romano.

Também em suas cidades, dispunham os romanos de ruas de pedras, com calçadas em paralelepípedos, disposição que foi estudada com todos os detalhes nas escavações de Pompéia e Herculano. Com a ruína do império romano, pereceram também suas organizações, e as estradas por eles construídas foram abandonadas. Em muitos lugares, algumas dessas estradas resistiram ao passar dos séculos até os nossos dias, devido à sua extraordinária solidez.

Durante toda a idade média, a construção de estradas foi esquecida. Somente no século XIII, os imperadores germânicos construíram algumas estradas com fins comerciais. Nos séculos XIV e XV, as cidades começaram a se preocupar com a construção de estradas em suas zonas de influência, mas sem um planejamento global. Muito depois, no século XVII, se começou a construção de algumas estradas, das quais uma das mais antigas é a que liga Nördlingen a Oettingen, na Suabia.

No decorrer do século XVIII, a construção de estradas de pedra entrou em uma nova fase de crescimento, especialmente na França, cujas estradas estavam providas de boas bases de pedras. Estas bases eram construídas seguindo os princípios das antigas calçadas romanas. Naturalmente, devido à grande espessura, tinham um custo muito elevado.

Em um tratado sobre construção e conservação de estradas, publicado em 1843 pelo dinamarquês Steenstrup, se recomenda o emprego de bases de 75 a 80 cm de espessura. Os regulamentos dinamarqueses daquela época se expressavam da seguinte maneira:

"Se começará por colocar pedras planas nos lados da caixa, depois do qual o fundo será enchido com pedras grossas tão bem assentadas quanto possível, preenchendo-se os vazios entre estas pedras grossas com pedras de menor tamanho, bem acunhadas, e

rejuntando o conjunto com argila bem apiloada. Se esta capa de pedra grossa não for suficiente, se construirá uma segunda capa de pedra de mesmo tamanho, cada uma das quais deverá apoiar-se em várias outras pedras da capa anterior. Sobre este leito se estenderá uma nova capa de pedra pequena, o mais uniforme possível. Finalmente, se construirá a capa de rolamento, com 9 polegadas de espessura, com seixo rolado ou triturado. Cada uma das camadas de pedra deverá ser compactada cuidadosamente, e as pedras planas utilizadas nos lados da caixa, das quais depende em parte a duração da estrada, deverão ser fincadas profundamente no terreno e cobertas com a necessária quantidade de pedregulho para que o trânsito não possa arrancá-las de sua posição."

Após a Revolução Francesa, houve a necessidade de diminuir os custos das bases de estradas, em grande parte devido à mão de obra empregada na execução dos serviços. As novas orientações neste sentido são devidas ao francês Pierre-Marie Jerome Trésaguet e ao inglês John Louden MacAdam (nome do qual é originado o termo "macadame"). Ambos reduziram a espessura total à metade do que se vinha empregando, ou seja, a uns 30 ou 40 cm, e diminuiram ainda mais os custos de construção fazendo o nivelamento paralelo à superfície definitiva da estrada (espessura do revestimento constante), em contraposição ao sistema romano, de nivelamento horizontal. Aproximadamente 30 anos mais tarde, Thomas Telford, na Escócia, construiu estradas tais como as desenvolvidas por Trésaguet. Telford foi o responsável pela construção em 1816 da rodovia Carlisle-Glasgow (HAAS & HUDSON, 1978). A foto 4.2 abaixo mostra a construção de uma base Telford.



FOTO 4.2- Construção de uma base Telford no condado Mercer, em 1911.
(HEWES & OGLESBY, 1954).

Ambos os sistemas têm uma diferença fundamental: enquanto que no procedimento de Trésaguet, o revestimento era composto de 3 camadas, das quais a inferior tinha de 15 a 20 cm de espessura e as superiores eram de pedra fragmentada de menor tamanho, no procedimento de MacAdam, a construção, no lugar de se fazer em várias camadas, se fazia de uma só vez, empregando-se em toda a camada pedras de igual tamanho, de 5 a 6 cm. Com este procedimento era possível reduzir a espessura da base a 25 cm, e ainda a 15 centímetros.

Se a espessura da camada de pedra fragmentada deve ser grande, 20 ou 30 cm, pode ser conveniente empregar uma primeira capa de pedra grossa segundo o sistema Trésaguet. Naturalmente, estes tipos primitivos têm sofrido alterações e aperfeiçoamentos com o tempo, e assim, no procedimento Trésaguet, foi suprimida a camada intermediária de pedra, restando unicamente o cimento e a camada de rolamento. Estes sistemas foram durante muito tempo os sistemas quase exclusivos para construções de estradas.

4.2.2- O MACADAME SECO UTILIZADO NA OBRA

O macadame seco é uma camada granular composta por agregados graúdos, naturais ou britados, preenchidos a seco por agregados miúdos, cuja estabilidade é obtida a partir da ação mecânica enérgica de compactação (DER/PR ES-P 03/91). Os materiais utilizados na sua construção foram os seguintes:

AGREGADO GRAÚDO: O agregado graúdo utilizado foi composto de pedras basálticas com diâmetro máximo de 4" (FOTO 4.3) provenientes da central de britagem ICA, localizada em Ibiporã, a uma distância de 33,4 km da obra. Esta central foi especialmente regulada para que o agregado graúdo se enquadrasse na especificação quanto ao diâmetro máximo, o qual não pode ultrapassar 2/3 da espessura total da camada, no caso 15 cm.



FOTO 4.3- Detalhe do agregado graúdo utilizado na obra.

CAMADA DE ENCHIMENTO: O material para a camada de enchimento foi constituído por finos de britagem com as mesmas características físicas do agregado graúdo. A sua composição granulométrica foi obtida através de uma mistura de 60% de brita 3/8"-0, mais 40% de granilha+pó, também proveniente da central de britagem ICA. A mistura resultante enquadrou-se na faixa II de material de enchimento, como mostram a tabela 4.3 e a figura 4.3 a seguir.

TABELA 4.3- Faixas granulométricas de material de enchimento.

PENEIRAS		MIS- TURA	FAIXAS (% EM PESO PASSANDO)				
ASTM	mm		I	II	III	IV	V
1"	25,4	100	100	--	--	--	--
3/4"	19,1	100	--	100	100	--	--
3/8"	9,52	100	50-85	60-100	--	100	100
Nº 4	4,76	84,1	--	--	55-100	70-100	60-80
Nº 10	2,00	55,6	25-50	40-70	--	--	--
Nº 40	0,42	28,8	--	--	20-50	30-60	15-25
Nº 200	0,074	17,3	5-15	5-20	6-20	8-25	0-12

FONTE: DER/PR ES-P 03/91

FAIXA GRANULOMÉTRICA II - MACADAME SECO MATERIAL DE ENCHIMENTO

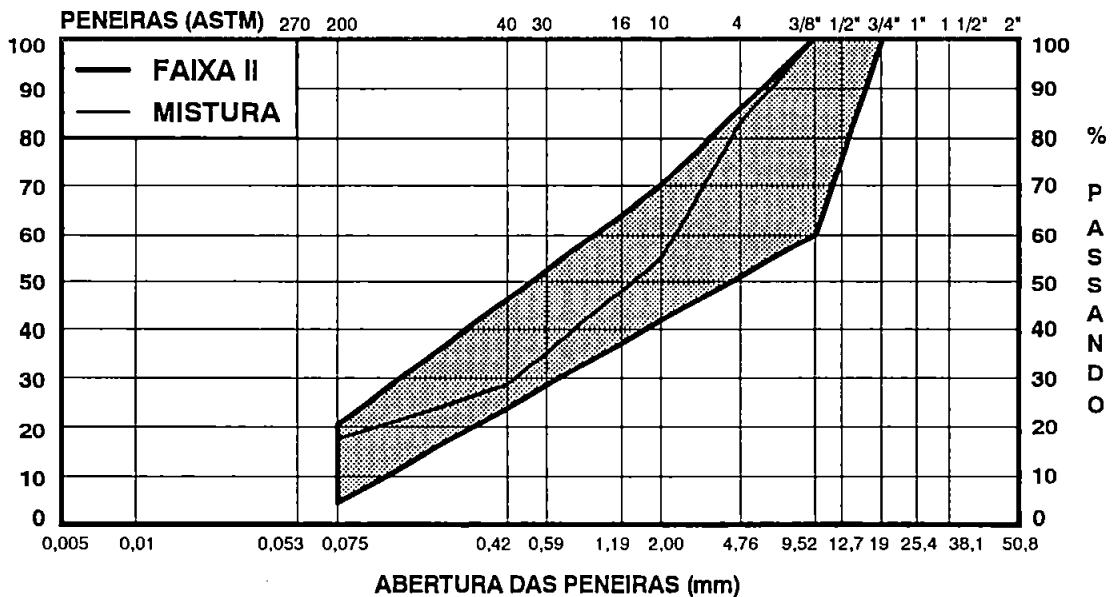


FIGURA 4.3- Faixa granulométrica II para macadame seco.

CAMADA DE ISOLAMENTO OU BLOQUEIO: Camada de isolamento ou bloqueio é uma camada executada antes do primeiro espalhamento do agregado graúdo. O agregado utilizado nesta camada também foi constituído por finos de britagem, com as características físicas similares às especificadas para o agregado graúdo, e composição granulométrica idêntica à do material de enchimento. A espessura desta camada foi da ordem de 3 cm.

4.3- REVESTIMENTOS

4.3.1 - TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO

Tratamento superficial triplo (TST), é um revestimento flexível constituído de três aplicações de agregado mineral e três aplicações de ligante, tipo emulsão, por penetração direta (FERNANDES et alii, 1986). Com relação à forma de penetração do ligante, LARSEN (1985, p. 5), em seu trabalho, comenta:

"...usa-se também o termo 'penetração direta' quando há uma subdivisão do ligante no tratamento múltiplo de tal maneira que a maior parte do ligante penetre de cima para baixo nas diversas camadas."

O TST foi escolhido devido a seu baixo custo e relativa eficiência para rodovias de baixo volume de tráfego como as vicinais, participando por isso com uma significativa extensão do revestimento total do Trecho Laboratório Escola. O ligante utilizado foi emulsão asfáltica tipo RR-2C* .

Quanto à granulometria, o TST utilizado baseou-se na instrução I-4 MGA originária dos estudos e experiências desenvolvidas no DER/PR - 4ª Supervisão de Obras/Maringá. As faixas granulométricas dos agregados minerais especificados pela instrução I-4 MGA DER/PR estão representadas na tabela 4.4. Na seqüência, as figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram a representação gráfica destas faixas.

TABELA 4.4- Faixas granulométricas para TST (Instrução I-4 MGA DER/PR).

PENEIRAS		CAMADAS		
ASTM	mm	1ª	2ª	3ª
3/4"	19,10	100	--	--
5/8"	15,88	90 - 100	--	--
1/2"	12,70	--	--	--
3/8"	9,52	20 - 50	100	--
Nº 4	4,76	0 - 10	65 - 100	100
Nº 10	2,00	--	0 - 10	25 - 55
Nº 40	0,42	--	--	0 - 8
Nº 200	0,074	0 - 2	0 - 2	0 - 2

FONTE: FERNANDES et alii (1986)

* Emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, com teor de resíduo asfáltico de no mínimo 65%, viscosidade Saybolt-Furol a 50°C acima de 100 segundos (alta viscosidade) e desemulsibilidade pelo menos de 50% (FRAENKEL, 1980).

FAIXA GRANULOMÉTRICA I-4 MGA (DER/PR)

TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO (1ª camada)

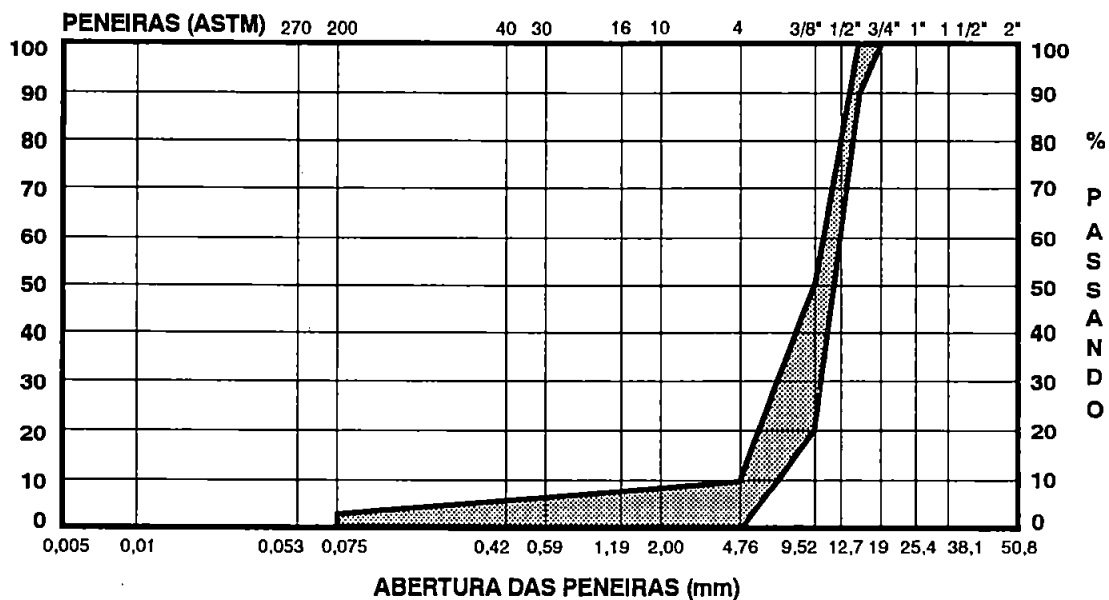


FIGURA 4.4- Faixa granulométrica I-4 MGA DER/PR (TST - 1ª camada).

FAIXA GRANULOMÉTRICA I-4 MGA (DER/PR)

TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO (2ª camada)

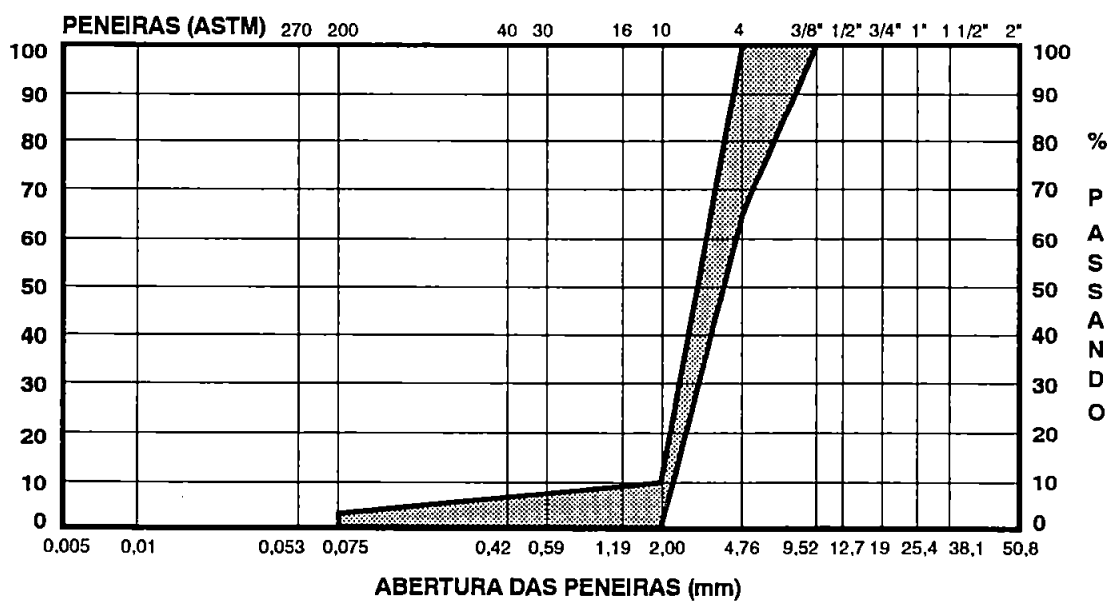


FIGURA 4.5- Faixa granulométrica I-4 MGA DER/PR (TST - 2ª camada).

FAIXA GRANULOMÉTRICA I-4 MGA (DER/PR)

TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO (3ª camada)

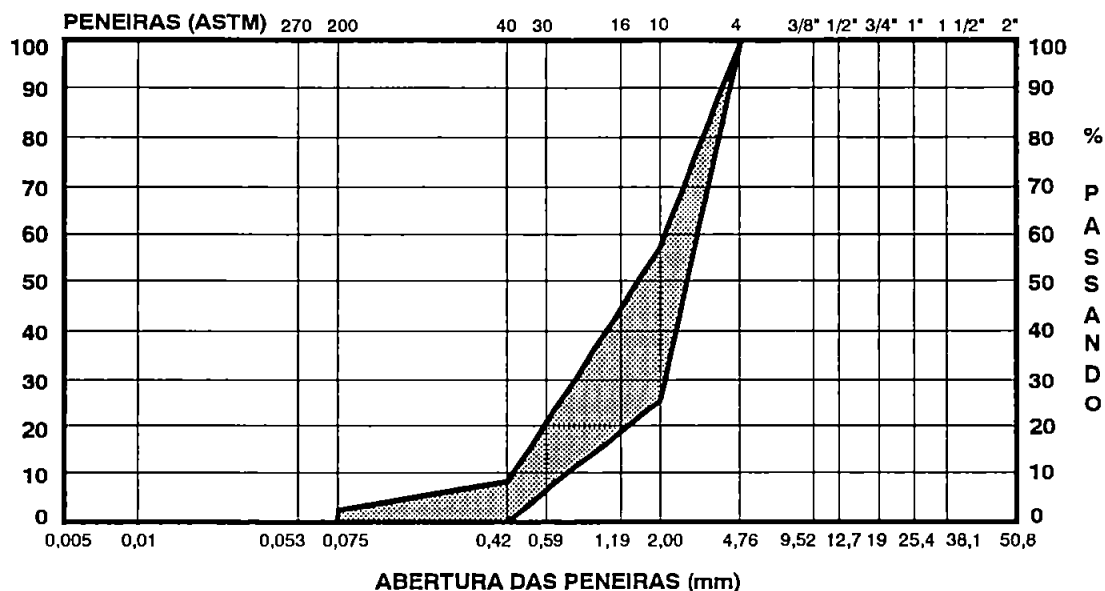


FIGURA 4.6- Faixa granulométrica I-4 MGA DER/PR (TST - 3ª camada).

As quantidades especificadas na instrução I-4 MGA DER/PR para o material betuminoso e agregado mineral, segundo FERNANDES et alii (1986), são as seguintes:

Material Betuminoso

1ª aplicação: 1,3 a 1,5 l/m²

2ª aplicação: 1,0 a 1,1 l/m²

3ª aplicação: 0,8 a 1,0 l/m²

Agregado Mineral

1ª aplicação: 15 a 19 kg/m²

2ª aplicação: 7 a 9 kg/m²

3ª aplicação: 3 a 5 kg/m²

As taxas médias de descarga dos materiais betuminosos (CM-30* e RR-2C) e agregado mineral (basalto) empregadas na obra estão representadas na tabela 4.5 a seguir.

* Asfalto diluído de cura média resultante da diluição de um cimento asfáltico adequado proveniente do petróleo com um destilado médio conveniente (52% de CAP e 48% de querosene). Possui viscosidade Saybolt-Furol a 25°C entre 75 e 150 segundos (FRAENKEL, 1980).

TABELA 4.5- Seqüência de descarga de materiais betuminosos e agregados minerais e suas respectivas taxas médias (TST).

SEQÜÊNCIA DE DESCARGA	TAXA
Imprimação impermeabilizante (CM-30)	0,98 l/m ²
Pintura de ligação (emulsão asfáltica RR-2C)	1,01 l/m ²
1ª Aplicação de brita basáltica (5/8")	15,40 kg/m ²
1ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C	1,20 l/m ²
2ª Aplicação de brita basáltica (3/8")	7,10 kg/m ²
2ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C	1,10 l/m ²
3ª Aplicação de brita basáltica (granilha)	4,20 kg/m ²
3ª Aplicação de emulsão asfáltica (70% RR-2C + 30% água)	0,90 l/m ²

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

4.3.2 - MACADAME BETUMINOSO

O macadame betuminoso (MB), também conhecido por macadame asfáltico, é também um tipo de tratamento superficial. Consiste em aplicações sucessivas (geralmente duas) de agregado e ligante betuminoso, por espalhamento, iniciando-se pelo agregado mais graúdo (LARSEN, 1985).

Como os outros tratamentos superficiais, o MB é de ótima qualidade, sendo praticamente inexistente o trincamento por fadiga devido à sua flexibilidade. Apresenta características anti-derrapantes, possui grande resistência ao desgaste e pode acompanhar grandes deformações da infra-estrutura. Além de revestimento, o MB pode ser utilizado também como camada de base. Sua estabilidade, segundo LARSEN (1985), é obtida principalmente pelo travamento e atrito entre as pedras complementada pela coesão conferida pelo ligante. Esta é a principal propriedade que o diferencia dos outros tratamentos superficiais. O mesmo autor, além de se referir a essa propriedade quando expõe sobre o macadame betuminoso, acrescenta:

"De qualquer maneira, consideramos os tratamentos com agregados maiores que 25 mm (1") como macadame betuminoso..." (p. 30).

O macadame betuminoso foi utilizado no TLE para revestir quatro tipos de base: brita graduada (400 m), bica corrida (300 m), macadame hidráulico (580 m), e no macadame seco uma extensão maior (1.500 m), principalmente por nivelar as irregularidades mais acentuadas da superfície desta última base. O ligante utilizado foi a emulsão asfáltica tipo RR-2C.

Quanto à faixa granulométrica utilizada, adequou-se às instruções I-E, II-A e III-A do DNER. A tabela 4.6 apresenta as faixas granulométricas do DNER para macadame betuminoso. Na seqüência, as figuras 4.7, 4.8 e 4.9 mostram a representação gráfica das faixas supra-citadas.

TABELA 4.6- Faixas granulométricas para macadame betuminoso (DNER).

ABERTURAS DAS PENEIRAS		FAIXAS GRANULOMÉTRICAS - % EM PESO PASSANDO						
ASTM	mm	I					II	III
		A	B	C	D	E	A	A
3 1/2"	88,9	100						
3"	76,2	95-100	100					
2 1/2"	63,5	70-90	95-100	100				
2"	50,8	50-70	60-80	95-100	100			
1 1/2"	38,1	30-50	40-60	55-75	95-100	100		
1"	25,4	10-30	15-35	25-45	35-55	95-100		
3/4"	19,1	5-25	5-25	10-30	10-30	35-55	100	
1/2"	12,7	0-15	0-15	0-15	0-15	0-15	90-100	
3/8"	9,5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	40-70	100
Nº 4	4,8	--	--	--	--	--	0-15	85-100
Nº 10	2,0	--	--	--	--	--	0-3	8-32
Nº 40	0,42	--	--	--	--	--	--	0-6
Nº 200	0,074	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	--	--
ESPESSURA DA CAMADA COMPACTADA (cm)		7,5-10	6,5-7,5	5-6,5	4-5	2,5-4	--	--

FONTE: DNER ES-P 20/71

**FAIXA GRANULOMÉTRICA I-E (DNER)
MACADAME BETUMINOSO**

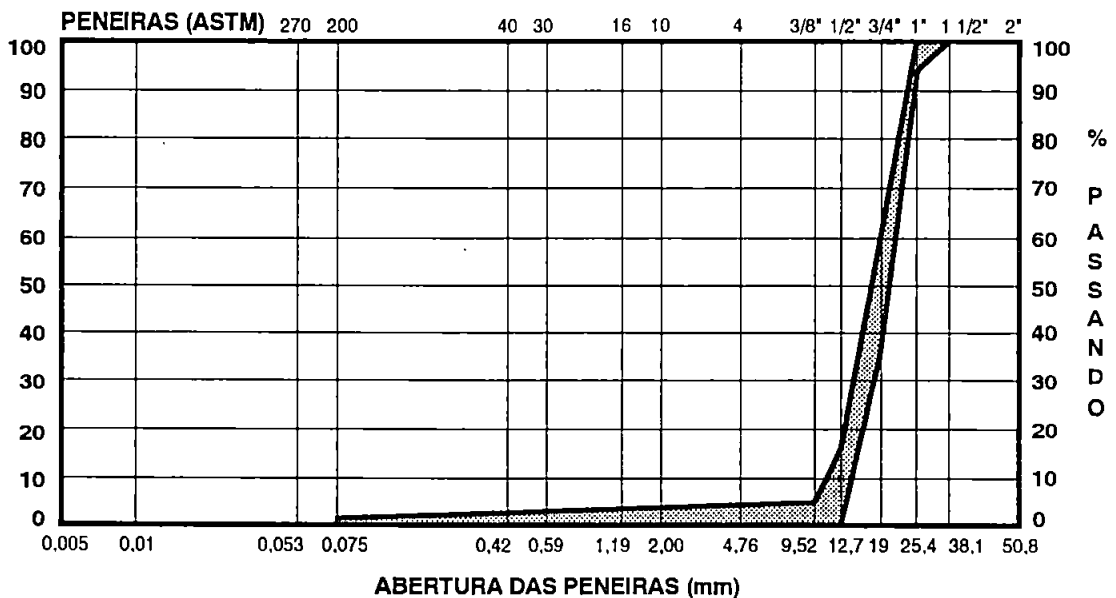


FIGURA 4.7- Faixa granulométrica I-E para macadame betuminoso (DNER).

FAIXA GRANULOMÉTRICA II-A (DNER)

MACADAME BETUMINOSO

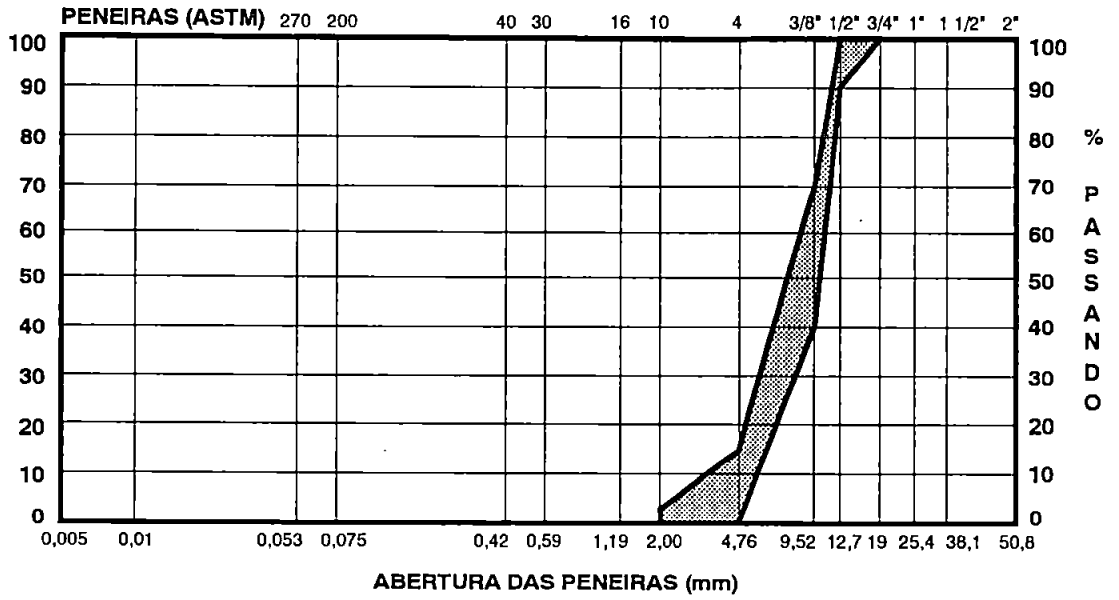


FIGURA 4.8- Faixa granulométrica II-A para macadame betuminoso (DNER).

FAIXA GRANULOMÉTRICA III-A (DNER)

MACADAME BETUMINOSO

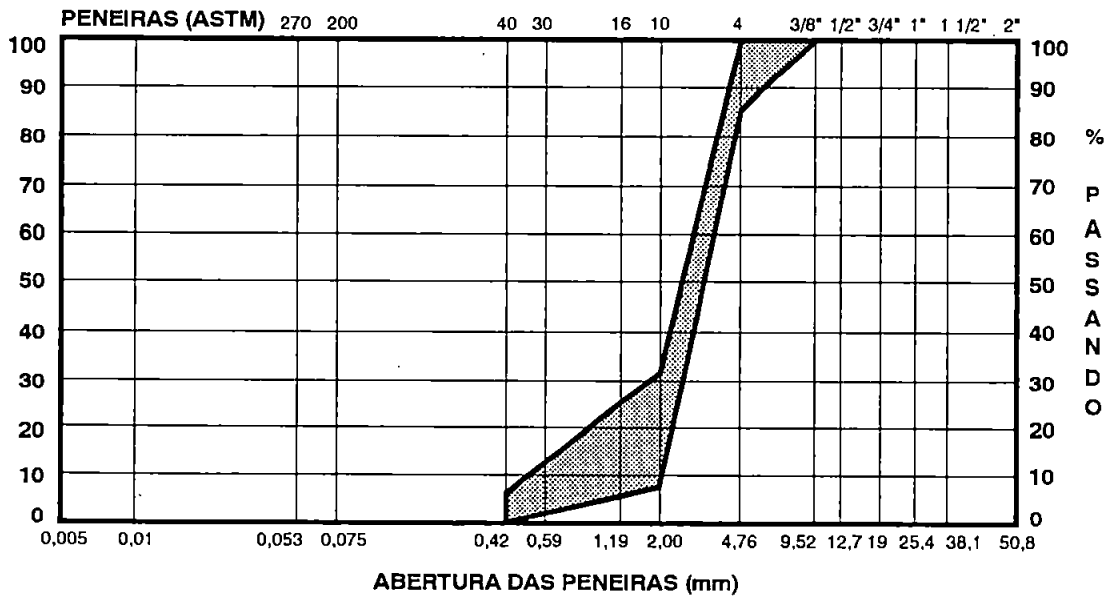


FIGURA 4.9- Faixa granulométrica III-A para macadame betuminoso (DNER).

A seqüência construtiva do macadame betuminoso é apresentada na tabela 4.7 a seguir.

TABELA 4.7- Seqüência de descarga de materiais betuminosos e agregados minerais e suas respectivas taxas médias (MB).

SEQÜÊNCIA CONSTRUTIVA	TAXA
Imprimação impermeabilizante (CM-30)	1,0 l/m ²
Pintura de ligação (emulsão asfáltica RR-2C)	1,18 l/m ²
1ª Aplicação de brita basáltica (brita 2)	39,93 kg/m ²
1ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C	2,04 l/m ²
2ª Aplicação de brita basáltica (5/8")	13,86 kg/m ²
2ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C	1,05 l/m ²
3ª Aplicação de brita basáltica (pedrisco 4)	5,26 kg/m ²
3ª Aplicação de emulsão RR-2C (diluída)	0,95 l/m ²
Obs.: diluída = emulsão (70%) + água (30%)	

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

4.3.3 - TRATAMENTO SUPERFICIAL QUÁDRUPLO

Este tipo de solução de revestimento foi erroneamente denominado de tratamento superficial quádruplo (TSQ), pois não atende quaisquer especificações propostas pelo DNER, IPAI ou DER/SP. Trata-se na realidade do TST (Instrução I-4, anteriormente mencionado), disposto sobre a 1ª camada do macadame betuminoso.

O TSQ revestiu 700 m da base de macadame seco, e sua utilização deve-se a controvérsias em torno de um tratamento superficial adequado para essa base. Alguns técnicos consideram inviável o uso de tratamentos superficiais, deficientes na eliminação de superfícies irregulares (caso do macadame seco), pois refletem sobremaneira a irregularidade devido às suas pequenas espessuras (menor que 50 mm). Optam, portanto, pelo pré-misturado a frio, mais espesso (maior que 50 mm), e com maior possibilidade de correção das irregularidades da superfície da base.

A maneira de eliminar a dúvida, foi a de averiguar o fato utilizando sobre o macadame seco inicialmente o TSQ (segmento 17-C) e depois o TST (segmento 17-D). No segmento 17-C foi adotada a precaução de se colocar a primeira camada do macadame betuminoso, melhorando assim a irregularidade superficial da base, e em seguida o TST instrução I-4 MGA já mencionado.

Esta forma construtiva é perfeitamente válida. LARSEN (1985, p. 4), em seu trabalho, comenta:

"É também possível, e muito usada, uma combinação de alguns tratamentos discriminados: por exemplo, o macadame betuminoso complementado por tratamento superficial por penetração e/ou por capa selante (camadas de 'refinamento')."

A tabela 4.8 apresenta a seqüência construtiva do tratamento superficial quádruplo utilizado no TLE.

TABELA 4.8- Seqüência de descarga de materiais betuminosos e agregados minerais e suas respectivas taxas médias (TSQ).

SEQÜÊNCIA CONSTRUTIVA	TAXA
Imprimação impermeabilizante (CM-30)	1,0 l/m ²
Pintura de ligação com emulsão asfáltica RR-2C	1,15 l/m ²
1ª Camada de brita basáltica (brita 2)	41,60 kg/m ²
1ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C	1,93 l/m ²
2ª Camada de brita basáltica (5/8")	13,18 kg/m ²
2ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C	1,24 l/m ²
3ª Camada de brita basáltica (3/8")	5,48 kg/m ²
3ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C	1,19 l/m ²
4ª Camada de brita basáltica (granilha)	4,47 kg/m ²
4ª Aplicação de emulsão asfáltica RR-2C (diluída)	0,96 l/m ²

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

4.3.4 - PRÉ-MISTURADO A FRIO

Pré-misturado a frio (PMF), é uma camada de pavimento resultante da mistura a frio, em usina apropriada, de agregado mineral graduado e emulsão asfáltica, espalhada e comprimida a frio (DNER ES-P -80, Projeto de Norma).

Caracteriza-se, basicamente, por apresentar elevado índice de vazios (maior que 12% ou, em geral, maior que 20%), que proporciona flexibilidade e eficiente drenagem do pavimento. Possui densidade e consumo de asfalto mais baixos, relativamente às misturas densas. (DER/PR - Manual de Execução de Serviços Rodoviários, 1991).

Segundo SENÇO (1975), o pré-misturado a frio, além de revestimento, pode ser utilizado como camada de regularização e mesmo como base de pavimento. É também o material preferencial na conservação rotineira de rodovias.

Ganhou impulso no Paraná a partir de 1979, a tendência de revestir rodovias com PMF diretamente sobre bases de solo arenoso fino, solo cimento e brita graduada. Sua utilização teve início pela necessidade cada vez mais crescente de se construir rodovias rurais de baixo custo, de boa qualidade, e de execução rápida (GAYER, 1980).

O PMF revestiu as bases de macadame seco (1.800 m) e solo brita (200 m). Seu uso é devido à necessidade de se averiguar a atuação do revestimento sobre estes tipos de base. O PMF tem a vantagem da rapidez construtiva por ser usinado.

O agregado mineral basáltico respeitou a faixa "I" do Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP). Houve uma composição granulométrica de aproximadamente 50% de brita 3/4" a 3/8", e 50% de pedrisco.

A composição granulométrica da mistura de agregados e a faixa "I" do IBP são apresentadas na tabela 4.9. Na seqüência, a figura 4.10 mostra a representação gráfica da faixa "I" e da mistura.

TABELA 4.9- Composição granulométrica da mistura de agregados utilizada no PMF.

PENEIRAS		% Passando	Limite faixa I IBP
ASTM	mm		
3/4"	19,10	100	100
1/2"	12,70	77,6	60-80
3/8"	9,52	56,1	---
Nº 4	4,76	26,2	5-35
Nº 10	2,00	2,0	0-10
Nº 40	0,42	0,9	---
Nº 200	0,074	0,7	0-2

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

**FAIXA GRANULOMÉTRICA I (IBP)
PRÉ-MISTURADO A FRIO**

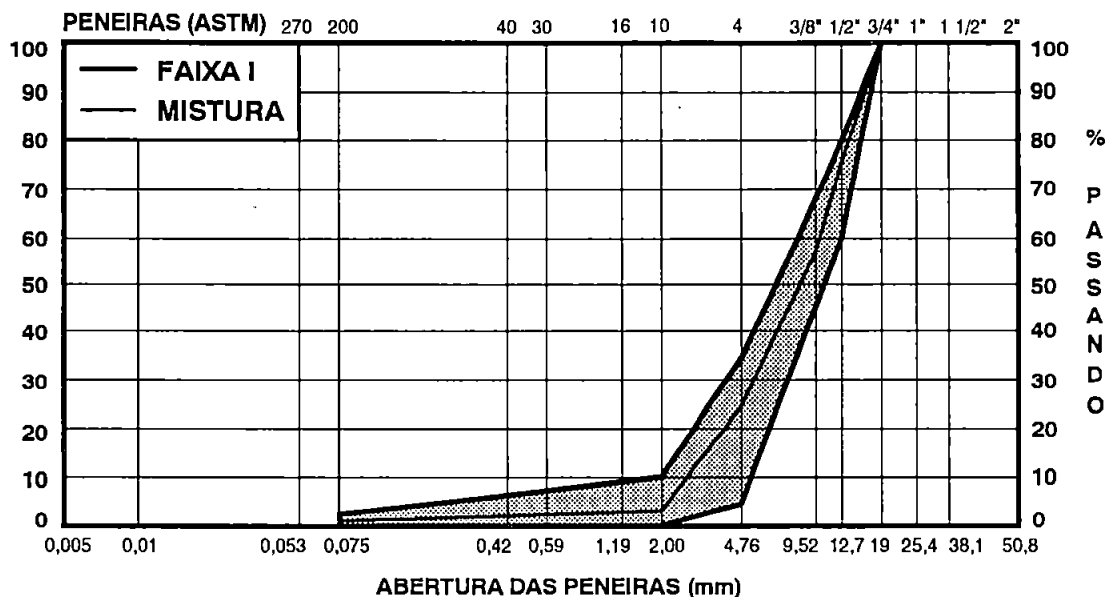


FIGURA 4.10- Faixa granulométrica I (IBP) para pré-misturado a frio.

O material betuminoso utilizado foi uma emulsão asfáltica de ruptura média do tipo RM-2C*, apresentando viscosidade Saybolt-Furol de 165 segundos, 65% em peso de CAP (resíduo) e sem retenção de material no ensaio de peneiramento, segundo Relatório do DPD-DEP/PR.

A mistura foi processada em uma usina com capacidade de 400 ton/h, distante 40 km do TLE (utilizada em outra obra). A produção da massa de PMF foi de 161,3 ton/h, apresentando uma densidade média de 1,63 ton/m³. A descarga média dos materiais na obra foi a seguinte:

- Imprimação Impermeabilizante (CM-30) 1,02 l/m²
- Massa de pré-misturado a frio 0,163 m³/m

Para suprir problemas como a elevada permeabilidade (característica marcante do PMF), aumentar o nível de conforto ao rolamento e a durabilidade do PMF, foi utilizada uma capa selante com taxa de granilha (pedrisco+pó de pedra) de 1,5 kg/m² e uma taxa de emulsão do tipo ruptura rápida (RR-2C) de 0,91 l/m², diluída em 30% de água (DPD-DER/PR - Relatório Interno).

* Emulsão asfáltica catiônica de ruptura média, caracterizada por viscosidade Saybolt-Furol não inferior a 50 segundos, teor máximo de solvente destilado 12%, teor asfáltico residual de no mínimo 65% e desemulsibilidade abaixo de 50% (FRAENKEL, 1980).

4.3.5 - PRÉ-MISTURADO A FRIO DENSO

Muito utilizados como camadas de revestimento, o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e o pré-misturado a frio (PMF), distanciam-se em qualidade e preço. O CBUQ é uma mistura de granulometria densa*, usinada a quente, o que lhe proporciona uma melhor interação pedra/betume. Já o PMF é uma mistura menos densa, com permeabilidade elevada devido à sua concepção granulométrica, mas de produção e transporte mais simples.

Este hiato entre ambos motivou o DER/PR ao desenvolvimento de um usinado a frio de granulometria densa, o que supostamente elevaria a qualidade do PMF e diminuiria o custo em relação ao CBUQ.

O pano experimental foi executado no TLE, no início do perímetro urbano da localidade de Cebolão (segmento 17-E).

Os agregados britados utilizados na fabricação do PMFD foram produzidos pela firma empreiteira CESBE S/A, instalada na rodovia BR-369 no trecho "Contorno de Ibiporã". Quanto ao agregado natural, utilizou-se areia lavada de rio. As composições granulométricas individuais médias dos agregados britados e do agregado natural estão representadas nas tabelas 4.10 e 4.11, respectivamente.

TABELA 4.10- Composições granulométricas individuais médias dos agregados britados (PMFD).

PENEIRAS		% PASSANDO - AGREGADOS BRITADOS		
ASTM	mm	PEDRA 1	PEDRISCO	PÓ DE PEDRA
3/4"	19,10	100,00	--	--
1/2"	12,70	56,60	100,00	--
3/8"	9,52	12,20	99,60	--
Nº 4	4,76	1,90	40,30	100,00
Nº 10	2,00	1,60	3,90	97,60
Nº 40	0,42	1,50	1,50	49,80
Nº 80	0,177	1,40	1,40	31,30
Nº 200	0,074	1,10	1,20	17,40

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

* Mistura de granulometria densa é uma mistura de emulsão asfáltica e agregado contendo partículas finas ou filler e que, após cura apropriada e compactação, normalmente possui um teor de vazios de menos de 10%. (DNER-IPR, publicação 612).

TABELA 4.11- Composição granulométrica média do agregado natural (PMFD).

PENEIRAS		% PASSANDO
ASTM	mm	
3/4"	19,10	--
1/2"	12,70	--
3/8"	9,52	--
Nº 4	4,76	100,00
Nº 10	2,00	99,30
Nº 40	0,42	59,90
Nº 80	0,177	3,50
Nº 200	0,074	0,40

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

A mistura de PMFD utilizada na obra foi dosada com emulsão asfáltica RL* (Ruptura Lenta), utilizando a faixa granulométrica C do DNER, para concreto betuminoso usinado a quente (Especificação de Serviço DNER ES-P 22-71). Os ensaios foram feitos adotando-se o método Marshall (75 golpes por face do corpo de prova). A tabela 4.12 mostra a composição granulométrica da mistura de agregados adotada e a faixa C do DNER. Na seqüência, a figura 4.11 representa graficamente a faixa C juntamente com a curva granulométrica da mistura. Os resultados da dosagem Marshall se encontram na tabela 4.13.

TABELA 4.12- Composição granulométrica da mistura de agregados (PMFD).

PENEIRAS		% PASSANDO	
ASTM	mm	MISTURA	FAIXA C (DNER)
3/4"	19,10	100,0	100
1/2"	12,70	86,9	85-100
3/8"	9,52	76,7	75-100
Nº 4	4,76	59,3	50-85
Nº 10	2,00	47,8	30-75
Nº 40	0,42	23,6	15-40
Nº 80	0,177	11,1	8-30
Nº 200	0,074	6,7	5-10

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

* Emulsão asfáltica de ruptura lenta, caracterizada por uma faixa de viscosidade Saybolt-Furoi entre 20 e 100 segundos, sendo o ensaio feito a 25°C, e não a 50°C, como nas outras emulsões. Não apresenta teor de solvente na sua constituição, e tem teor asfáltico residual mínimo de 58% (FRAENKEL, 1980).

FAIXA GRANULOMÉTRICA C (DNER)
CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE

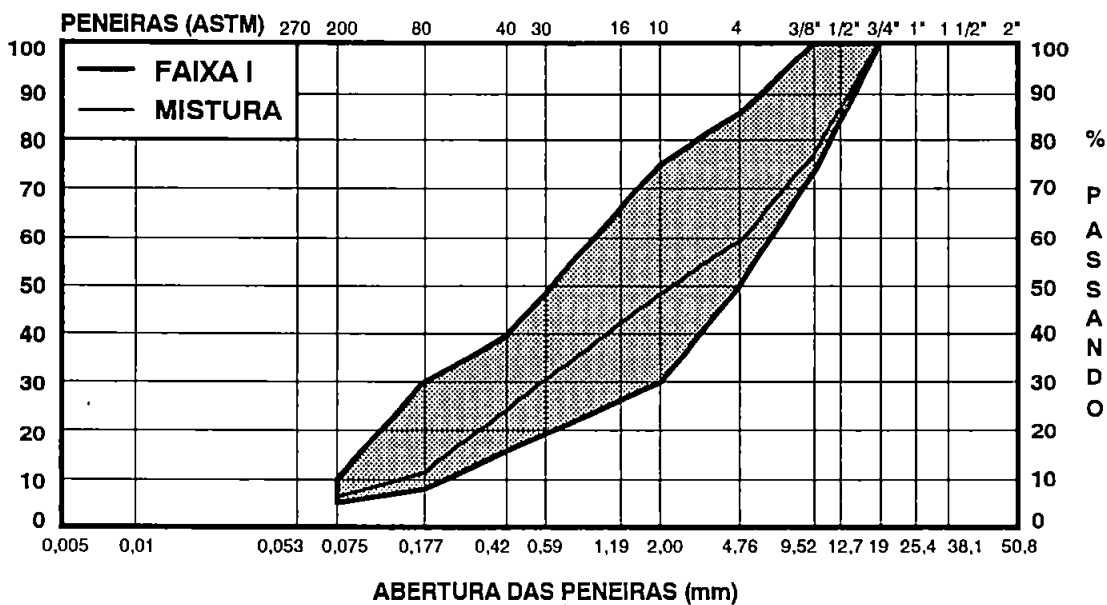


FIGURA 4.11- Faixa granulométrica C para CBUQ (DNER).

TABELA 4.13- Resultados da dosagem de PMFD (Método Marshall).

TEOR DE EMULSÃO	10%	11%
DENSIDADE APARENTE DA MISTURA (g/cm ³)	2.326	2.317
VOLUME DE VAZIOS (%)	12,51	11,96
% DE VAZIOS NO AGREGADO MINERAL	26,3	27,11
RELAÇÃO BETUME VAZIOS (RBV %)	52,5	55,9
ESTABILIDADE MARSHALL	740,7	607,7
FLUÊNCIA	12,0	12,4

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

5. Avaliação dos Segmentos

Existem muitos processos de avaliação da condição e do desempenho de um pavimento, e várias maneiras de fazê-lo (HAAS & HUDSON, 1978). Sempre que se depara com um problema de avaliar um pavimento, surge a questão dos critérios de avaliação a serem usados. Estes critérios estão associados ao uso da obra (avaliação funcional) e sua adequação estrutural aos esforços a que está submetida (avaliação estrutural). A escolha desses critérios para avaliar pavimentos é uma tarefa sempre difícil e sujeita normalmente a considerações subjetivas.

A avaliação de pavimentos pode ter objetivos diferentes e cada um deles utilizará diferentes técnicas. HAAS (1974), divide a avaliação de pavimentos com propósito de medir as necessidades de reabilitação em:

1. Avaliação da capacidade estrutural.
2. Avaliação da deterioração física ou defeitos.
3. Avaliação dos fatores relacionados com o usuário (rolamento, etc).
4. Avaliação dos custos relacionados com o usuário e benefícios associados com a variação da serventia do pavimento.

Por se tratar de uma rodovia rural de importância secundária, consideramos no presente trabalho apenas os itens 1, 2 e 3 supra-citados, para avaliar os pavimentos dos segmentos 17-A, 17-B, 17-C, 17-D e 17-E do Trecho Laboratório Escola. O item 4 foge ao escopo deste trabalho.

5.1- TRÁFEGO

5.1.1- VOLUME DE TRÁFEGO

O Trecho Laboratório Escola foi liberado ao tráfego em janeiro de 1989. A avaliação do volume de tráfego nos segmentos do TLE foi realizada através da contagem e classificação dos veículos em diferentes períodos, a saber: 18 a 24/07/1989, 12 a 18/10/89, 10 a 16/10/90 e 21 a 27/07/92. As respectivas cargas dos veículos foram estimadas com base em dados coletados próximo à região em estudo devido à impossibilidade, na época, de alocação de balanças portáteis para o trecho. A tabela 5.1 apresenta os valores obtidos na contagem do tráfego.

TABELA 5.1- Volume diário médio de veículos no TLE.

TIPO DE VEÍCULO	VDM (nos 2 sentidos)				VDM Médio (2 sentidos)
	18 a 24 JUL/89	12 a 18 OUT/89	10 a 16 OUT/90	21 a 27 JUL/92	
Automóveis	160	219	204	187	193
Ônibus	6	6	7	4	6
Caminhão Leve Carreg.	21	20	28	27	24
Caminhão Leve Vazio	62	88	84	67	75
Caminhão Médio Carregado	8	8	14	8	10
Caminhão Médio Vazio	17	14	22	10	16
Caminhão Pesado Carregado	2	2	3	3	3
Caminhão Pesado Vazio	3	3	5	4	4

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

5.1.2 NÚMERO EQUIVALENTE DE OPERAÇÕES DO EIXO PADRÃO

Para o cálculo do número equivalente de operações do eixo padrão de 8.2 toneladas (N), foi considerada a média dos volumes diários médios nos 4 períodos. Como pode ser observado na tabela 5.1, praticamente não houve crescimento do tráfego. Portanto, não foram consideradas as taxas de crescimento relativo ao período em estudo.

Para a determinação do fator de veículo (FV), adotamos os fatores de equivalência da AASHTO. Estes fatores são calculados pelas equações constantes na tabela 5.2, obtida da Norma DNER-PRO 159/85 (Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos).

TABELA 5.2- Fatores de Equivalência da AASHTO.

TIPO DE EIXO	EQUAÇÃO
SIMPLES DE RODAGEM SIMPLES	$F_{(SS)} = \left(\frac{P}{7,77} \right)^{4,32}$
SIMPLES DE RODAGEM DUPLA	$F_{(SD)} = \left(\frac{P}{8,17} \right)^{4,32}$
TANDEM DUPLO (RODAGEM DUPLA)	$F_{(TD)} = \left(\frac{P}{15,08} \right)^{4,14}$
Obs: P = Peso do eixo, em toneladas.	

FONTE: DNER-PRO 159/85

SOUZA (1979), em seu trabalho, comenta:

"Os fatores de veículos (FV_i) para automóveis e caminhões leves (embora calculáveis) são desprezíveis, interessando especialmente, os FV_i para caminhões médios, pesados e reboques e semi-reboques."

No presente estudo, todos os veículos foram computados no cálculo dos fatores de veículos, inclusive automóveis e caminhões leves, apesar de gerarem valores insignificantes, visto suas vinculações diretas com o nível de serventia do pavimento. A tabela 5.3 a seguir apresenta o cálculo do fator de carga (FC).

TABELA 5.3- Cálculo do Fator de Carga (FC).

VEÍCULO	FROTA	% DA FROTA	CARGA (t)	FEC (AASHTO)	EQUIV. DE OPER.	
Automóveis	193	58,31	0,8	0,0001	0,0058	
Ônibus	6	1,81	6,0	0,2635	0,4769	
Caminhões Vazios	LEVES	75	22,66	3,0	0,0164	0,3716
	MÉDIOS	16	4,83	5,0	0,1199	0,5791
	PESADOS	4	1,21	7,0	0,0417	0,0505
Caminhões Carregados	LEVES	24	7,25	8,0	1,1343	8,2237
	MÉDIOS	10	3,02	13,0	7,4377	22,4619
	PESADOS	3	0,91	22,0	4,7758	4,3460
TOTAL	331	100		100. FC =	36,52	

De acordo com a contagem de tráfego, temos 2,12% de veículos de 3 eixos e 97,88% de veículos de 2 eixos. Logo, o fator de eixos (FE) será:

$$FE = 0,9788.(2) + 0,0212.(3) = 2,0212$$

Segundo SENÇO (1975), o número "N" é calculado pela expressão:

$$N = V_t.(FE).(FC) = V_t.(FV)$$

onde: V_t = Volume Total de Tráfego (num sentido).
 FE = Fator de Eixos.
 FC = Fator de Carga.
 FV = Fator de Veículo.

Logo, teremos:

$$N = \frac{365.(331).(2,0212).(0,3652)}{2} = 44.589 \approx 4,46.10^4$$

A partir dos parâmetros já obtidos, calculou-se o número "N" para cada um dos anos considerados (1989 a 1994), conforme resultados apresentados na tabela 5.4.

TABELA 5.4- Números "N".

ANO	NÚMERO "N"	
	ANUAL	ACUMULADO
1989	44.589	$0,446 \cdot 10^5$
1990	44.589	$0,892 \cdot 10^5$
1991	44.589	$1,34 \cdot 10^5$
1992	44.589	$1,78 \cdot 10^5$
1993	44.589	$2,23 \cdot 10^5$
1994	44.589	$2,68 \cdot 10^5$

5.2- ESTUDO DEFLECTOMÉTRICO

5.2.1- INTRODUÇÃO

A medição das deflexões foi realizada de acordo com o Método de Ensaio DNER-ME 24-78. Foi utilizada uma viga Benkelman de alumínio provida de um extensômetro graduado em 0,01 mm.

O caminhão usado nos ensaios foi um caminhão médio com eixo dianteiro simples de rodas simples e um eixo traseiro simples de rodas duplas. O caminhão foi carregado de modo que a carga transmitida ao eixo traseiro fosse de 8,2 t, simetricamente distribuída em relação às rodas traseiras.

As deflexões foram medidas nas trilhas de roda externas das duas faixas de tráfego, adotando-se um espaçamento de 20 m alternadamente nas duas faixas de tráfego, ou seja, 40 m em uma mesma faixa.

5.2.2- ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DEFLEXÕES RECUPERÁVEIS

De posse dos dados, procedeu-se à análise estatística das deflexões, calculando-se a média aritmética (\bar{x}) e o desvio padrão (σ) do conjunto de deflexões de cada trecho, utilizando-se as seguintes fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{\sum D_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

onde: D_i = valores individuais das deflexões recuperáveis.
 n = número de valores individuais computados.

O intervalo de aceitação foi definido através dos limites $\bar{x} \pm z \cdot \sigma$, eliminando-se os valores individuais situados fora desse intervalo, e calculando-se novos valores \bar{x} e σ com os valores remanescentes. Tal procedimento foi repetido até que todos os valores individuais estivessem contidos no intervalo de aceitação (DNER-PRO 10/79). O valor de z foi estimado em função de n , de acordo com a tabela 5.5 a seguir.

TABELA 5.5- Valores de "z".

n	z
3	1
4	1,5
5 - 6	2
7 - 19	2,5
≥ 20	3

FONTE: DNER-PRO 10/79

A deflexão característica foi calculada através da fórmula $D_c = \bar{x} + \sigma$, e os resultados são mostrados na tabela 5.6. Na seqüência, são apresentados os deflectogramas dos trechos.

TABELA 5.6- Análise estatística das deflexões recuperáveis.

SEGMENTO		09/90		06/91		10/91		02/92	
		LE	LD	LE	LD	LE	LD	LE	LD
17-A	\bar{x}	92,71	103,11	67,47	92,00	94,98	74,33	96,44	63,60
	σ	29,91	24,36	22,51	21,10	26,37	26,83	34,71	23,33
	D_c	122,62	127,47	89,98	113,10	121,35	101,16	131,16	86,93
17-B	\bar{x}	81,21	87,21	63,89	81,32	68,76	60,00	72,53	58,26
	σ	22,03	17,37	17,14	19,50	20,55	21,65	15,65	15,90
	D_c	103,24	104,58	81,03	100,81	89,31	81,65	88,18	74,16
17-C	\bar{x}	79,88	75,88	54,94	66,00	61,65	58,47	63,18	45,06
	σ	18,01	24,33	14,51	25,09	29,71	18,65	24,04	11,16
	D_c	97,89	100,21	69,45	91,09	91,36	77,12	87,22	56,22
17-D	\bar{x}	115,50	82,00	82,75	87,00	60,25	95,60	71,50	83,75
	σ	40,34	20,28	33,57	49,41	11,83	49,22	13,89	34,45
	D_c	155,84	102,28	116,32	136,41	72,08	144,72	85,39	118,20
17-E	\bar{x}	57,14	53,14	40,29	54,57	44,29	41,14	52,00	41,71
	σ	26,30	16,41	18,16	17,35	15,72	17,35	17,74	8,44
	D_c	83,44	69,55	58,45	71,92	60,01	58,50	69,74	50,15

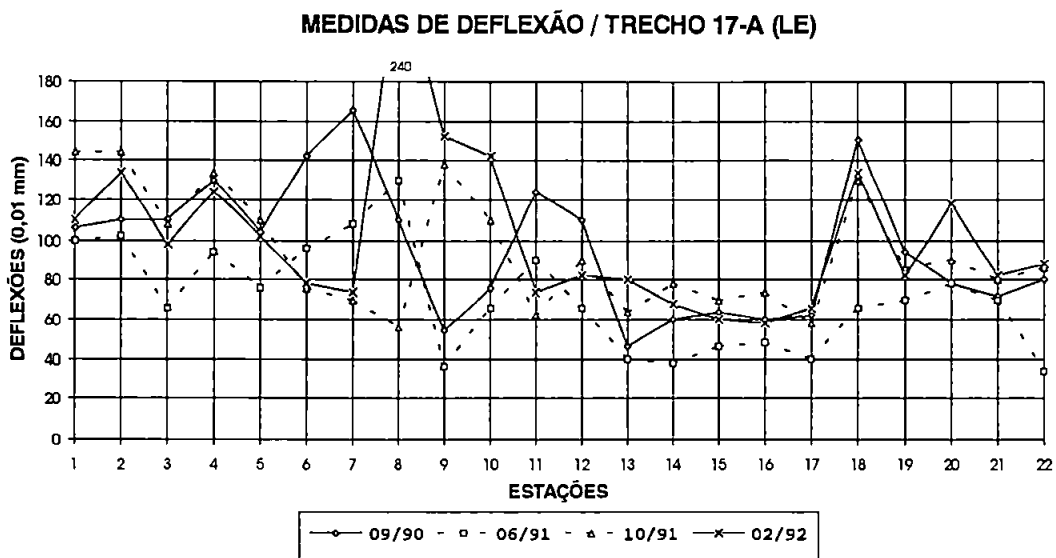


FIGURA 5.1- Deflectograma do segmento 17-A (LE), estações 1 a 22.

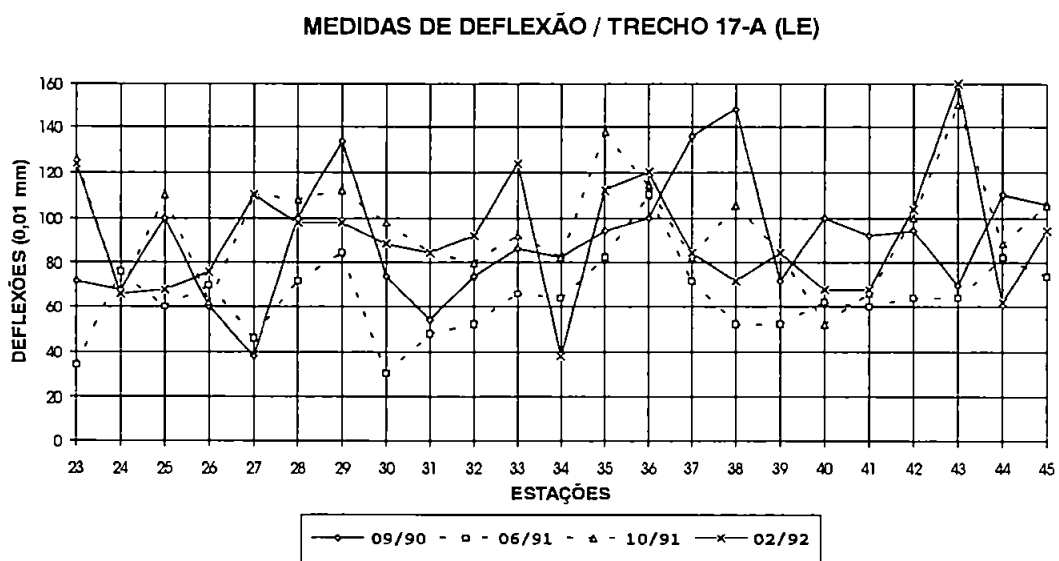


FIGURA 5.2- Deflectograma do segmento 17-A (LE), estações 23 a 45.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-A (LD)

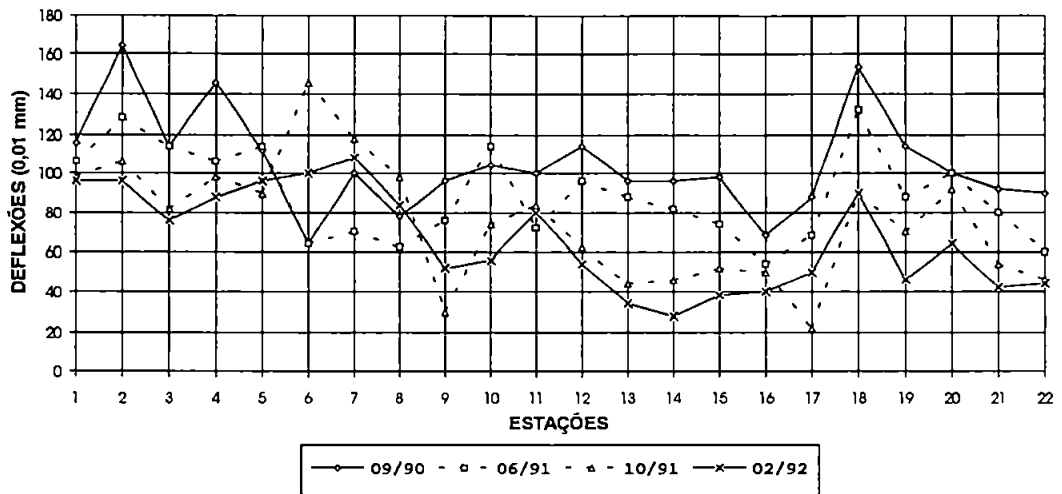


FIGURA 5.3- Deflectograma do segmento 17-A (LD), estações 1 a 22.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-A (LD)

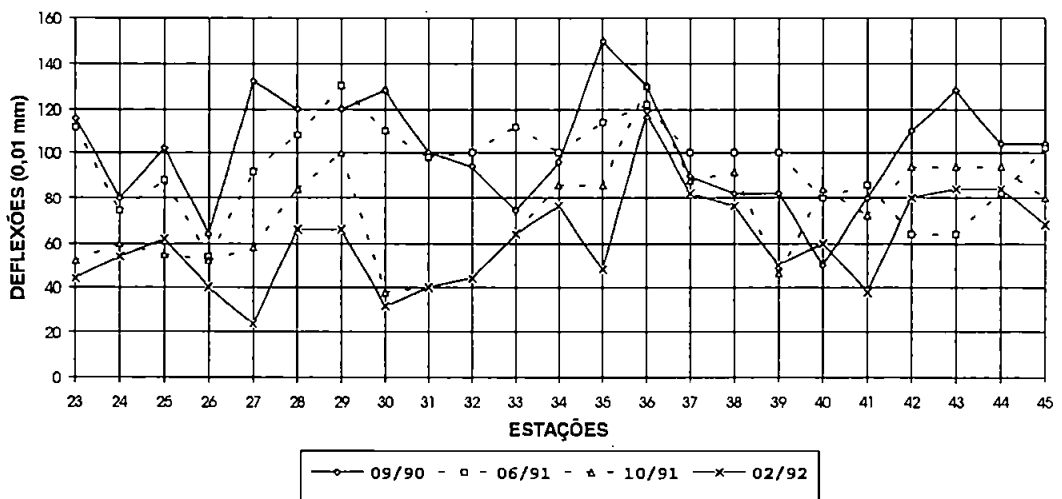


FIGURA 5.4- Deflectograma do segmento 17-A (LD), estações 23 a 45.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-B (LE)

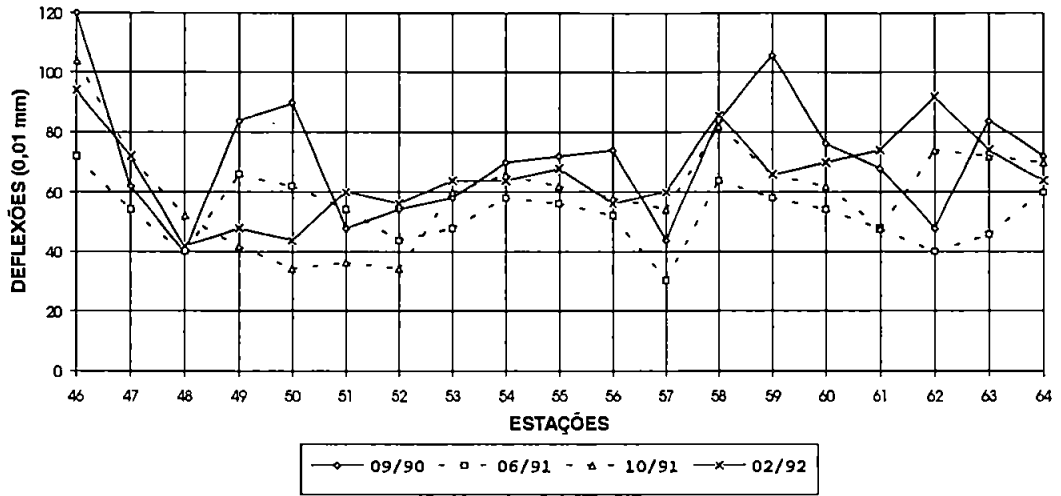


FIGURA 5.5- Deflectograma do segmento 17-B (LE), estações 46 a 64.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-B (LE)

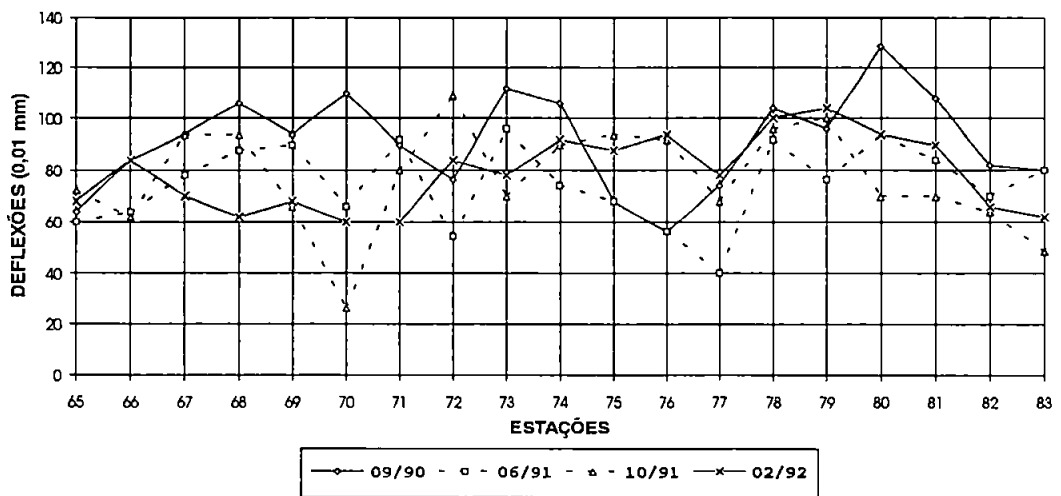


FIGURA 5.6- Deflectograma do segmento 17-B (LE), estações 65 a 83.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-B (LD)

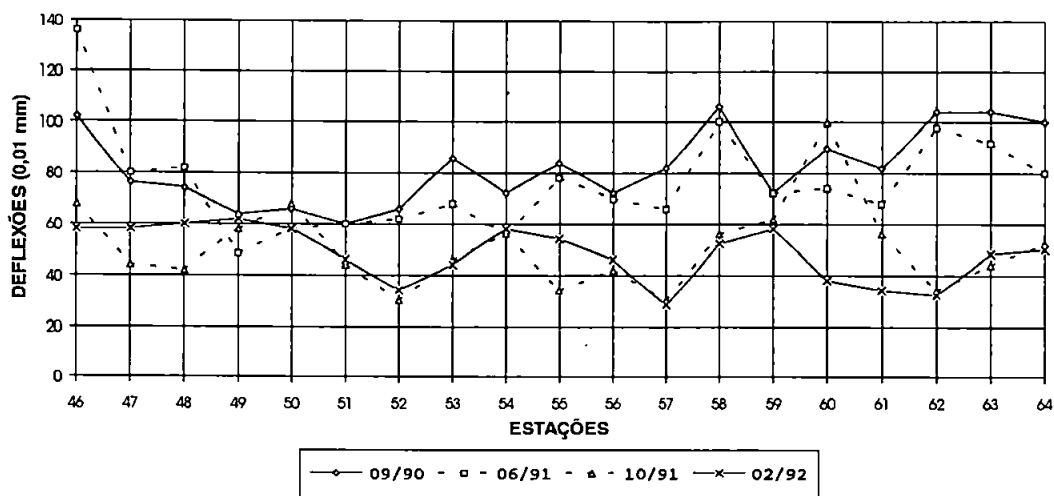


FIGURA 5.7- Deflectograma do segmento 17-B (LD), estações 46 a 64.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-B (LD)

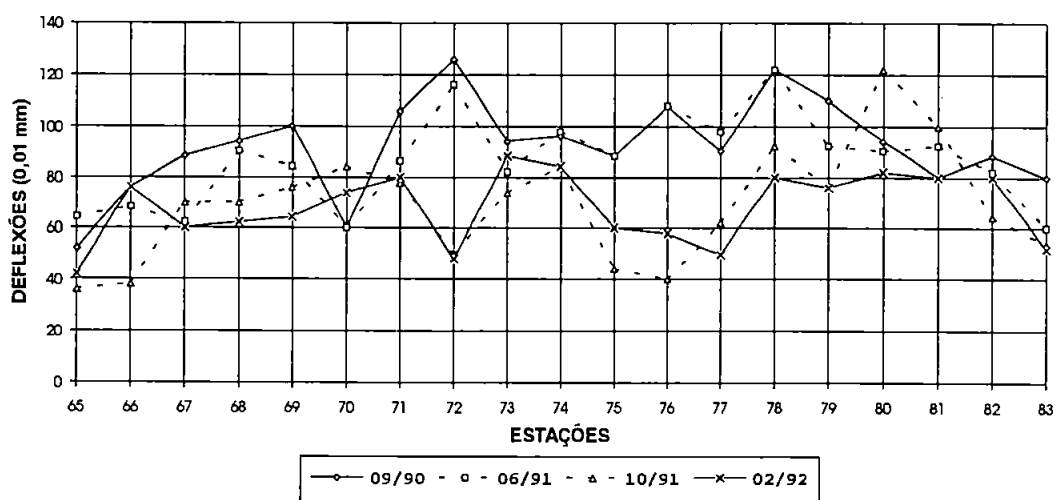


FIGURA 5.8- Deflectograma do segmento 17-B (LD), estações 65 a 83.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-C (LE)

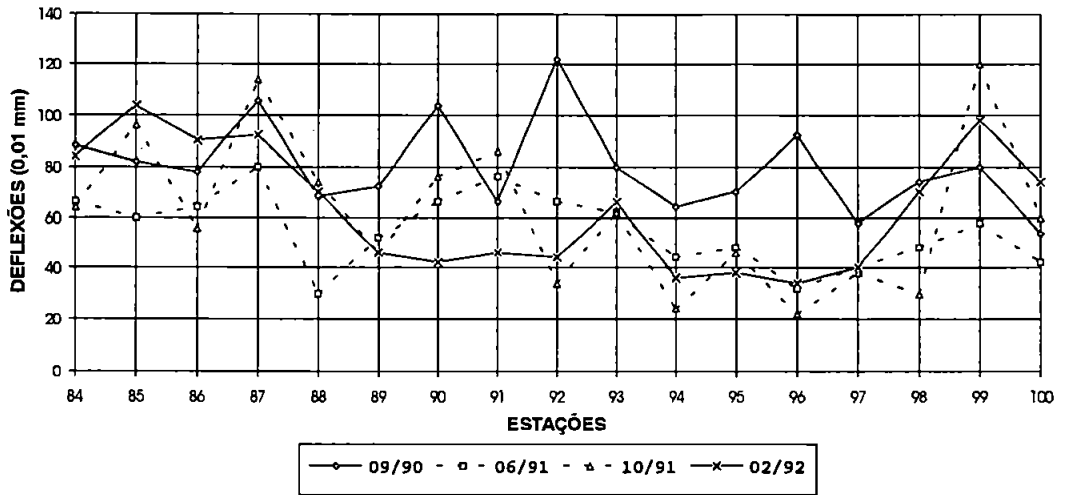


FIGURA 5.9- Deflectograma do segmento 17-C (LE), estações 84 a 100.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-C (LD)

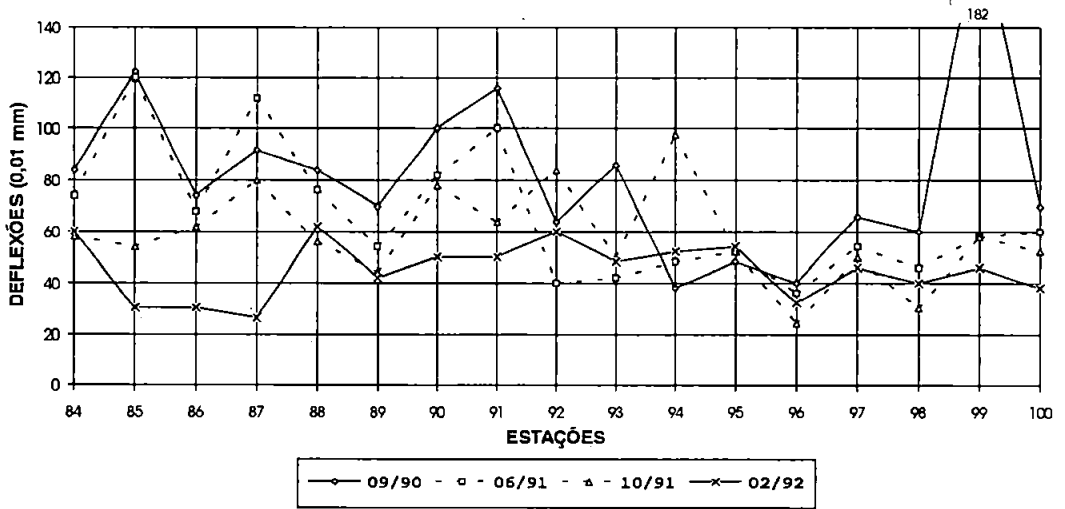


FIGURA 5.10- Deflectograma do segmento 17-C (LD), estações 84 a 100.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-D (LE)

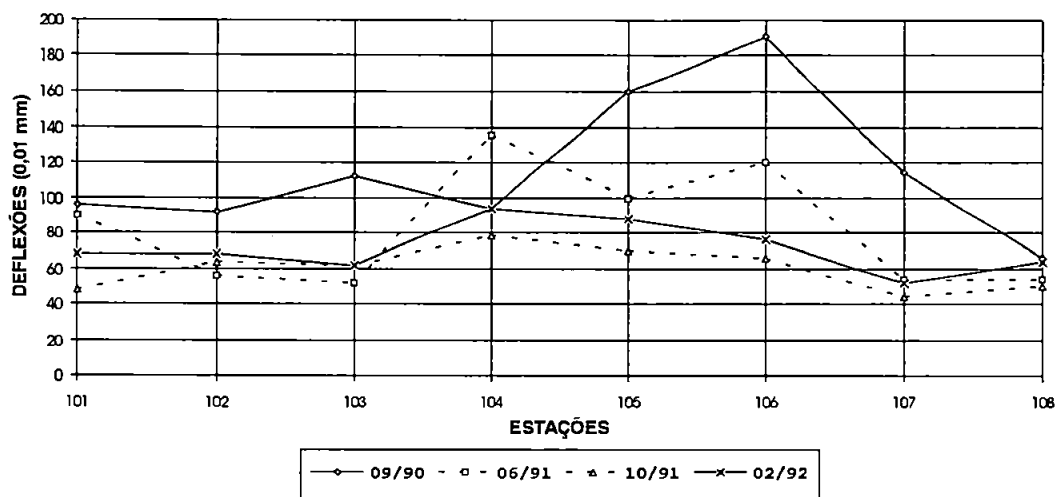


FIGURA 5.11- Deflectograma do segmento 17-D (LE), estações 101 a 108.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-D (LD)

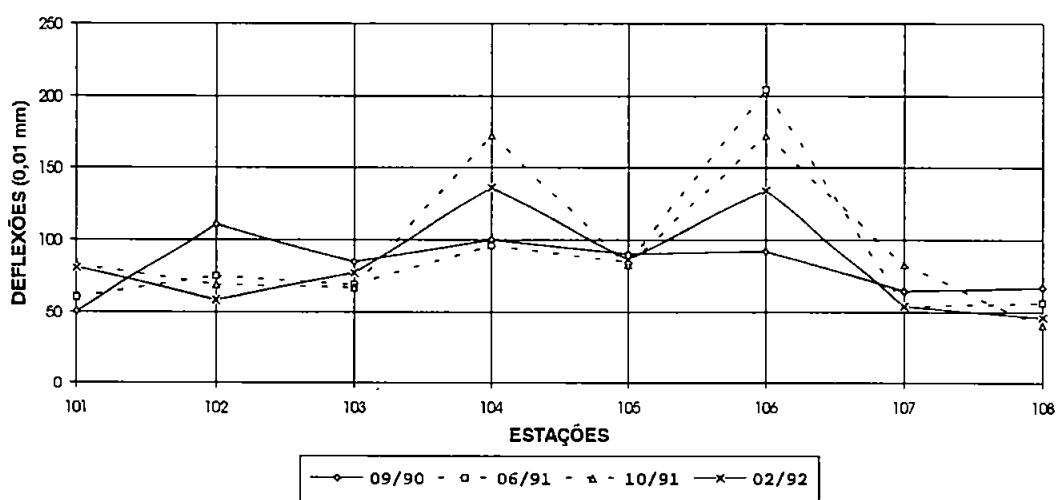


FIGURA 5.12- Deflectograma do segmento 17-D (LD), estações 101 a 108.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-E (LE)

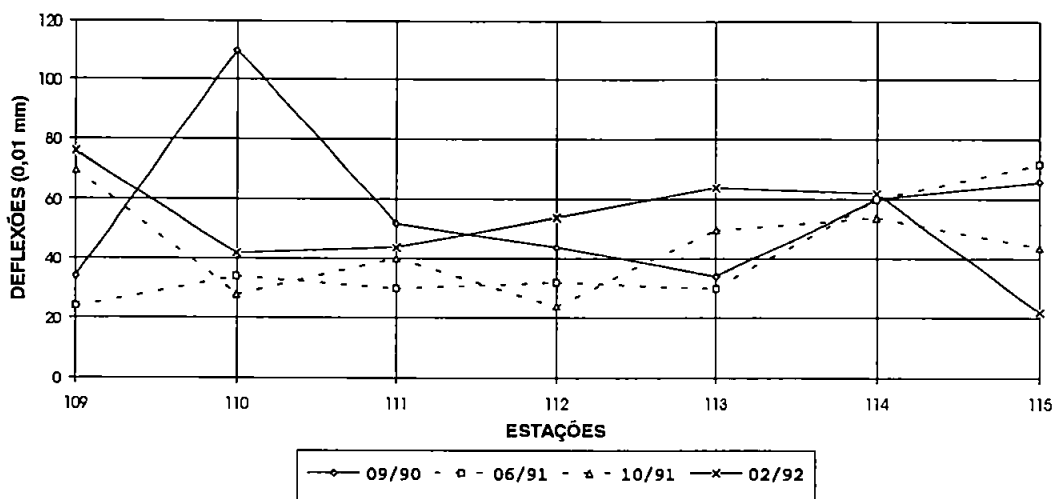


FIGURA 5.13- Deflectograma do segmento 17-E (LE), estações 109 a 115.

MEDIDAS DE DEFLEXÃO / TRECHO 17-E (LD)

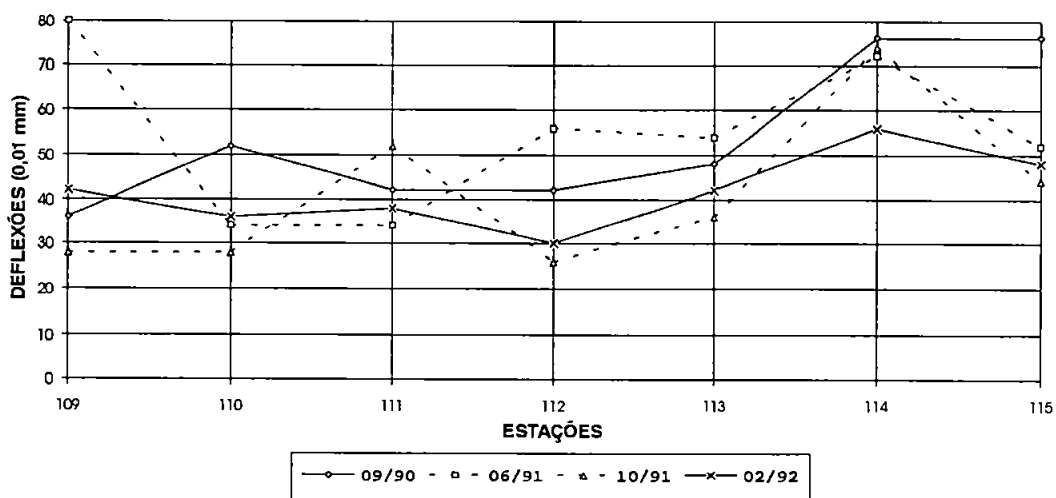


FIGURA 5.14- Deflectograma do segmento 17-E (LD), estações 109 a 115.

5.3- PRESENT SERVICEABILITY RATING (PSR) E PRESENT SERVICEABILITY INDEX (PSI)

Uma significativa contribuição do "AASHO Road Test" foi a introdução do conceito de serventia como medida do desempenho de um pavimento (CAREY & IRICK, 1960).

Serventia é definida como sendo a habilidade de uma seção de um pavimento, à época da observação, de servir ao tráfego de automóveis e caminhões com elevados volumes e altas velocidades (AASHTO, 1972).

Desempenho é a habilidade de um pavimento de servir satisfatoriamente ao tráfego durante um período de tempo (CAREY & IRICK, 1960). Pode ser interpretado como a integral da função serventia-tempo ou serventia-tráfego de um pavimento (figura 5.15), ou como a variação da serventia com o tempo e/ou tráfego.

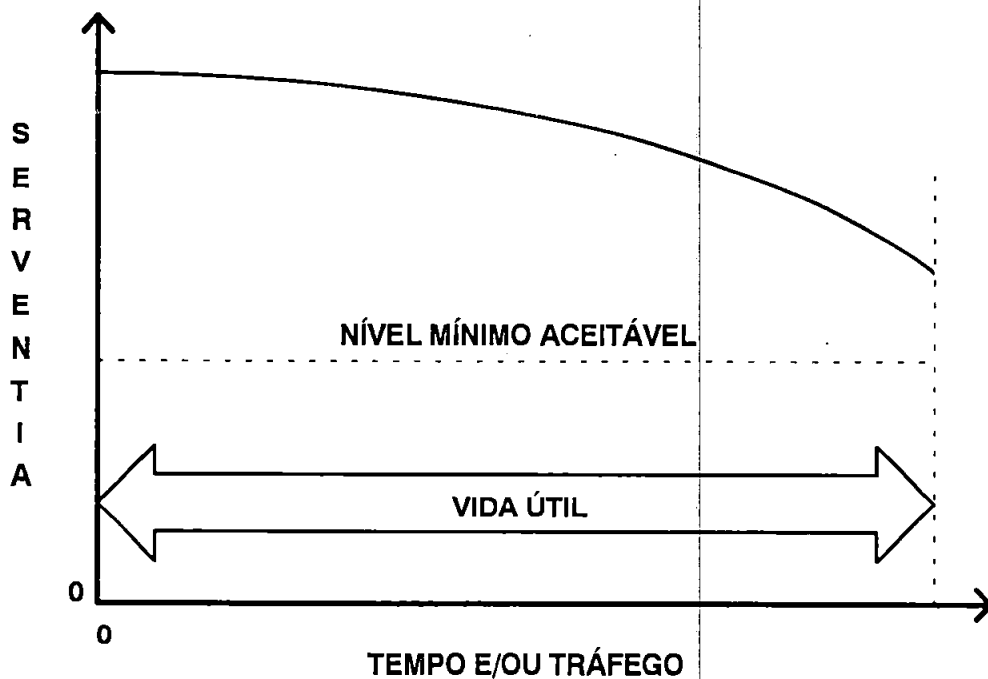


FIGURA 5.15- O conceito de serventia-desempenho como desenvolvido por Carey e Irick (HAAS & HUDSON, 1978).

CAREY & IRICK (1960), idealizaram um método que, numa primeira etapa, através de valores subjetivos (notas), representasse o comportamento geral do pavimento ao atender ao tráfego para o qual foi projetado.

Este método consiste inicialmente na composição de uma equipe técnica de avaliadores. Cada avaliador registra em escala de 0,0 a 5,0 (figura 5.16), onde o valor 5,0 representa um excelente pavimento, sua opinião subjetiva e independente sobre as qualidades de rolamento e conforto da rodovia.

A média aritmética dessas medidas subjetivas de serventia (notas), é definida como PSR-**Present Serviceability Rating** (CAREY & IRICK, 1960; YODER & WITCZAK, 1975).

ACEITÁVEL?			5	ÓTIMO
Sim	<input type="checkbox"/>		4	BOM
Não	<input type="checkbox"/>		3	REGULAR
Não decidido	<input type="checkbox"/>		2	RUIM
			1	PÉSSIMO
			0	
Identificação da Seção:		NOTA:		
Avaliador:				
Data:	Hora:	Veículo:		

FIGURA 5.16- Formulário de Avaliação do PSR usado no "AASHO Road Test" (CAREY & IRICK, 1960; HAAS & HUDSON, 1978).

Em uma etapa seguinte, uma análise estatística foi feita para correlacionar o PSR com valores objetivos das medidas físicas do próprio pavimento (trincas, remendos, irregularidade longitudinal, trilhas de roda, etc.). Esta previsão do valor do PSR através de medidas físicas é definida como PSI-**Present Serviceability Index** (CAREY & IRICK, 1960; YODER & WITCZAK, 1975). As equações de regressão desenvolvidas no "AASHO Road Test" têm a seguinte forma geral:

$$PSI = A_0 + A_1(R) + A_2(F_1) + A_3(F_2)$$

onde:

- PSI = *Present Serviceability Index*.
- A = Constantes da análise de regressão.
- R = Medidas de irregularidades.
- F = Medidas físicas (trincas, remendos, etc.).

Foram estabelecidas, após estudos exaustivos utilizando as medidas de irregularidades e defeitos já citados, as seguintes equações de correlação (CAREY & IRICK, 1960; HRB, 1962; YODER & WITCZAK, 1975; HAAS & HUDSON, 1978):

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

(para pavimentos flexíveis)

$$PSI = 5,41 - 1,80.\log(1 + SV) - 0,09.\sqrt{C + P}$$

(para pavimentos rígidos)

onde:

- PSI = *Present Serviceability Index*.
 SV = Variância da inclinação longitudinal.
 RD = Média das flechas nas trilhas de roda, em polegadas, medidas com régua de 4 pés de comprimento (figura 5.18).
 C+P = Área de trincas classe 2 ou 3, + remendos, por 1000 pés quadrados de área.

Deve-se notar que o PSR refere-se às notas dadas por uma equipe de avaliadores, enquanto que o PSI refere-se ao valor calculado através de uma análise de regressão. Segundo YODER & WITCZAK (1975), o PSI tem várias utilidades, a saber:

1. Permite a classificação dos pavimentos numa base comum.
2. Permite a formulação de programas de manutenção de uma maneira lógica.
3. Estabelece relações entre medidas objetivas do pavimento e medidas subjetivas dos usuários.

Estes dois índices, PSR - *Present Serviceability Rating* e PSI - *Present Serviceability Index*, foram padronizados pelo DNER como VSA - Valor de Serventia Atual e ISA - Índice de Serventia Atual, respectivamente.

Na seção 5.4 a seguir, apresentamos uma avaliação subjetiva dos segmentos 17-A, 17-B, 17-C, 17-D e 17-E do TLE, com suas respectivas notas (Valores de Serventia Atual). Não dispomos de dados suficientes para estimar o PSI através das fórmulas acima, entretanto, na seção 5.5 apresentamos uma estimativa teórica do PSI com base nos dados de IGG, de acordo com PEREIRA (1979).

5.4- AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA SUPERFÍCIE

5.4.1- INTRODUÇÃO

A Norma DNER-PRO 07/78 (Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos), fixa as condições exigíveis na avaliação com base no Valor de Serventia Atual (VSA), que é definido como:


“É a medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento, feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à suavidade e conforto.” (DNER-PRO 07/78, p. 1/7).

O grupo responsável pela determinação do Valor de Serventia Atual do segmento 17 do TLE foi constituído de cinco membros, quatro dos quais pertencentes ao quadro de engenheiros do DER/PR. Todas as condições impostas pela norma para a avaliação do pavimento foram obedecidas, a saber:

- Cada avaliador considerou somente o estado atual da superfície.
- A avaliação foi feita sob condições climáticas totalmente favoráveis (sem chuva, nevoeiro, neblina, etc.).
- Não foi considerada a resistência à derrapagem dos revestimentos.
- Foram ignorados os aspectos do projeto geométrico do trecho (largura do revestimento, alinhamento, etc.).
- Foram considerados principalmente os buracos, saliências e irregularidades da superfície (longitudinais e transversais).
- Foram desprezadas as irregularidades ocasionais devidas a recalques de bueiros.
- Cada trecho foi avaliado independentemente e não houve troca de informações entre um avaliador e outro.
- Foram utilizados dois veículos médios de passeio de fabricação nacional.

5.4.2- PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO

A avaliação consiste em percorrer o trecho com a velocidade próxima do seu limite permitido. Cada avaliador utilizou uma ficha de avaliação (figura 5.17) para cada trecho de pavimento, registrando seu parecer em escala de 0,0 (péssimo) a 5,0 (ótimo).



5	ÓTIMO
4	BOM
3	REGULAR
2	RUIM
1	PÉSSIMO
0	

FIGURA 5.17- Ficha de avaliação de serventia (DNER-PRO 07/78).

5.4.3- CÁLCULO DOS VALORES DE SERVENTIA ATUAL

Os valores de serventia atual de cada trecho do pavimento foram estimados através da seguinte fórmula:

$$VSA = \frac{\sum x}{n}$$

onde: VSA = Valor de Serventia Atual.
 x = Valores de Serventia conferidos por cada membro do grupo.
 n = Número de membros do grupo de avaliação.

A avaliação subjetiva da superfície foi realizada no dia 15 de setembro de 1993. Os resultados são mostrados na tabela 5.7.

TABELA 5.7- Resultados da Avaliação Subjetiva da Superfície (VSA).

AVALIADOR	SEGMENTO (TIPO DE REVESTIMENTO)				
	17-A (PMF)	17-B (MAC BET)	17-C (TSQ)	17-D (TST)	17-E (PMFD)
Nº 1	1,0	4,0	3,0	4,0	4,0
Nº 2	1,5	3,8	3,0	4,0	4,0
Nº 3	1,5	4,0	2,5	3,5	4,0
Nº 4	1,0	3,5	2,5	3,5	4,0
Nº 5	1,0	3,5	3,0	3,5	4,0
VSA	1,2	3,8	2,8	3,7	4,0



5.5- AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE

A Norma DNER-PRO 08/78 (Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos), fixa as condições exigíveis na avaliação de pavimentos, através do inventário do estado da superfície (contagem e classificação de defeitos) e da mensuração das deformações permanentes nas trilhas de roda, também chamadas de flechas ou afundamentos. Estes dados são utilizados no cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG).

5.5.1- FLECHA DE TRILHA DE RODA

5.5.1.1- INTRODUÇÃO

A Norma DNER-PRO 08/78 define flecha de trilha de roda como a medida, em milímetros, da deformação permanente no sulco formado nas trilhas de roda interna (TI) e externa (TE) correspondente ao ponto de máxima depressão, medido sob o centro de uma treliça de alumínio com 1,20 m de base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio (figura 5.19).

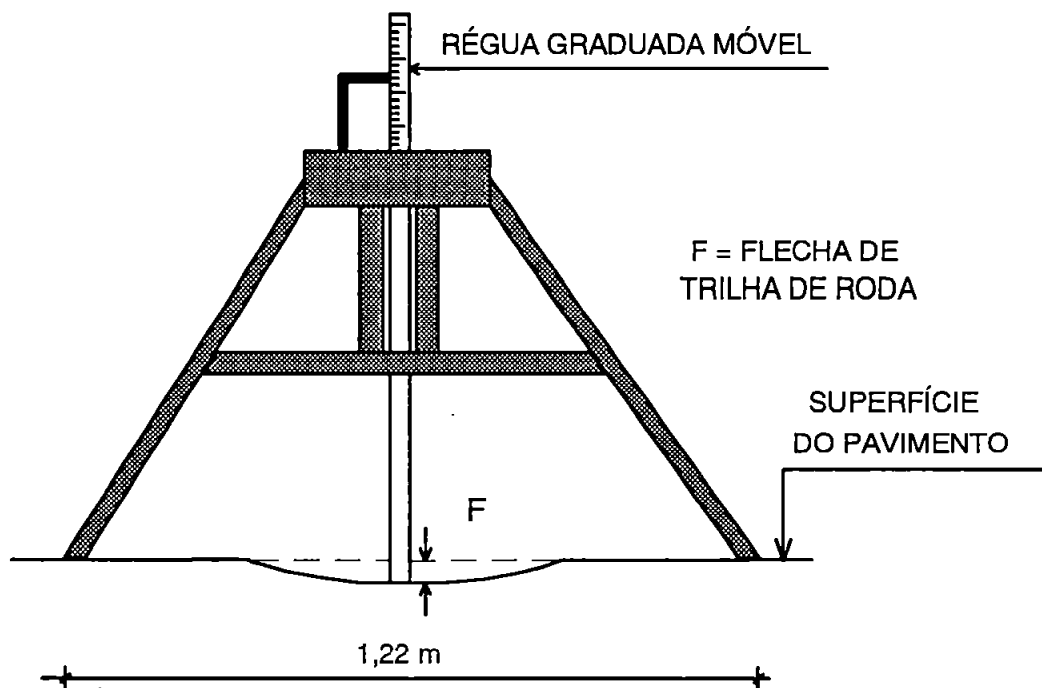


FIGURA 5.18- Medidor de flecha de trilha de roda do "AASHO Road Test" (HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1962).

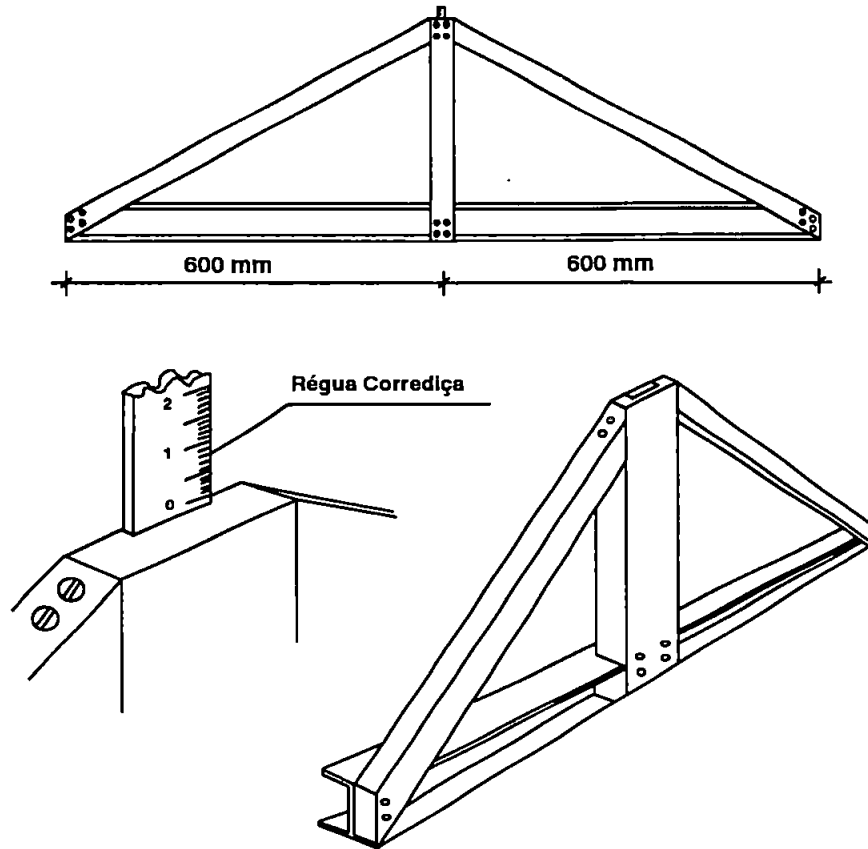


FIGURA 5.19- Aparelho para medição de flecha de trilha de roda.
(DNER-PRO 08/78).

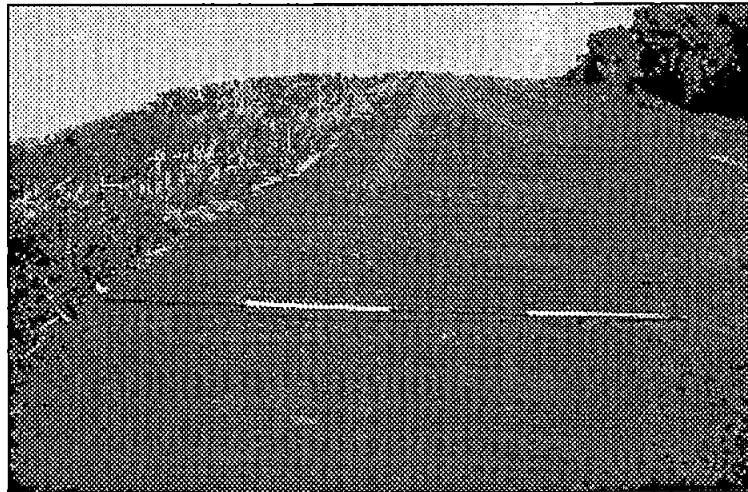


FOTO 5.1- Detalhe da flecha de trilha de roda.

Segundo PEREIRA (1976), o processo de afundamento das trilhas de roda de um pavimento pode ser atribuído a dois fenômenos, a saber:

1. Consolidação suplementar de uma ou mais camadas do pavimento e/ou subleito, sob a ação do tráfego, e/ou:
2. Deslocamento dos materiais de uma ou mais camadas do pavimento e/ou subleito, na direção do exterior das trilhas de rodas.

Ambos os fenômenos supra-citados foram observados em grande quantidade no segmento 17-A (capa de pré-misturado a frio sobre base de macadame seco). Em alguns casos, a flecha ultrapassou os 50 mm e o deslocamento de materiais levou à total ruína a sarjeta lateral (FOTOS 3, 4 e 7 - Anexo C).

HAAS & HUDSON (1978), indicaram que os principais riscos possíveis para os usuários, provocados por trilhas de roda excessivas na estrada, são:

1. Aquaplanagem.
2. Perda de controle de direção do veículo.
3. Congelamento de água depositada.

O último efeito não é importante para as condições brasileiras. Os mesmos autores afirmaram que afundamentos de trilhas menores que 12,7 mm (1/2") normalmente não constituem problema sério, mas que profundidades acima de 25,4 mm (1") podem ser perigosas.

5.5.1.2- CÁLCULO DAS MÉDIAS E VARIÂNCIAS DAS FLECHAS

As flechas foram medidas nas trilhas de roda interna e externa de ambas as faixas de tráfego, nas mesmas seções transversais (estações) que contêm os pontos de determinação das deflexões, salvo em casos isolados em que os referidos pontos coincidiram com remendos ondulados ou painelas. Nestes casos, de acordo com recomendações de PEREIRA (1976), a treliça foi deslocada o suficiente para situá-la fora do campo de domínio da anomalia, sem ultrapassar, no entanto, o âmbito de área circunvizinha à estação que é objeto da avaliação.

Do conjunto de valores individuais obtidos, foram calculadas a média (\bar{x}) e a variância (σ^2) através das seguintes fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{\sum F_i}{n} \qquad \sigma^2 = \frac{\sum (F_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

onde: F_i = valores individuais das flechas nas trilhas de roda.
 n = número de valores individuais computados.

A notação utilizada é mostrada na figura 5.20. Os resultados obtidos da análise estatística são mostrados nas tabelas 5.8a e 5.8b.

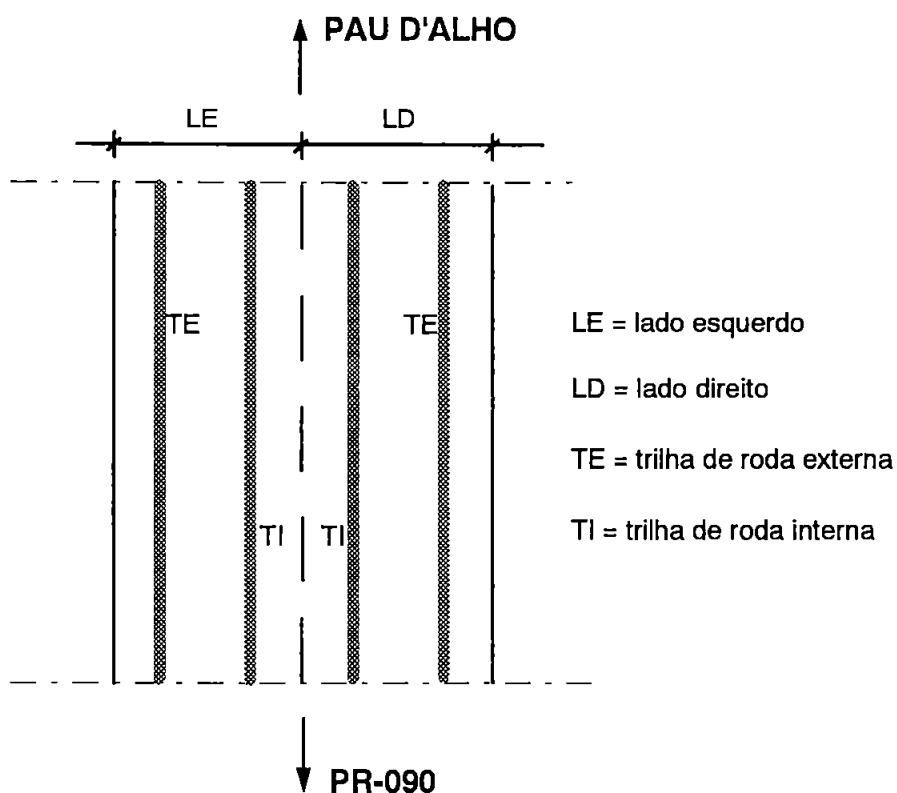


FIGURA 5.20- Notações utilizadas.

TABELA 5.8a- Análise estatística das flechas nas trilhas de roda.

SEGMENTO	08 / 90				06 / 91				
	LE		LD		LE		LD		
	TE	TI	TI	TE	TE	TI	TI	TE	
17-A	\bar{x}	3,96	2,16	4,02	5,18	4,76	3,58	8,44	7,51
	σ^2	7,82	0,54	17,25	13,42	7,55	11,89	27,30	31,35
17-B	\bar{x}	3,11	2,82	3,95	3,68	4,53	4,45	5,37	5,37
	σ^2	5,93	2,91	16,27	4,60	5,39	3,66	10,67	6,40
17-C	\bar{x}	3,82	2,41	4,12	4,65	7,12	6,41	5,71	5,71
	σ^2	11,65	5,63	7,74	33,24	26,61	35,38	32,47	33,35
17-D	\bar{x}	4,88	2,75	3,38	2,75	8,38	5,00	4,00	3,50
	σ^2	18,98	5,64	1,98	1,36	54,84	6,00	3,14	1,71
17-E	\bar{x}	4,14	4,43	3,14	3,57	3,71	4,71	5,29	4,71
	σ^2	3,48	2,62	0,48	0,95	1,90	5,90	3,57	1,90

TABELA 5.8b- Análise estatística das flechas nas trilhas de roda.

SEGMENTO		10 / 91				02 / 92			
		LE		LD		LE		LD	
		TE	TI	TI	TE	TE	TI	TI	TE
17-A	\bar{x}	3,38	1,71	6,00	7,11	5,69	4,20	7,93	9,82
	σ^2	9,74	6,21	58,00	56,74	9,49	4,21	43,65	54,51
17-B	\bar{x}	2,39	2,08	2,82	3,39	4,87	4,58	5,45	6,16
	σ^2	8,14	3,64	7,45	14,25	6,87	2,09	8,31	12,89
17-C	\bar{x}	4,82	3,41	2,59	4,59	6,35	5,35	4,53	6,47
	σ^2	23,15	6,63	31,51	86,76	21,62	8,24	29,76	88,01
17-D	\bar{x}	5,50	2,88	3,75	1,63	7,38	4,50	6,13	3,50
	σ^2	43,14	3,55	8,50	1,70	27,98	2,86	7,27	4,00
17-E	\bar{x}	4,00	2,86	3,14	2,71	5,00	5,00	4,86	5,00
	σ^2	13,33	4,81	4,14	2,90	9,33	6,67	3,14	3,67

5.5.2- INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS

A avaliação objetiva da superfície foi realizada nos períodos de setembro de 1990, junho de 1991, outubro de 1991 e fevereiro de 1992, e de acordo com a norma DNER-ES 128/83.

Esta avaliação foi realizada através da mensuração direta de uma série de defeitos, em locais previamente demarcados denominados de estações.

De acordo com a Norma DNER-PRO 08/78, para rodovias de pista simples, caso do TLE, estas estações são dispostas em ambas as faixas de tráfego, alternadamente em relação ao eixo da pista de rolamento, adotando-se um espaçamento longitudinal de 20 m entre duas estações consecutivas, de acordo com a indicação da figura 5.21.

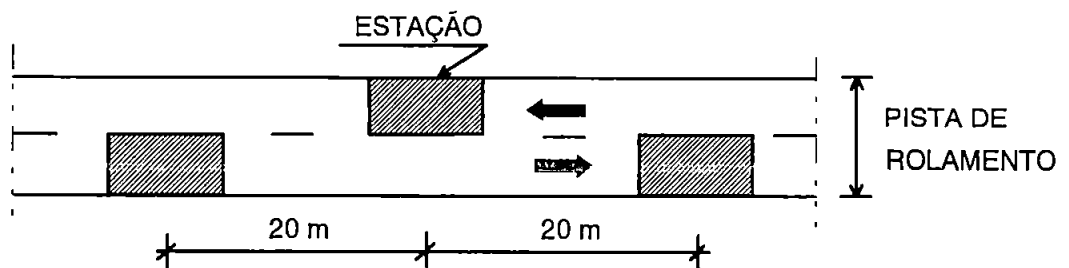


FIGURA 5.21- Localização das estações de medição de defeitos.

Fez-se coincidir o eixo das estações com as estacas inteiras do levantamento topográfico. Cada estação foi delimitada pelo bordo da pista de rolamento, pelo seu eixo e por duas seções transversais situadas 3,00 m antes e 3,00 m após a estaca considerada. A amostragem adotada correspondeu a 15% da área total de cada segmento. PEREIRA (1976), acrescenta:

"Tendo-se em vista a sistemática adotada na marcação das estações, as áreas inspecionadas teriam virtualmente um cunho de amostras aleatórias, sendo plausível, portanto, inferir-se, a partir de seu estado, o estado apresentado pelo segmento em observação, considerado como um todo. A propósito, a área objeto de inspeção representa 15% da área total do pavimento estudado."

Os defeitos encontrados em cada estação foram devidamente marcados a giz sobre o revestimento e registrados em formulários apropriados. Foram anotadas não apenas as ocorrências dos defeitos, mas também as suas respectivas áreas*. As tabelas 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 a seguir sumarizam os tipos de ocorrências (defeitos):

TABELA 5.9- Quantitativo dos defeitos no pavimento (08/90).

SEGMENTO	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
Extensão (m)	1.800	1.500	700	300	280
Largura (m)	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Revestimento	PMF	MAC BET	TSQ	TST	PMFD
FC-1 (m ²)	43,50	--	2,00	--	--
FC-2 (m ²)	--	--	--	--	--
FC-3 (m ²)	--	--	--	--	--
ALP / ATP (m ²)	--	--	--	--	--
O / P (m ²)	--	--	--	--	--
EX (m ²)	--	--	--	--	--
D (m ²)	--	--	--	--	--
R (m ²)	--	--	--	--	--

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

* As áreas são calculadas através do produto das dimensões do retângulo circunscrito à região que apresenta defeito, com um dos lados paralelos ao eixo da rodovia. No caso de trincas longitudinais e transversais, estas dimensões são o comprimento da trinca e sua largura de influência. (DNER-ES 128/83).

TABELA 5.10- Quantitativo dos defeitos no pavimento (06/91).

SEGMENTO	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
Extensão (m)	1.800	1.500	700	300	280
Largura (m)	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Revestimento	PMF	MAC BET	TSQ	TST	PMFD
FC-1 (m ²)	1.224,34	132,50	10,04	36,50	8,00
FC-2 (m ²)	152,70	30,50	19,50	--	--
FC-3 (m ²)	--	--	--	--	--
ALP / ATP (m ²)	637,50	152,00	52,00	--	--
O / P (m ²)	0,09	--	--	0,21	--
EX (m ²)	--	--	--	--	--
D (m ²)	--	--	--	--	--
R (m ²)	24,99	--	--	12,00	--

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

TABELA 5.11- Quantitativo dos defeitos no pavimento (10/91).

SEGMENTO	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
Extensão (m)	1.800	1.500	700	300	280
Largura (m)	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Revestimento	PMF	MAC BET	TSQ	TST	PMFD
FC-1 (m ²)	771,15	270,55	10,00	37,96	8,00
FC-2 (m ²)	595,28	67,90	--	--	--
FC-3 (m ²)	--	--	--	--	--
ALP / ATP (m ²)	788,36	--	78,00	--	--
O / P (m ²)	23,83	3,00	--	3,35	--
EX (m ²)	--	--	--	--	--
D (m ²)	--	--	--	--	--
R (m ²)	84,01	--	--	12,00	--

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

TABELA 5.12- Quantitativo dos defeitos no pavimento (02/92).

SEGMENTO	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
Extensão (m)	1.800	1.500	700	300	280
Largura (m)	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
Revestimento	PMF	MAC BET	TSQ	TST	PMFD
FC-1 (m ²)	841,60	258,10	4,50	26,00	1,50
FC-2 (m ²)	519,10	80,50	--	--	--
FC-3 (m ²)	--	--	--	--	--
ALP / ATP (m ²)	987,50	--	87,00	--	--
O / P (m ²)	7,60	3,00	--	0,40	--
EX (m ²)	--	--	--	--	--
D (m ²)	--	--	--	--	--
R (m ²)	113,40	0,10	--	12,00	--

FONTE: DPD-DER/PR - Relatório Interno

TABELA 5.13- Codificação das ocorrências na superfície do pavimento.

NATUREZA DA OCORRÊNCIA					NOTAÇÃO				
Ausência aparente de falhas na superfície do revestimento					OK				
F E N D A S	FISSURAS				FI	FC-1			
	TRINCAS NO RE- VESTIMENTO GE- RADAS POR DE- FORMAÇÃO PER- MANENTE EXCES- SIVA E/OU DECOR- RENTES DO FENÔ- MENO DE FADIGA	TRINCAS ISOLADAS	Transversais	Curtas	TTC				
				Longas	TTL				
			Longitudinais	Curtas	TLC				
				Longas	TLL				
	TRINCAS IN- TERLIGADAS	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nos bordos das trincas		J		FC-2		
			Com erosão acentuada nos bordos das trincas		JE		FC-3		
	TRINCAS NO RE- VESTIMENTO NÃO ATRIBUÍ- DAS AO FENÔME- NO DE FADIGA	TRINCAS ISOLADAS	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo cimento) ou do revestimento				TRR	FC-1	
			TRINCAS IN- TERLIGADAS	"Bloco"	Sem erosão acentuada nos bordos das trincas		TB	FC-2	
					Com erosão acentuada nos bordos das trincas		TBE	FC-3	
AFUNDA- MENTOS	PLÁSTI- COS	LOCAIS	Devidos à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento e/ou do subleito		ALP				
		TRILHAS DE RODAS	Devidos à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento e/ou do subleito		ATP				
	DE CON- SOLIDA- ÇÃO	LOCAIS	Devidos à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento e/ou do subleito		ALC				
		TRILHAS DE RODAS	Devidos à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento e/ou do subleito		ATC				
Corrugação-Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou base					O				
Escorregamento do revestimento betuminoso					E				
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento					EX				
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D				
"Painéis" decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes da base					P				
Remendos existentes (superficial ou profundos)					R				

FONTE: (DNER-PRO 08/78)

TABELA 5.14- Áreas de defeitos observados nos inventários (%).

TIPO	DEFEITO	DATA	PORCENTAGEM DE DEFEITOS				
			17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	FC-1	08 / 90	2,44	--	0,29	--	--
		06 / 91	68,71	8,92	1,45	12,29	2,89
		10 / 91	43,27	18,22	1,44	12,78	2,89
		02 / 92	47,23	17,38	0,65	8,75	0,54
2	FC-2	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	8,57	2,05	2,81	--	--
		10 / 91	33,41	4,57	--	--	--
		02 / 92	29,13	5,42	--	--	--
3	FC-3	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	--	--	--	--	--
		10 / 91	--	--	--	--	--
		02 / 92	--	--	--	--	--
4	ALP e ATP	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	35,77	10,24	7,50	--	--
		10 / 91	44,24	--	11,26	--	--
		02 / 92	55,42	--	12,55	--	--
5	O e P	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	0,01	--	--	0,07	--
		10 / 91	1,34	0,20	--	1,13	--
		02 / 92	0,43	0,20	--	0,13	--
6	EX	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	--	--	--	--	--
		10 / 91	--	--	--	--	--
		02 / 92	--	--	--	--	--
7	D	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	--	--	--	--	--
		10 / 91	--	--	--	--	--
		02 / 92	--	--	--	--	--
8	R	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	1,40	--	--	4,04	--
		10 / 91	4,71	--	--	4,04	--
		02 / 92	6,36	0,01	--	4,04	--
9	Média dos valores médios das flechas nas trilhas de roda interna e externa	08 / 90	3,83	3,39	3,75	3,44	3,82
		06 / 91	6,07	4,93	6,24	5,22	4,61
		10 / 91	4,55	2,67	3,85	3,44	3,18
		02 / 92	6,91	5,27	5,68	5,38	4,97
10	Média das variâncias das flechas nas trilhas de roda interna e externa	08 / 90	9,76	7,43	14,57	6,99	1,88
		06 / 91	19,52	6,53	31,95	16,42	3,32
		10 / 91	32,67	8,37	37,01	14,22	6,30
		02 / 92	27,97	7,54	36,91	10,53	5,70
SEGMENTO			17-A	17-B	17-C	17-D	17-E

5.5.3- ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)

5.5.3.1- INTRODUÇÃO

O Departamento de Estradas e Transportes da Província de Saskatchewan, no Canadá, adota um método de avaliação rotineira de pavimentos (WINNITOY, 1969) que inclui medições de irregularidade longitudinal com o "Car Road Meter" ou equivalente, medição das deflexões recuperáveis com a viga Benkelman e avaliação das condições da superfície do pavimento.

O resultado desta avaliação é denominado de Índice de Severidade, e é utilizado no acompanhamento da evolução das condições da superfície do pavimento ao longo do tempo.

Utilizando-se basicamente das idéias e conceitos do índice supra-citado e incorporando também alguns resultados e conclusões presentes nos relatórios emitidos pela AASHO sobre sua pista experimental, o engenheiro Armando Martins Pereira propôs um Método Expedido de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos, posteriormente normalizado pelo DNER.

Segundo PEREIRA (1972, 1976), Índice de Gravidade Global é definido como:

"Um parâmetro numérico que permite a avaliação da intensidade de deterioração de segmentos rodoviários, cuja concepção, além de refletir o estado de cada segmento considerado isoladamente, permite a comparação relativa entre os estados apresentados por segmentos distintos."

Para o cálculo do IGG, leva-se em consideração dez ocorrências ou eventos distintos, já vistos na tabela 5.13 e resumidos na tabela 5.15 a seguir.

Oito desse eventos representam tipos individuais de defeitos ou grupo de defeitos. Os outros dois são derivados da mensuração das flechas nas trilhas de roda (média e variância). Dessa forma, o valor do IGG reflete o efeito conjunto de uma ampla gama de deficiências estruturais sobre o estado da superfície do pavimento (PEREIRA, 1976).

Cada evento considerado isoladamente corresponde a um valor específico, chamado de Índice de Gravidade Individual (IGI). Logicamente, intensidades idênticas de eventos distintos correspondem a índices também distintos. Como consequência, arbitrou-se a gravidade individual de um dos eventos como padrão, com a qual seriam comparadas as gravidades dos demais eventos.

TABELA 5.15- Classificação dos defeitos no pavimento.

TIPO	NOTAÇÃO	DEFEITOS
1	FC-1	Fissuras, trincas isoladas transversais curtas e longas, trincas isoladas longitudinais curtas e longas, e trincas isoladas devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou revestimento.
2	FC-2	Trincas interligantes do tipo "jacaré" sem erosão acentuada nas bordas das trincas, e trincas interligadas em bloco sem erosão acentuada nas bordas das trincas.
3	FC-3	Trincas interligadas do tipo "jacaré" ou em blocos, com erosão acentuada nas bordas.
4	ALP e ATP	Afundamentos plásticos localizados devidos à fluência plástica, e afundamentos nas trilhas de roda devidos ao mesmo motivo.
5	O e P	Corrugações, ondulações transversais e "panelas".
6	EX	Exsudação do ligante betuminoso.
7	D	Desgaste acentuado.
8	R	Remendos
9	F	Média aritmética dos valores médios das flechas das TRI e TRE.
10	FV	Média aritmética das variâncias das flechas medidas nas TRI e TRE.

FONTE: (DNER-PRO 08/78)

Desta maneira, foi conferido a cada evento um fator de ponderação capaz de exprimir, subjetivamente, a relação verificada entre a gravidade individual do evento tomado como padrão, e a gravidade individual do evento considerado especificamente.

Foi escolhido como evento padrão o de número 5 (FOTO 9 - Anexo C), por ser ele representado pelos defeitos que mais afetam a irregularidade longitudinal da superfície, grandeza que tem grande influência sobre a serventia do pavimento (HAAS & HUDSON, 1978). Os fatores de ponderação adotados estão discriminados na tabela 5.16 .

TABELA 5.16- Fatores de ponderação para cálculo do IGI.

TIPOS	NOTAÇÃO	FATOR DE PONDERAÇÃO
1	FC-1	0,2
2	FC-2	0,5
3	FC-3	0,8
4	ALP e ATP	0,9
5	O e P	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

FONTE: DNER-PRO 08/78

Para a média aritmética das flechas nas trilhas de roda (F) e a média aritmética de suas variâncias (FV), o fator de ponderação depende dos respectivos valores obtidos, a saber:

- $F \leq 30$ - O fator de ponderação é igual a 4/3.
- $F > 30$ - O índice de gravidade individual é igual a 40.
- $FV \leq 50$ - O fator de ponderação é igual a 1.
- $FV > 50$ - O índice de gravidade individual é igual a 50.

De acordo com a Norma DNER-PRO 08/78, o IGG é calculado através das seguintes fórmulas:

$$f_r = \frac{100 \cdot f_a}{n}$$

$$IGI = f_r \cdot f_p$$

$$IGG = \sum IGI$$

- onde:
- n = número de estações inventariadas.
 - f_p = fator de ponderação (tabela 5.16).
 - IGI = Índice de Gravidade Individual.
 - IGG = Índice de Gravidade Global.
 - f_a = freqüência absoluta (número de vezes em que a ocorrência foi verificada).
 - f_r = freqüência relativa (número de vezes em que a ocorrência é verificada em relação ao número total de estações).

Ao estado de deterioração de um pavimento é conferido um dos seguintes conceitos: bom, regular, mau ou péssimo. Uma correspondência entre esses conceitos e o Índice de Gravidade Global é dada pela tabela 5.17.

TABELA 5.17- Limites de IGG.

CONCEITO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO	VALORES LIMITES DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)
Bom	0 - 20
Regular	20 - 80
Mau	80 - 150
Péssimo	150 - 500

FONTE: DNER-PRO 08/78

Posteriormente, PEREIRA (1979) propôs aumentar para cinco as faixas de variação do IGG e seus respectivos conceitos, visando possíveis correlações do IGG com o PSI (*Present Serviceability Index*) e outros indicadores da condição do pavimento. Os novos valores são mostrados na tabela 5.18.

TABELA 5.18- Novos limites de IGG.

CONCEITO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO	VALORES LIMITES DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)
Ótimo	0 - 10
Bom	10 - 30
Regular	30 - 80
Mau	80 - 150
Péssimo	150 - 500

FONTE: PEREIRA (1979)

O mesmo autor foi mais além, estabelecendo uma relação puramente teórica entre o PSI e o IGG, chegando à equação abaixo, que se encontra representada graficamente na figura 5.22.

$$PSI = \frac{309,220 - 0,616 \cdot IGG}{61,844 + IGG}$$

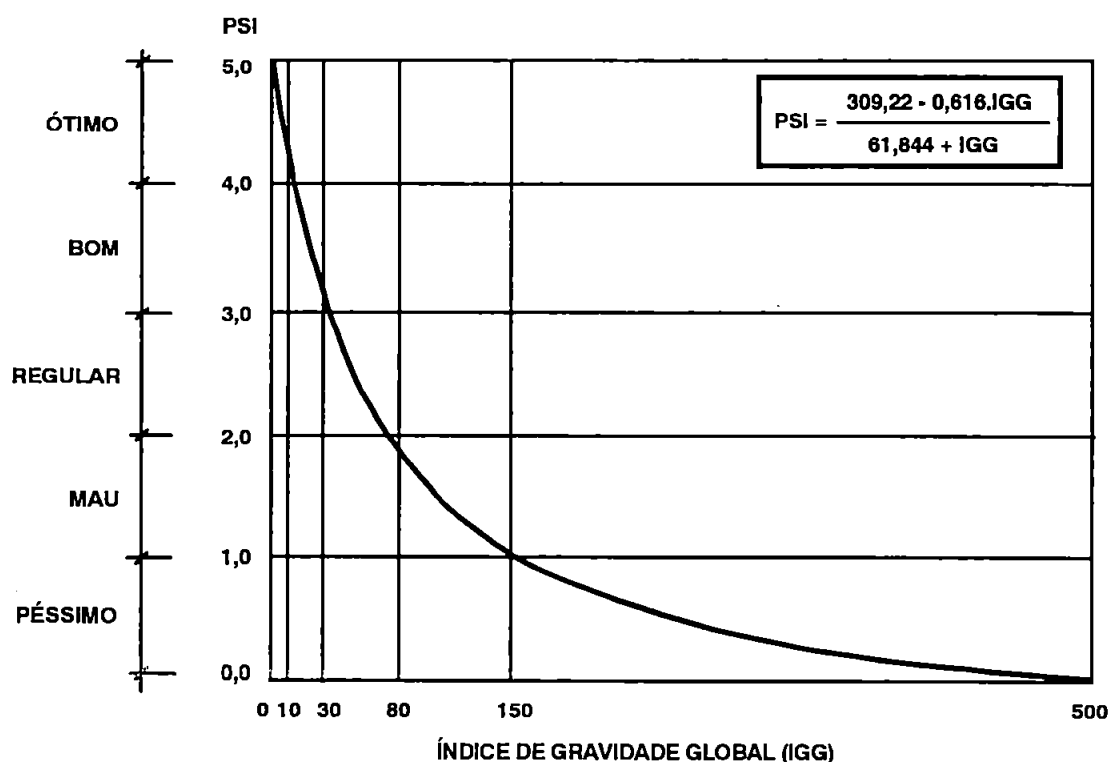


FIGURA 5.22- Correlação teórica entre o PSI e o IGG (PEREIRA, 1979).

5.5.3.2- CÁLCULO DO IGG DOS TRECHOS

O cálculo do Índice de Gravidade Global dos trechos do segmento 17 diferiu na metodologia de quantificação dos defeitos. Em substituição às frequências relativas das ocorrências (DNER-PRO 08/78), utilizou-se o cálculo da porcentagem das áreas de cada ocorrência em relação à área total das estações (DNER-ES 128/83), já que esses índices podem ser considerados iguais, conforme item 6.1.1 da Norma DNER-PRO 10/79 (Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, Procedimento-A). As tabelas 5.19 a 5.38 apresentam os valores de IGG dos segmentos em estudo, calculados através dos programas constantes no anexo D. Na seqüência, os resultados obtidos nestas tabelas são resumidos na tabela 5.39. Os valores de PSI calculados através da equação proposta por PEREIRA (1979), também são apresentados na tabela 5.39.

TABELA 5.19- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-A (08 / 90).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 08 / 90		FL.	
Rodovia: Trecho Laboratório Escola								
Segmento: 17-A			Tipo de revestimento: PMF				01/20	
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.	
1	FC-1		43.50	2.44	0.2	0.49		
2	FC-2		--	--	0.5	--		
3	FC-3		--	--	0.8	--		
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--		
5	O e P		--	--	1.0	--		
6	EX		--	--	0.5	--		
7	D		--	--	0.3	--		
8	R		--	--	0.6	--		
9	F	3.83	*****	*****	4/3 (1)	5.11		
10	FV	9.76	*****	*****	1.0 (2)	9.76		
ÁREA TOTAL (m ²)		1782.00	IGG = \sum		ÍND. GRAV. INDIV.		15.36	BOM

TABELA 5.20- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-A (06 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 06 / 91		FL.	
Rodovia: Trecho Laboratório Escola								
Segmento: 17-A			Tipo de revestimento: PMF				02/20	
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.	
1	FC-1		1224.34	68.71	0.2	13.74		
2	FC-2		152.70	8.57	0.5	4.29		
3	FC-3		--	--	0.8	--		
4	ALP e ATP		637.50	35.77	0.9	32.19		
5	O e P		0.09	0.01	1.0	0.01		
6	EX		--	--	0.5	--		
7	D		--	--	0.3	--		
8	R		24.99	1.40	0.6	0.84		
9	F	6.07	*****	*****	4/3 (1)	8.09		
10	FV	19.52	*****	*****	1.0 (2)	19.52		
ÁREA TOTAL (m ²)		1782.00	IGG = \sum		ÍND. GRAV. INDIV.		78.68	REG.

TABELA 5.21- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-A (10 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 10 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-A			Tipo de revestimento: PMF				03/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		771.15	43.27	0.2	8.65	
2	FC-2		595.28	33.41	0.5	16.70	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		788.36	44.24	0.9	39.82	
5	O e P		23.83	1.34	1.0	1.34	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		84.01	4.71	0.6	2.83	
9	F	4.55	*****	*****	4/3 (1)	6.07	
10	FV	32.67	*****	*****	1.0 (2)	32.67	
ÁREA TOTAL (m ²)		1782.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		108.08		MAU

TABELA 5.22- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-A (02 / 92).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 02 / 92		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-A			Tipo de revestimento: PMF				04/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		841.60	47.23	0.2	9.45	
2	FC-2		519.10	29.13	0.5	14.57	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		987.50	55.42	0.9	49.87	
5	O e P		7.60	0.43	1.0	0.43	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		113.40	6.36	0.6	3.82	
9	F		*****	*****	4/3 (1)	9.21	
10	FV		*****	*****	1.0 (2)	27.97	
ÁREA TOTAL (m ²)			IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		115.31		MAU

TABELA 5.23- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-B (08 / 90).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 08 / 90		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-B			Tipo de revestimento: MAC BET				05/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		--	--	0.2	--	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	3.39	*****	*****	4/3 (1)	4.52	
10	FV	7.43	*****	*****	1.0 (2)	7.43	
ÁREA TOTAL (m ²)		1485.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		11.95		BOM

TABELA 5.24- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-B (06 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 06 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-B					Tipo de revestimento: MAC BET		06/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		132.50	8.92	0.2	1.78	
2	FC-2		30.50	2.05	0.5	1.03	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		152.00	10.24	0.9	9.21	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	4.93	*****	*****	4/3 (1)	6.57	
10	FV	6.53	*****	*****	1.0 (2)	6.53	
ÁREA TOTAL (m ²)		1485.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		25.13		BOM

TABELA 5.25- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-B (10 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 10 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-B					Tipo de revestimento: MAC BET		07/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		270.55	18.22	0.2	3.64	
2	FC-2		67.90	4.57	0.5	2.29	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		3.00	0.20	1.0	0.20	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	2.67	*****	*****	4/3 (1)	3.56	
10	FV	8.37	*****	*****	1.0 (2)	8.37	
ÁREA TOTAL (m ²)		1485.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		18.06		BOM

TABELA 5.26- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-B (02 / 92).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 02 / 92		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-B					Tipo de revestimento: MAC BET		08/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		258.10	17.38	0.2	3.48	
2	FC-2		80.50	5.42	0.5	2.71	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		3.00	0.20	1.0	0.20	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		0.10	0.01	0.6	0.01	
9	F	5.27	*****	*****	4/3 (1)	7.03	
10	FV	7.54	*****	*****	1.0 (2)	7.54	
ÁREA TOTAL (m ²)		1485.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		20.97		BOM

TABELA 5.27- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-C (08 / 90).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 08 / 90		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-C					Tipo de revestimento: TSQ		09/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		2.00	0.29	0.2	0.06	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	3.75	*****	*****	4/3 (1)	5.00	
10	FV	14.57	*****	*****	1.0 (2)	14.57	
ÁREA TOTAL (m ²)		693.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		19.63		BOM

TABELA 5.28- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-C (06 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 06 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-C					Tipo de revestimento: TSQ		10/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		10.04	1.45	0.2	0.29	
2	FC-2		19.50	2.81	0.5	1.41	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		52.00	7.50	0.9	6.75	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	6.24	*****	*****	4/3 (1)	8.32	
10	FV	31.95	*****	*****	1.0 (2)	31.95	
ÁREA TOTAL (m ²)		693.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		48.72		REG.

TABELA 5.29- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-C (10 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 10 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-C					Tipo de revestimento: TSQ		11/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		10.00	1.44	0.2	0.29	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		78.00	11.26	0.9	10.13	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	3.85	*****	*****	4/3 (1)	5.13	
10	FV	37.01	*****	*****	1.0 (2)	37.01	
ÁREA TOTAL (m ²)		693.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		52.56		REG.

TABELA 5.30- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-C (02 / 92).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 02 / 92		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-C			Tipo de revestimento: TSO				12/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		4.50	0.65	0.2	0.13	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		87.00	12.55	0.9	11.30	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	5.68	*****	*****	4/3 (1)	7.57	
10	FV	36.91	*****	*****	1.0 (2)	36.91	
ÁREA TOTAL (m ²)		693.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		55.91		REG.

TABELA 5.31- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-D (08 / 90).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 08 / 90		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-D			Tipo de revestimento: TST				13/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		--	--	0.2	--	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	3.44	*****	*****	4/3 (1)	4.59	
10	FV	6.99	*****	*****	1.0 (2)	6.99	
ÁREA TOTAL (m ²)		297.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		11.58		BOM

TABELA 5.32- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-D (06 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 06 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-D			Tipo de revestimento: TST				14/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		36.50	12.29	0.2	2.46	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		0.21	0.07	1.0	0.07	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		12.00	4.04	0.6	2.42	
9	F	5.22	*****	*****	4/3 (1)	6.96	
10	FV	16.42	*****	*****	1.0 (2)	16.42	
ÁREA TOTAL (m ²)		297.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		28.33		BOM

TABELA 5.33- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-D (10 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 10 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							15/20
Segmento: 17-D		Tipo de revestimento: TST					
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		37.96	12.78	0.2	2.56	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		3.35	1.13	1.0	1.13	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		12.00	4.04	0.6	2.42	
9	F	3.44	*****	*****	4/3 (1)	4.59	
10	FV	14.22	*****	*****	1.0 (2)	14.22	
ÁREA TOTAL (m ²)		297.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		24.92		BOM

TABELA 5.34- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-D (02 / 92).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 02 / 92		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							16/20
Segmento: 17-D		Tipo de revestimento: TST					
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		26.00	8.75	0.2	1.75	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		0.40	0.13	1.0	0.13	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		12.00	4.04	0.6	2.42	
9	F	5.38	*****	*****	4/3 (1)	7.17	
10	FV	10.53	*****	*****	1.0 (2)	10.53	
ÁREA TOTAL (m ²)		297.00	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		22.01		BOM

TABELA 5.35- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-E (08 / 90).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 08 / 90		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							17/20
Segmento: 17-E		Tipo de revestimento: PMFD					
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		--	--	0.2	--	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	3.82	*****	*****	4/3 (1)	5.09	
10	FV	1.88	*****	*****	1.0 (2)	1.88	
ÁREA TOTAL (m ²)		277.20	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		6.97		ÓTIMO

TABELA 5.36- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-E (06 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 06 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-E					Tipo de revestimento: PMFD		18/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		8.00	2.89	0.2	0.58	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	4.61	*****	*****	4/3 (1)	6.15	
10	FV	3.32	*****	*****	1.0 (2)	3.32	
ÁREA TOTAL (m ²)		277.20	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		10.04		BOM

TABELA 5.37- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-E (10 / 91).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 10 / 91		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-E					Tipo de revestimento: PMFD		19/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		8.00	2.89	0.2	0.58	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	3.18	*****	*****	4/3 (1)	4.24	
10	FV	6.30	*****	*****	1.0 (2)	6.30	
ÁREA TOTAL (m ²)		277.20	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		11.12		BOM

TABELA 5.38- Planilha de Cálculo do IGG. Segmento 17-E (02 / 92).

PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG					DATA: 02 / 92		FL.
Rodovia: Trecho Laboratório Escola							
Segmento: 17-E					Tipo de revestimento: PMFD		20/20
ITEM	DEFEITO		A	PAT	CP	IGI	OBS.
1	FC-1		1.50	0.54	0.2	0.11	
2	FC-2		--	--	0.5	--	
3	FC-3		--	--	0.8	--	
4	ALP e ATP		--	--	0.9	--	
5	O e P		--	--	1.0	--	
6	EX		--	--	0.5	--	
7	D		--	--	0.3	--	
8	R		--	--	0.6	--	
9	F	4.97	*****	*****	4/3 (1)	6.63	
10	FV	5.70	*****	*****	1.0 (2)	5.70	
ÁREA TOTAL (m ²)		277.20	IGG = \sum ÍND. GRAV. INDIV.		12.43		BOM

TABELA 5.39- Resumo dos valores de IGG e respectivos conceitos.

DATA	SEG.	REVESTIMENTO	IGG	CONCEITO	PSI (teórico)
08 / 90	17-A	PMF	15,36	BOM	3,9
	17-B	MAC BET	11,95	BOM	4,1
	17-C	TSQ	19,63	BOM	3,6
	17-D	TST	11,58	BOM	4,1
	17-E	PMFD	6,97	ÓTIMO	4,4
06 / 91	17-A	PMF	78,68	REGULAR	1,9
	17-B	MAC BET	25,13	BOM	3,4
	17-C	TSQ	48,72	REGULAR	2,5
	17-D	TST	28,33	BOM	3,2
	17-E	PMFD	10,04	BOM	4,2
10 / 91	17-A	PMF	108,08	MAU	1,4
	17-B	MAC BET	18,06	BOM	3,7
	17-C	TSQ	52,56	REGULAR	2,4
	17-D	TST	24,92	BOM	3,4
	17-E	PMFD	11,12	BOM	4,1
02 / 92	17-A	PMF	115,31	MAU	1,3
	17-B	MAC BET	20,97	BOM	3,6
	17-C	TSQ	55,91	REGULAR	2,3
	17-D	TST	22,01	BOM	3,5
	17-E	PMFD	12,43	BOM	4,1

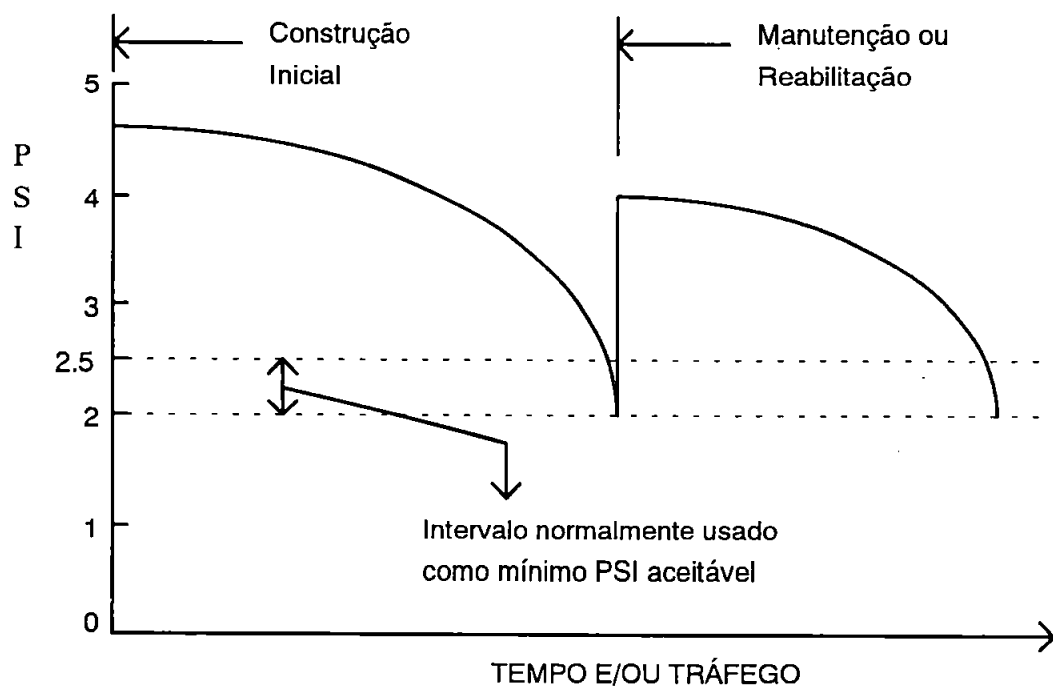


FIGURA 5.23- Conceito de desempenho de pavimentos utilizando o PSI (NCHRP, 1981).

A figura 5.23 (página anterior), apresenta o conceito de desempenho de pavimentos utilizando o PSI. A seguir, as figuras 5.24 e 5.25 mostram a evolução do IGG e do PSI com o tempo, respectivamente.

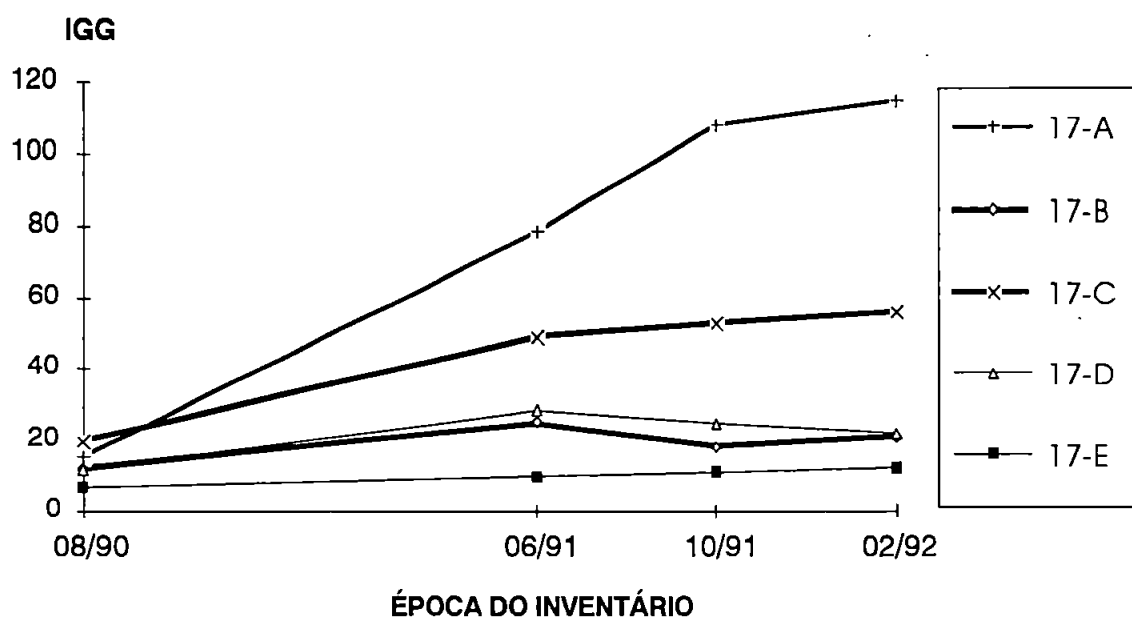


FIGURA 5.24- Evolução do IGG com o tempo.

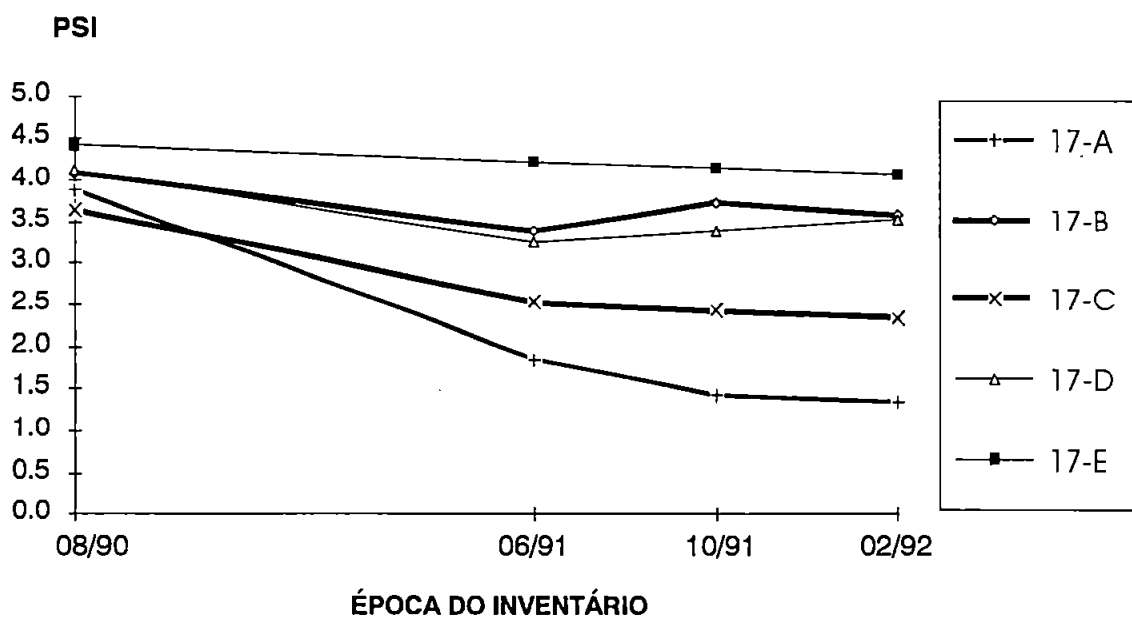


FIGURA 5.25- Evolução do PSI com o tempo.

5.6- PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI)

5.6.1- INTRODUÇÃO

O método de avaliação de pavimentos *PCI-Pavement Condition Index*, foi desenvolvido por Mohamed Y. Shahin e Starr D. Kohn, pesquisadores do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos.

O objetivo principal do método é obter um índice para estacionamentos, ruas, rodovias e aeroportos que retrate a condição real do pavimento (condição estrutural e da superfície) a partir de observações visuais e cálculos simples, além da determinação das necessidades de manutenção e recuperação, avaliação do desempenho do pavimento e comparação entre pavimentos (SHAHIN & KOHN, 1979a).

O PCI é um indicador numérico da condição de um pavimento, que está diretamente relacionado com a integridade estrutural do pavimento e a condição de sua superfície (SHAHIN et alii, 1979). Este índice varia de 0 a 100, onde o valor 100 representa uma excelente condição do pavimento.

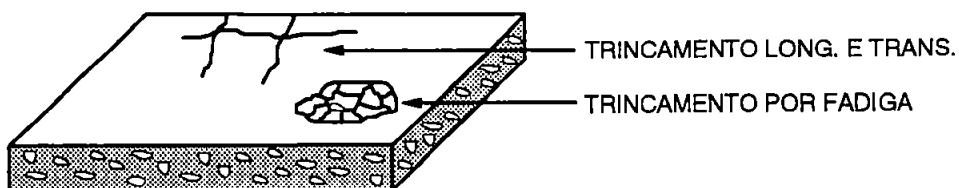
O PCI é função dos tipos, das severidades (largura das trincas, profundidade das trilhas de roda, etc) e das densidades (porcentagem da área total do pavimento) dos defeitos (SHAHIN & KOHN, 1979a), e expresso matematicamente pela equação abaixo. Na seqüência, a figura 5.26 apresenta os passos para determinação do PCI.

$$PCI = C - \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} a(T_i, S_i, D_{ij}) \right] \cdot F(t, q)$$

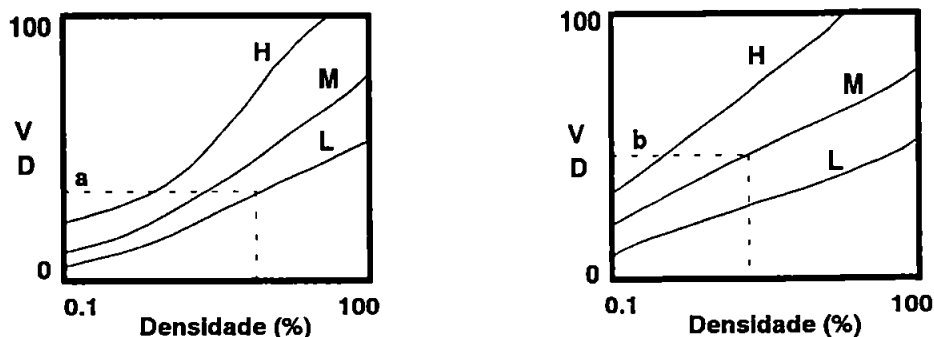
Onde:

- PCI = *Pavement Condition Index*.
- C = Constante que depende do valor máximo desejado (C=100).
- i = Contador dos tipos de defeitos.
- j = Contador do grau de severidade.
- p = Número de defeitos no pavimento analisado.
- m_i = Severidade do i-ésimo tipo de defeito.
- F(t,q) = Fator de ajuste, quando houver muitos tipos de defeitos. É função do somatório total "t" e de "q", número de valores de dedução maiores que 5 (ábaco 7 - anexo f).
- a() = Valor de dedução (VD), que depende do tipo (T_i), severidade (S_j) e densidade (D_{ij}) dos defeitos no pavimento. São utilizados gráficos para determinação dos valores de dedução em função da densidade dos defeitos.

PASSO 1: INSPEÇÃO DO PAVIMENTO. DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE DEFEITOS, SUA ÁREA E SEVERIDADE.

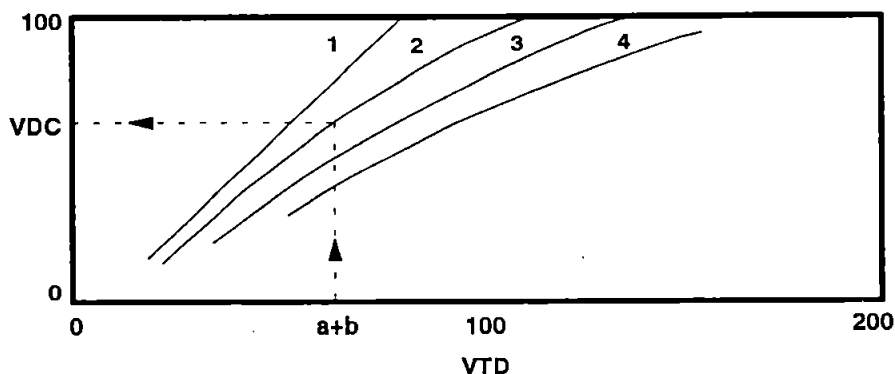


PASSO 2: DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE DEDUÇÃO (VD).



PASSO 3: CÁLCULO DO VALOR TOTAL DE DEDUÇÃO. $VTD = a + b$

PASSO 4: AJUSTE DO VALOR TOTAL DE DEDUÇÃO.



PASSO 5: CÁLCULO DO PCI. $PCI = 100 - VDC$

PASSO 6: DETERMINAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO.

0	10	11	25	26	40	41	55	56	70	71	85	86	100	P C I
Péssimo		Muito Ruim		Ruim		Regular		Boa		Muito Boa		Excelente		

FIGURA 5.26 - Passos para o cálculo do PCI (SHAHIN & KOHN, 1979a).

Cada defeito no pavimento avaliado deve ser classificado conforme os tipos de defeitos relacionados na tabela 5.40 abaixo.

TABELA 5.40- Tipos de defeitos em pavimentos flexíveis considerados no PCI.

DEFEITO Nº	DESCRIÇÃO	UNIDADE
1	TRINCAMENTO POR FADIGA ("JACARÉ")	m ²
2	EXSUDAÇÃO DO ASFALTO	m ²
3	TRINCAMENTO EM BLOCOS	m ²
4	ELEVAÇÕES - RECALQUES	m
5	CORRUGAÇÃO	m ²
6	DEPRESSÃO	m ²
7	TRINCAMENTO DE BORDA	m
8	TRINCAMENTO POR REFLEXÃO DE JUNTAS	m
9	DESNÍVEL PAVIMENTO-ACOSTAMENTO	m
10	TRINCAMENTO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL	m
11	REMENDOS	m ²
12	AGREGADOS POLIDOS	m ²
13	PANELAS (BURACOS)	ud
14	CRUZAMENTO FERROVIÁRIO	m ²
15	AFUNDAMENTO NAS TRILHAS DE RODAS	m ²
16	ESCORREGAMENTO DA CAPA	m ²
17	TRINCAMENTO POR ESCORREGAMENTO DA CAPA	m ²
18	INCHAMENTO	m ²
19	DESAGREGAÇÃO E DESINTEGRAÇÃO	m ²

FONTE: SHAHIN & KOHN (1979a)

5.6.2- ADAPTAÇÃO AO ESTUDO

Para uma determinação precisa do PCI, deve ser realizada uma inspeção minuciosa do pavimento determinando-se os tipos, as severidades e as densidades dos defeitos. Existem dois procedimentos de inspeção do pavimento em unidades de aproximadamente 225 m². No primeiro procedimento todas as unidades são avaliadas, enquanto que no segundo as mesmas são escolhidas aleatoriamente (SHAHIN & KOHN, 1979a).

No presente trabalho, faremos uma pequena adaptação. Como não dispomos de levantamentos em unidades de 225 m², utilizaremos as mesmas estações (unidades) de medição de defeitos. No caso dos segmentos em estudo foram observados os seguintes tipos de defeitos:

- Trincas transversais e longitudinais (FC-1).
- Trincas interligadas - jacaré (FC-2).
- Afundamentos plásticos localizados (ALP/ATP).
- Painelas (P).
- Remendos (R).
- Flechas nas trilhas de rodas (F).

A adaptação entre os defeitos supra-citados e os defeitos preconizados pela metodologia PCI é apresentada na tabela 5.41 abaixo.

TABELA 5.41- Adaptação dos defeitos (IGG para PCI).

IGG		PCI	
TIPO	DESCRIÇÃO	TIPO	DESCRIÇÃO
1	Trincas transversais e longitudinais (FC-1)	10	Trincamento longitudinal e transversal
2	Trincas interligadas - jacaré (FC-2)	1	Trincamento por fadiga (jacaré)
4	Afundamentos plásticos localizados (ALP/ATP)	6	Depressão
5	Painelas (P)	13	Painelas (buracos)
8	Remendos (R)	11	Remendos
9	Média aritmética das flechas nas trilhas de rodas (F)	15	Afundamento nas trilhas de rodas

A consideração sobre a severidade de um defeito requer entendimento de como a qualidade de rolamento é afetada pelos diversos tipos. Segundo SHAHIN & KOHN (1979b), o efeito da qualidade de rolamento é considerado:

- Baixo - Quando vibrações ou solavancos são sentidos pelo usuário, porém não há necessidade de redução da velocidade.
- Médio - Quando as vibrações ou solavancos são significativos, obrigando o usuário a reduzir a velocidade, por motivos de segurança e conforto.
- Alto - Quando as vibrações ou solavancos são excessivos, produzindo uma considerável redução da velocidade.

Todos os defeitos observados nos inventários dos segmentos experimentais foram considerados de baixa severidade, devido ao fato de serem incipientes.

5.6.3- CÁLCULO DO PCI

As densidades dos defeitos foram calculadas dividindo-se as suas respectivas áreas pela área total inventariada e multiplicando o resultado por 100 (procedimento semelhante ao método IGG), com exceção dos defeitos 10 e 13. Para o cálculo das densidades desses defeitos, as suas áreas foram substituídas pela soma dos comprimentos das trincas e pelo número de painéis, respectivamente (SHAHIN & KOHN, 1979a).

Quanto aos afundamentos nas trilhas de roda, foram considerados apenas os valores situados no intervalo de baixa severidade (6 a 13 mm). A tabela 5.42 abaixo exibe as densidades dos defeitos inventariados. Na seqüência, a tabela 5.43 apresenta os valores de dedução determinados pelos ábacos 1 a 6 do anexo F e a tabela 5.44 apresenta um resumo dos valores de PCI e os respectivos conceitos dos pavimentos. A figura 5.27 mostra a evolução do PCI com o tempo.

TABELA 5.42- Densidades dos defeitos.

TIPO	DEFEITO (PCI)	DATA	DENSIDADES DOS DEFEITOS				
10	Trincamento longitudinal e transversal	08 / 90	2,44	--	0,29	--	--
		06 / 91	68,71	8,92	1,45	12,29	2,89
		10 / 91	43,27	18,22	1,44	12,78	2,89
		02 / 92	47,23	17,38	0,65	8,75	0,54
1	Trincamento por fadiga (jacaré)	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	8,57	2,05	2,81	--	--
		10 / 91	33,41	4,57	--	--	--
		02 / 92	29,13	5,42	--	--	--
6	Depressão	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	35,77	10,24	7,50	--	--
		10 / 91	44,24	--	11,26	--	--
		02 / 92	55,42	--	12,55	--	--
13	Painéis (buracos)	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	0,06	--	--	0,67	--
		10 / 91	5,33	0,81	--	4,38	--
		02 / 92	1,68	0,81	--	0,67	--
11	Remendos	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	1,40	--	--	4,04	--
		10 / 91	4,71	--	--	4,04	--
		02 / 92	6,36	0,01	--	4,04	--
15	Afundamento nas trilhas de roda	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	18,00	--	18,00	--	--
		10 / 91	--	--	--	--	--
		02 / 92	18,00	--	--	--	--
SEGMENTO			17-A	17-B	17-C	17-D	17-E

TABELA 5.43- Valores de dedução dos segmentos.

TIPO	DEFEITO	DATA	VALORES DE DEDUÇÃO (VD)				
10	Trincamento longitudinal e transversal	08 / 90	6	--	0	--	--
		06 / 91	39	16	3	18	7
		10 / 91	33	22	3	18	7
		02 / 92	34	22	0	15	0
1	Trincamento por fadiga (jacaré)	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	31	16	19	--	--
		10 / 91	47	24	--	--	--
		02 / 92	46	26	--	--	--
6	Depressão	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	39	18	14	--	--
		10 / 91	41	--	20	--	--
		02 / 92	43	--	22	--	--
13	Painelas (buracos)	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	2	--	--	16	--
		10 / 91	47	18	--	43	--
		02 / 92	28	18	--	16	--
11	Remendos	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	2	--	--	9	--
		10 / 91	10	--	--	9	--
		02 / 92	12	0	--	9	--
15	Afundamento nas trilhas de roda	08 / 90	--	--	--	--	--
		06 / 91	34	--	34	--	--
		10 / 91	--	--	--	--	--
		02 / 92	34	--	--	--	--
VALOR TOTAL DE DEDUÇÃO (VTD)		08 / 90	6	0	0	0	0
		06 / 91	147	50	70	43	7
		10 / 91	178	64	23	70	7
		02 / 92	197	66	22	40	0
VALOR DE DEDUÇÃO CORRIGIDO (VDC)		08 / 90	6	0	0	0	0
		06 / 91	81	32	45	28	7
		10 / 91	87	42	23	45	7
		02 / 92	87	43	22	25	0
SEGMENTO			17-A	17-B	17-C	17-D	17-E

TABELA 5.44- Valores do PCI dos segmentos.

DATA	SEGMENTO	REVESTIMENTO	PCI (100-VDC)	CONCEITO (Tabela 5.45)
08 / 90	17-A	PMF	94	Excelente
	17-B	MAC BET	100	Excelente
	17-C	TSQ	100	Excelente
	17-D	TST	100	Excelente
	17-E	PMFD	100	Excelente
06 / 91	17-A	PMF	19	Muito Ruim
	17-B	MAC BET	68	Bom
	17-C	TSQ	55	Regular
	17-D	TST	72	Muito Bom
	17-E	PMFD	93	Excelente
10 / 91	17-A	PMF	13	Muito Ruim
	17-B	MAC BET	58	Bom
	17-C	TSQ	77	Muito Bom
	17-D	TST	55	Regular
	17-E	PMFD	93	Excelente
02 / 92	17-A	PMF	13	Muito Ruim
	17-B	MAC BET	57	Bom
	17-C	TSQ	78	Muito Bom
	17-D	TST	75	Muito Bom
	17-E	PMFD	100	Excelente

TABELA 5.45- Avaliação qualitativa do PCI.

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

FONTE: ROLLINGS & WITCZAK (1990)

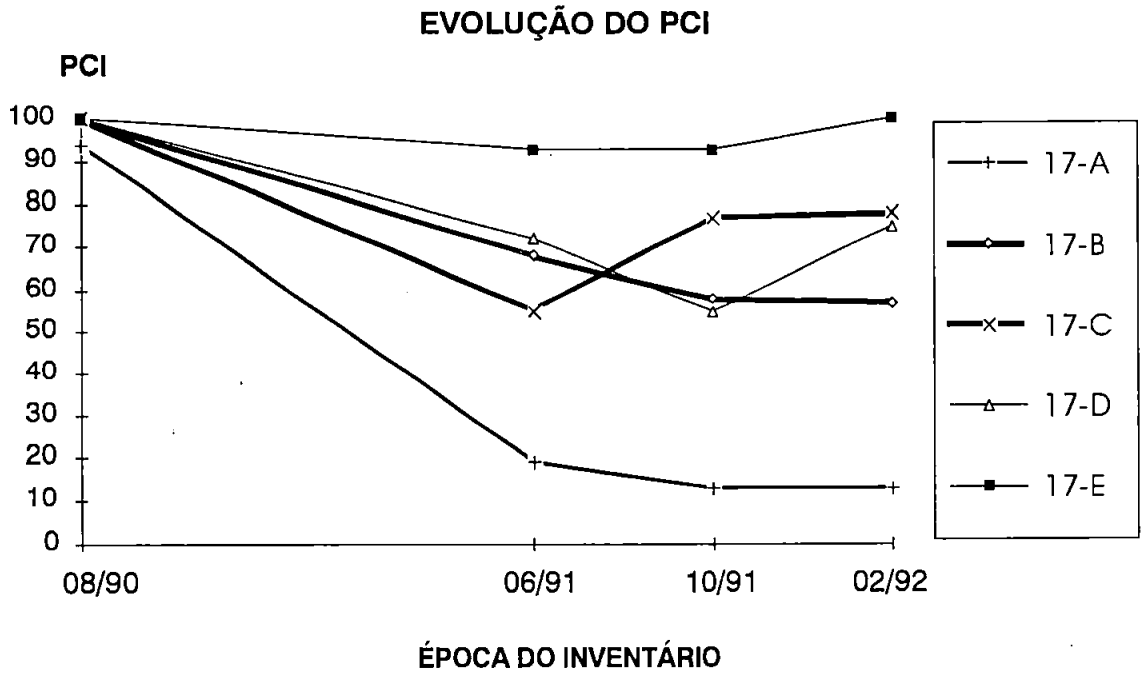


FIGURA 5.27- Evolução do PCI com o tempo.

Segundo SHAHIN et alii (1979), o PCI indica ao administrador uma idéia da condição do pavimento, possibilitando estratégias de manutenção e reabilitação necessárias. Os mesmos autores sugerem uma correlação entre o valor do PCI e o tipo de manutenção ou recuperação necessário para um pavimento, de acordo com a tabela 5.46.

TABELA 5.46- Estratégias de manutenção e reabilitação.

PCI	ESTRATÉGIAS
71 - 100	Manutenção de rotina
41 - 70	Grandes reparos
26 - 40	Grandes recuperações
0 - 25	Reabilitação completa

FONTE: SHAHIN et alii (1979)

6. Análise Estatística

6.1- INTRODUÇÃO

A mais importante técnica estatística utilizada para a solução de problemas envolvendo a comparação de várias médias é, sem dúvida, a **ANÁLISE DE VARIÂNCIA**, também conhecida como ANOVA (COSTA NETO, 1977). Este método foi inicialmente desenvolvido pelo estatístico inglês R. A. Fisher, como instrumento para a análise de experimentos agrícolas.

A Análise de Variância é um método poderoso capaz de identificar diferenças entre as médias populacionais devidas a várias causas atuando simultaneamente sobre os elementos da população.

Consideremos k amostras, cada uma com tamanho n_i , como mostrado na tabela 6.1, cujas médias \bar{x}_i ($i = 1, 2, \dots, k$) queremos comparar. A Análise de Variância consiste, pois, em testar as hipóteses:

$$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \dots = \bar{x}_k,$$

H_a : pelo menos uma das médias é diferente das demais.

Desejamos, portanto, saber se aceitamos ou rejeitamos a hipótese de que todos os tratamentos produzem, em média, o mesmo efeito. No presente trabalho, as perguntas para as quais procuramos respostas são as seguintes:

- As deflexões médias dos segmentos 17-A, 17-B, 17-C, 17-D e 17-E podem ser consideradas significativamente iguais ou diferentes?
- Caso sejam diferentes, quais médias devem ser consideradas diferentes de quais outras?

TABELA 6.1- Quadro de resultados observados (X = variável mensurada).

REPETIÇÕES	AMOSTRAS OU TRATAMENTOS					
	1	2	...	l	...	k
1	X_{11}	X_{21}	...	X_{l1}	...	X_{k1}
2	X_{12}	X_{22}	...	X_{l2}	...	X_{k2}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
j	X_{1j}	X_{2j}	...	X_{lj}	...	X_{kj}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m	X_{1m}	X_{2m}				

Para obter as respostas a essas perguntas, seguiremos o roteiro de cálculo abaixo, sugerido por COSTA NETO (1977), usando a notação segundo a qual x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, n_i$) é o j -ésimo valor da i -ésima amostra, e n_i o tamanho da i -ésima amostra (tabela 6.1):

$$T_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (\text{soma dos valores da } i\text{-ésima amostra})$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 \quad (\text{soma dos quadrados dos valores da } i\text{-ésima amostra})$$

$$T = \sum_{i=1}^k T_i = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (\text{soma total dos valores})$$

$$Q = \sum_{i=1}^k Q_i = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 \quad (\text{soma total dos quadrados})$$

$$\bar{x}_i = \frac{T_i}{n_i} \quad (\text{média da } i\text{-ésima amostra})$$

$$\bar{x} = \frac{T}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (\text{média de todos os valores})$$

Ainda segundo COSTA NETO (1977), ao se fazer a Análise de Variância, é usual dispor os cálculos segundo o chamado Quadro da Análise de Variância, conforme mostrado na tabela 6.2.

TABELA 6.2- Quadro de ANOVA para amostras de tamanhos diferentes.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados (SQ)	Graus de Liberdade e (GL)	Quadrado Médio (QM)	F	F α (crítico)
Entre amostras	$SQE = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{\sum_{i=1}^k n_i}$	$k - 1$	$s_E^2 = \frac{SQE}{k - 1}$	$F = \frac{s_E^2}{s_R^2}$	$F_{k-1, \sum n_i - k, \alpha}$
Residual	$SQR = Q - \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i}$	$\sum_{i=1}^k n_i - k$	$s_R^2 = \frac{SQR}{\sum_{i=1}^k n_i - k}$		
Total	$SQT = Q - \frac{T^2}{\sum_{i=1}^k n_i}$	$\sum_{i=1}^k n_i - 1$			

FORNE: COSTA NETO (1977)

Da tabela acima, $F_{k-1, \sum n_i - k, \alpha}$ é o teste F conduzido com $(k - 1)$ graus de liberdade no numerador e $(\sum n_i - k)$ no denominador, sendo α o nível de significância escolhido para o teste. Caso $F > F_{k-1, \sum n_i - k, \alpha}$, a hipótese H_0 será rejeitada, ou seja, pelo menos uma média é diferente das demais.

6.2- MÉTODOS DE TUKEY E SCHEFFÉ

O método da Análise de Variância, apesar de poderoso, apenas aceita ou rejeita a(s) hipótese(s) de igualdade das médias. Através dele, em caso de rejeição da hipótese H_0 , não é possível sabermos qual(is) média(s) é(são) considerada(s) significativamente diferente(s) das outras. Para preencher esta lacuna, são utilizados procedimentos para comparações múltiplas entre amostras, propostos por Tukey e Scheffé.

No caso de comparações múltiplas entre amostras de mesmo tamanho, o procedimento mais eficiente é o proposto por Tukey (COSTA NETO, 1977), que utiliza valores críticos da **amplitude studentizada q** (tabelada). Ao se comparar k amostras de n elementos cada, este procedimento recomenda considerar distintas, ao nível de significância adotado, as médias \bar{x}_l e \bar{x}_m tais que:

$$|\bar{x}_l - \bar{x}_m| > q_{k, v, \alpha} \cdot \sqrt{\frac{s_R^2}{n}}$$

onde α é o nível de significância desejado e $v = k(n - 1)$.

O outro método, o de Scheffé, tem a vantagem de utilizar os próprios valores do quadro da Análise de Variância, além de poder ser usado no caso de amostras de tamanhos diferentes (caso dos conjuntos das deflexões de cada subtrecho do segmento 17 do TLE).

Scheffé demonstrou que devem ser consideradas distintas entre si, ao nível de significância adotado, as médias \bar{x}_l e \bar{x}_m tais que:

$$|\bar{x}_l - \bar{x}_m| > \sqrt{s_R^2 \cdot (k - 1) \cdot \left(\frac{1}{n_l} + \frac{1}{n_m} \right) \cdot F_{k-1, \sum n_i - k, \alpha}}$$

onde:

\bar{x}_l = média dos valores da amostra l.

\bar{x}_m = média dos valores da amostra m.

s_R^2 = quadrado médio residual.

k = número de amostras ou tratamentos.

n_l = número de elementos da amostra l.

n_m = número de elementos da amostra m.

= nível de significância.

$F_{k-1, \sum n_i - k, \alpha}$ = teste F, com $(k - 1)$ e $(\sum n_i - k)$ graus de liberdade.

6.3- APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Aplicaremos a ANOVA às médias das deflexões recuperáveis e às médias das flechas nas trilhas de roda dos segmentos 17-A, 17-B, 17-C, 17-D e 17-E do Trecho Laboratório Escola, a um nível de significância de 5%.

Os valores médios das deflexões são apresentados nas tabelas 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6. Os resultados da ANOVA, calculados através do programa "**Excel 4.0 for Windows**" da **Microsoft Corporation**, são mostrados nas tabelas 6.7 a 6.10.

Os valores médios das flechas nas trilhas de roda são apresentados nas tabelas 6.11, 6.12, 6.13 e 6.14. Na seqüência, os resultados da ANOVA são mostrados nas tabelas 6.15, 6.16, 6.17 e 6.18.

TABELA 6.3- Valores médios das deflexões recuperáveis (08/90).

Nº	MEDIDAS DE DEFLEXÕES (0.01 mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	111	111	86	73	35
2	137	69	102	101	81
3	112	57	76	98	47
4	138	74	99	97	43
5	108	78	76	125	41
6	103	54	71	141	68
7	133	60	102	89	71
8	94	72	91	66	--
9	75	71	93	--	--
10	90	78	83	--	--
11	112	73	51	--	--
12	112	63	59	--	--
13	71	95	66	--	--
14	78	89	62	--	--
15	81	83	67	--	--
16	64	75	131	--	--
17	75	76	62	--	--
18	152	94	--	--	--
19	104	86	--	--	--
20	89	58	--	--	--
21	82	80	--	--	--
22	85	91	--	--	--
23	94	100	--	--	--
24	74	97	--	--	--
25	101	85	--	--	--
26	62	98	--	--	--
27	85	101	--	--	--
28	110	103	--	--	--
29	127	101	--	--	--
30	101	78	--	--	--
31	77	82	--	--	--
32	84	82	--	--	--
33	80	113	--	--	--
34	89	103	--	--	--
35	122	111	--	--	--
36	115	94	--	--	--
37	113	85	--	--	--
38	115	80	--	--	--
39	77	--	--	--	--
40	75	--	--	--	--
41	86	--	--	--	--
42	102	--	--	--	--
43	99	--	--	--	--
44	107	--	--	--	--
45	105	--	--	--	--

TABELA 6.4- Valores médios das deflexões recuperáveis (06/91).

Nº	MEDIDAS DE DEFLEXÕES (0.01 mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	103	104	70	75	52
2	115	67	90	65	34
3	90	61	66	60	32
4	100	57	96	116	44
5	95	60	53	92	42
6	80	57	53	162	66
7	89	53	74	54	62
8	96	58	88	55	--
9	56	57	53	--	--
10	90	67	52	--	--
11	81	61	46	--	--
12	81	48	50	--	--
13	64	82	34	--	--
14	60	65	47	--	--
15	60	64	47	--	--
16	51	58	58	--	--
17	54	69	51	--	--
18	99	69	--	--	--
19	79	70	--	--	--
20	89	62	--	--	--
21	75	66	--	--	--
22	47	70	--	--	--
23	73	89	--	--	--
24	75	87	--	--	--
25	74	63	--	--	--
26	62	89	--	--	--
27	69	85	--	--	--
28	90	89	--	--	--
29	107	86	--	--	--
30	70	78	--	--	--
31	73	82	--	--	--
32	76	69	--	--	--
33	89	107	--	--	--
34	82	84	--	--	--
35	98	92	--	--	--
36	116	88	--	--	--
37	86	76	--	--	--
38	76	70	--	--	--
39	76	--	--	--	--
40	71	--	--	--	--
41	73	--	--	--	--
42	64	--	--	--	--
43	64	--	--	--	--
44	82	--	--	--	--
45	88	--	--	--	--

TABELA 6.5- Valores médios das deflexões recuperáveis (10/91).

N°	MEDIDAS DE DEFLEXOES (0.01 mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	121	86	61	65	49
2	125	58	75	66	28
3	95	47	59	64	46
4	116	50	97	125	25
5	100	51	65	76	43
6	111	40	45	119	64
7	94	32	77	63	44
8	77	53	75	45	--
9	84	61	59	--	--
10	92	48	56	--	--
11	73	50	61	--	--
12	76	42	49	--	--
13	54	69	23	--	--
14	62	64	44	--	--
15	61	81	30	--	--
16	62	52	89	--	--
17	40	54	56	--	--
18	110	58	--	--	--
19	78	61	--	--	--
20	91	54	--	--	--
21	67	50	--	--	--
22	66	82	--	--	--
23	89	82	--	--	--
24	63	71	--	--	--
25	83	55	--	--	--
26	57	79	--	--	--
27	84	80	--	--	--
28	96	72	--	--	--
29	106	87	--	--	--
30	68	69	--	--	--
31	62	66	--	--	--
32	62	65	--	--	--
33	78	94	--	--	--
34	84	88	--	--	--
35	112	96	--	--	--
36	122	85	--	--	--
37	85	64	--	--	--
38	99	51	--	--	--
39	65	--	--	--	--
40	68	--	--	--	--
41	69	--	--	--	--
42	97	--	--	--	--
43	122	--	--	--	--
44	91	--	--	--	--
45	93	--	--	--	--

TABELA 6.6- Valores médios das deflexões recuperáveis (02/92).

N°	MEDIDAS DE DEFLEXÕES (0.01 mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	103	76	72	74	59
2	115	65	67	63	39
3	87	51	60	69	41
4	106	55	59	115	42
5	99	51	66	87	53
6	89	53	44	105	59
7	91	45	46	53	35
8	162	54	48	55	--
9	102	61	52	--	--
10	99	61	57	--	--
11	77	51	44	--	--
12	68	44	46	--	--
13	57	69	33	--	--
14	48	62	43	--	--
15	49	54	55	--	--
16	49	54	72	--	--
17	58	62	56	--	--
18	112	61	--	--	--
19	64	57	--	--	--
20	91	55	--	--	--
21	62	80	--	--	--
22	66	65	--	--	--
23	84	62	--	--	--
24	60	66	--	--	--
25	65	67	--	--	--
26	58	70	--	--	--
27	67	66	--	--	--
28	82	83	--	--	--
29	82	88	--	--	--
30	60	74	--	--	--
31	62	76	--	--	--
32	68	64	--	--	--
33	94	90	--	--	--
34	57	90	--	--	--
35	80	88	--	--	--
36	119	85	--	--	--
37	83	73	--	--	--
38	74	57	--	--	--
39	67	--	--	--	--
40	64	--	--	--	--
41	53	--	--	--	--
42	92	--	--	--	--
43	122	--	--	--	--
44	73	--	--	--	--
45	81	--	--	--	--

TABELA 6.7- Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (08/90).

SEGMENTOS	n_j	T_j	Q_j	\bar{x}_j	Variação
17-A	45	4.406,00	450.536,00	97,91	434,99
17-B	38	3.200,00	278.468,00	84,21	243,09
17-C	17	1.377,00	118.193,00	81,00	416,00
17-D	8	790,00	82.326,00	98,75	616,21
17-E	7	386,00	23.190,00	55,14	317,48
TOTAL (Σ)	115	10.159,00	952.713,00	417,01	2.027,77

Fonte de Variação	SO	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	14.267,46	4,00	3.566,86	9,57	2,45
Residual	41.008,32	110,00	372,80		
Total	55.275,77	114,00			

Na tabela 6.7 acima temos $F > F(\text{crítico})$, o que implica em rejeição da hipótese H_0 , ou seja, pelo menos uma das médias é significativamente diferente das demais. Após a aplicação do método de Scheffé, obtém-se o seguinte resultado:

17-D	17-A	17-B	17-C	17-E
98,75	97,91	84,21	81,00	55,14
-----			-----	

A notação utilizada acima significa que as médias das deflexões dos segmentos 17-D, 17-A, 17-B e 17-C são consideradas significativamente iguais, ao nível de 5%. O mesmo acontece para as deflexões dos segmentos 17-C e 17-E. Esta notação também é utilizada nas tabelas 6.8, 6.9 e 6.10 a seguir. Na seqüência, apresentamos os dados e a análise estatística das flechas nas triplas de roda.

TABELA 6.8- Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (06/91).

SEGMENTOS	n_j	T_j	Q_j	\bar{x}_j	Variação
17-A	45	3.588,00	297.736,00	79,73	264,84
17-B	38	2.759,00	207.871,00	72,61	204,14
17-C	17	1.028,00	67.078,00	60,47	307,14
17-D	8	679,00	67.555,00	84,88	1.417,84
17-E	7	332,00	16.784,00	47,43	172,95
TOTAL (Σ)	115	8.386,00	657.024,00	345,12	2.366,91

Fonte de Variação	SO	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	10.419,59	4,00	2.604,90	8,17	2,45
Residual	35.082,70	110,00	318,93		
Total	45.502,30	114,00			

17-D	17-A	17-B	17-C	17-E
84,88	79,73	72,61	60,47	47,43
-----		-----		-----

TABELA 6.9- Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (10/91).

SEGMENTOS	n_i	T_i	Q_i	\bar{x}_i	Varíância
17-A	45	3.810,00	341.968,00	84,67	440,64
17-B	38	2.447,00	167.299,00	64,39	262,84
17-C	17	1.021,00	67.201,00	60,06	367,56
17-D	8	623,00	54.233,00	77,88	816,70
17-E	7	299,00	13.807,00	42,71	172,57
TOTAL (Σ)	115	8.200,00	644.508,00	329,71	2.060,31

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	18.066,02	4,00	4.516,51	11,90	2,45
Residual	41.746,32	110,00	379,51		
Total	59.812,35	114,00			

17-A	17-D	17-B	17-C	17-E
84,67	77,88	64,39	60,06	42,71
-----		-----		-----

TABELA 6.10- Quadro de ANOVA. Deflexões recuperáveis (02/92).

SEGMENTOS	n_i	T_i	Q_i	\bar{x}_i	Varíância
17-A	45	3.601,00	312.377,00	80,02	550,39
17-B	38	2.485,00	168.531,00	65,39	162,84
17-C	17	920,00	51.754,00	54,12	122,86
17-D	8	621,00	51.859,00	77,63	521,98
17-E	7	328,00	15.962,00	46,86	98,81
TOTAL (Σ)	115	7.955,00	600.483,00	324,02	1.456,88

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	13.749,97	4,00	3.437,49	10,37	2,45
Residual	36.454,55	110,00	331,41		
Total	50.204,52	114,00			

17-A	17-D	17-B	17-C	17-E
80,02	77,63	65,39	54,12	46,86
-----		-----		-----

TABELA 6.11- Valores médios das flechas nas trilhas de roda (08/90).

Nº	FLECHAS NAS TRILHAS DE RODA (mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	2,25	6,25	2,75	2,75	2,75
2	2,5	3	4,25	2,75	3,5
3	2,75	3,75	2,25	3,25	3,5
4	3,75	3,25	5,25	3,5	4
5	4	2	5,5	2,5	3,5
6	3	2,75	4,25	6	5
7	2,25	1,5	3,75	3,75	4,5
8	2,5	2,25	2,75	3	--
9	6,5	2,25	3	--	--
10	3	1,75	2	--	--
11	2,75	2,5	3	--	--
12	3,75	2,25	3	--	--
13	2,75	2,25	6,75	--	--
14	3	3,25	2,25	--	--
15	3,75	3	4,25	--	--
16	2,25	2,25	7	--	--
17	2,25	3,5	1,75	--	--
18	7,5	3,5	--	--	--
19	2,5	3,75	--	--	--
20	3,75	3,5	--	--	--
21	4	3,25	--	--	--
22	2,5	3,5	--	--	--
23	1,75	8,75	--	--	--
24	2,75	3,75	--	--	--
25	3	5,25	--	--	--
26	2,5	2	--	--	--
27	2,25	3,5	--	--	--
28	5,25	3	--	--	--
29	4	2,5	--	--	--
30	6,25	7,5	--	--	--
31	2,5	4,25	--	--	--
32	3,75	2,25	--	--	--
33	4	8	--	--	--
34	3,25	2,5	--	--	--
35	5,75	2,25	--	--	--
36	2,75	3,5	--	--	--
37	4,25	1,75	--	--	--
38	7	2,75	--	--	--
39	3,5	--	--	--	--
40	3,25	--	--	--	--
41	3,5	--	--	--	--
42	6,5	--	--	--	--
43	7,5	--	--	--	--
44	8,75	--	--	--	--
45	5	--	--	--	--

TABELA 6.12- Valores médios das flechas nas trilhas de roda (06/91).

Nº	FLECHAS NAS TRILHAS DE RODA (mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	4,25	9,5	5,25	5,5	4,25
2	7,5	4,75	7	4	3,5
3	4,75	4,25	5,75	4,25	4,75
4	5,5	4	7,25	4	5,5
5	6,5	4	9	4,75	5,75
6	5,25	4,5	5	7,75	4,5
7	3,75	4,5	4,75	7,75	4
8	4,5	4,5	4,5	3,75	--
9	15,25	3,75	5	--	--
10	4,25	5,25	4	--	--
11	4	4,5	4,25	--	--
12	5	3,5	4	--	--
13	4	3,75	7,5	--	--
14	4,5	4,25	4,5	--	--
15	4	4	4,75	--	--
16	3,25	2,5	20,25	--	--
17	3,5	4,75	3,25	--	--
18	9,5	5	--	--	--
19	3,5	4	--	--	--
20	9,75	5,75	--	--	--
21	5	4,25	--	--	--
22	5	4,75	--	--	--
23	8	11,25	--	--	--
24	4	6,25	--	--	--
25	8	5,75	--	--	--
26	4	3,5	--	--	--
27	4	5,5	--	--	--
28	7,5	3,5	--	--	--
29	6,75	3,5	--	--	--
30	9,5	4,75	--	--	--
31	4,75	7	--	--	--
32	4,5	6,5	--	--	--
33	6,25	6,75	--	--	--
34	5	5,75	--	--	--
35	10	4,5	--	--	--
36	4,5	4,75	--	--	--
37	5,5	3,25	--	--	--
38	8,25	4,75	--	--	--
39	2,5	--	--	--	--
40	4,75	--	--	--	--
41	5	--	--	--	--
42	8,75	--	--	--	--
43	10	--	--	--	--
44	11,75	--	--	--	--
45	7,5	--	--	--	--

TABELA 6.13- Valores médios das flechas nas trilhas de roda (10/91).

Nº	FLECHAS NAS TRILHAS DE RODA (mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	5,25	8,25	3,75	2,75	1,5
2	6,75	2,5	5	3	4
3	2,25	1,75	0,5	2	2,25
4	3,75	1,75	4,5	3,75	5,5
5	3,75	2,5	6	4	1,75
6	3	2,75	3,5	4	3,75
7	1,5	1	2,75	6,25	3,5
8	1,25	2	2	1,75	--
9	13,25	0,75	2,5	--	--
10	2,25	0,25	2,5	--	--
11	2	2,75	1,5	--	--
12	2,25	0,75	2,25	--	--
13	1,5	0,25	5,5	--	--
14	2,5	1,5	2	--	--
15	3,25	1	3,5	--	--
16	1	0,75	16,25	--	--
17	1,25	2	1,5	--	--
18	8,75	1,5	--	--	--
19	0,75	1,75	--	--	--
20	8	3,5	--	--	--
21	2,5	1,75	--	--	--
22	3,25	2,25	--	--	--
23	7,75	10,75	--	--	--
24	4	2,75	--	--	--
25	6,25	5,75	--	--	--
26	2,25	0,75	--	--	--
27	2,75	1,75	--	--	--
28	10,5	3,25	--	--	--
29	5,5	1,75	--	--	--
30	8,5	4,75	--	--	--
31	1	4,75	--	--	--
32	2	4	--	--	--
33	3,5	4,5	--	--	--
34	2,5	3,75	--	--	--
35	5,75	3,5	--	--	--
36	2,5	2,5	--	--	--
37	2,75	1,5	--	--	--
38	6,25	2,25	--	--	--
39	2	--	--	--	--
40	2,5	--	--	--	--
41	2,75	--	--	--	--
42	16,25	--	--	--	--
43	13	--	--	--	--
44	9,25	--	--	--	--
45	5,25	--	--	--	--

TABELA 6.14- Valores médios das flechas nas trilhas de roda (02/92).

Nº	FLECHAS NAS TRILHAS DE RODA (mm)				
	17-A	17-B	17-C	17-D	17-E
1	6,25	10	4,5	4,5	3,5
2	9,25	4,75	7	5,25	5,5
3	5	5	3,25	4	4,25
4	6	4	7,25	5,75	6
5	6	4,25	9	5,75	3
6	5,75	5	5,25	6,75	6,75
7	3,75	3,75	4,75	6,5	5,75
8	4,25	5	4,5	4,5	--
9	16,25	3,5	4	--	--
10	5,25	2,75	3,5	--	--
11	4,5	5,25	3,25	--	--
12	4,75	3,5	3,75	--	--
13	4,25	2,75	7	--	--
14	4,75	4	3,75	--	--
15	5,75	4	5,25	--	--
16	3,5	3,5	17	--	--
17	3,25	4,5	3,5	--	--
18	10,75	5	--	--	--
19	3,25	5	--	--	--
20	8,25	5,5	--	--	--
21	4,75	4,5	--	--	--
22	5,5	5	--	--	--
23	10,75	12,5	--	--	--
24	6	6,75	--	--	--
25	8,75	7,25	--	--	--
26	5	4	--	--	--
27	5	4,75	--	--	--
28	11,75	5	--	--	--
29	8	4,75	--	--	--
30	10,75	6,75	--	--	--
31	3,75	7,5	--	--	--
32	4,75	7	--	--	--
33	6,75	7,25	--	--	--
34	5,75	5,75	--	--	--
35	9	5,5	--	--	--
36	5	5,5	--	--	--
37	5,25	4,5	--	--	--
38	8,75	4,75	--	--	--
39	4,5	--	--	--	--
40	5	--	--	--	--
41	6,25	--	--	--	--
42	15,5	--	--	--	--
43	13,75	--	--	--	--
44	12	--	--	--	--
45	8	--	--	--	--

TABELA 6.15- Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (08/90).

SEGMENTOS	n_j	T_j	Q_j	\bar{x}_j	Variância
17-A	45	172,25	784,94	3,83	2,85
17-B	38	128,75	541,56	3,39	2,85
17-C	17	63,75	279,94	3,75	2,55
17-D	8	27,50	103,25	3,44	1,25
17-E	7	26,75	105,56	3,82	0,56
TOTAL (Σ)	115	419,00	1.815,25	18,23	10,06

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	4,76	4,00	1,19	0,46	2,45
Residual	283,87	110,00	2,58		
Total	288,63	114,00			

TABELA 6.16- Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (06/91).

SEGMENTOS	n_j	T_j	Q_j	\bar{x}_j	Variância
17-A	45	273,25	1.963,69	6,07	6,92
17-B	38	187,25	1.023,44	4,93	2,72
17-C	17	106,00	905,75	6,24	15,30
17-D	8	41,75	237,06	5,22	2,74
17-E	7	32,25	152,44	4,61	0,64
TOTAL (Σ)	115	640,50	4.282,38	27,07	28,32

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	42,03	4,00	10,51	1,72	2,45
Residual	673,04	110,00	6,12		
Total	715,07	114,00			

TABELA 6.17- Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (10/91).

SEGMENTOS	n_j	T_j	Q_j	\bar{x}_j	Variância
17-A	45	204,75	1.502,31	4,55	12,97
17-B	38	101,50	436,25	2,67	4,46
17-C	17	65,50	452,00	3,85	12,48
17-D	8	27,50	108,75	3,44	2,03
17-E	7	22,25	82,94	3,18	2,04
TOTAL (Σ)	115	421,50	2.582,25	17,69	33,98

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	75,46	4,00	18,86	2,16	2,45
Residual	961,90	110,00	8,74		
Total	1.037,36	114,00			

TABELA 6.18- Quadro de ANOVA. Flechas nas trilhas de roda (02/92).

SEGMENTOS	n_i	T_i	Q_i	\bar{x}_i	Variância
17-A	45	311,00	2.607,50	6,91	10,41
17-B	38	200,00	1.183,13	5,26	3,53
17-C	17	96,50	728,50	5,68	11,30
17-D	8	43,00	238,00	5,38	0,98
17-E	7	34,75	184,19	4,96	1,95
TOTAL (Σ)	115	685,25	4.941,31	28,19	28,17

Fonte de Variação	SQ	GL	QM	F	F(critico)
Entre amostras	70,20	4,00	17,55	2,450	2,454
Residual	787,91	110,00	7,16		
Total	858,12	114,00			

Como podemos observar nas últimas tabelas (6.15, 6.16, 6.17 e 6.18), temos $F < F(\text{crítico})$, o que implica em aceitação da hipótese H_0 , ou seja, as médias das flechas nas trilhas de roda dos segmentos 17-A, 17-B, 17-C, 17-D e 17-E podem ser consideradas significativamente iguais, ao nível de significância de 5%.

7. Análise dos Resultados

Para uma melhor análise dos resultados dos métodos de avaliação utilizados no presente trabalho, utilizaremos a tabela 7.1 abaixo. Foram agrupados nesta tabela os resultados finais mais recentes, referentes a 02/92, retirados das tabelas 5.6 (\bar{D} - média das deflexões recuperáveis), 5.8b (\bar{F} - média das flechas nas trilhas de roda), 5.39 (IGG-Índice de Gravidade Global e PSI-*Present Serviceability Index*), 5.7 (VSA-Valor de Serventia Atual) e 5.44 (PCI-*Pavement Condition Index*).

TABELA 7.1- Resultados dos métodos de avaliação utilizados (02/92).

MÉTODO	SEGMENTOS				
	17-A (PMF)	17-B (MAC BET)	17-C (TSQ)	17-D (TST)	17-E (PMFD)
\bar{D}	80,02	65,39	54,12	77,63	46,86
\bar{F}	6,91	5,26	5,68	5,38	4,96
IGG	115,31	20,97	55,91	22,01	12,43
VSA	1,2	3,8	2,8	3,7	4,0
PSI	1,3	3,6	2,3	3,5	4,1
PCI	13	57	78	75	100

A tabela 7.2 a seguir apresenta os resultados das comparações entre os valores da tabela acima, agrupados em ordem decrescente de desempenho, com as seguintes considerações:

- \bar{D} : quanto menor o valor, melhor a condição estrutural do pavimento.
- \bar{F} , IGG: quanto menor, melhor a condição da superfície do pavimento.
- VSA, PSI, PCI: quanto maior, melhor a condição da superfície do pavimento.

TABELA 7.2- Resultados do confronto entre os segmentos.

MÉTODO	COLOCAÇÃO				
	1º lugar	2º lugar	3º lugar	4º lugar	5º lugar
\bar{D}	17-E	17-C	17-B	17-D	17-A
\bar{F}	17-E	17-B	17-D	17-C	17-A
IGG	17-E (bom)	17-B (bom)	17-D (bom)	17-C (regular)	17-A (mau)
VSA	17-E (ótimo)	17-B (bom)	17-D (bom)	17-C (regular)	17-A (mau)
PSI	17-E (ótimo)	17-B (bom)	17-D (bom)	17-C (regular)	17-A (mau)
PCI	17-E (excelente)	17-C (muito bom)	17-D (muito bom)	17-B (bom)	17-A (muito ruim)

Como podemos observar na tabela 7.2 acima, o trecho 17-A (pré-misturado a frio) obteve a última colocação em todos os métodos utilizados, com conceitos **mau** (IGG, VSA e PSI) e **muito ruim** (PCI). Além disso, este segmento é detentor dos maiores valores de deflexões ($\bar{D}=80,02$) e flechas ($\bar{F}=6,91$).

Dos 6 métodos utilizados, quatro deles (\bar{F} , IGG, VSA e PSI) nos permitem classificar o segmento 17-B em 2º lugar, o 17-D em 3º lugar e o 17-C em 4º lugar. Esta colocação difere em relação ao PCI (4º lugar, 3º lugar e 2º lugar, respectivamente) e às deflexões (3º lugar, 4º lugar e 2º lugar, respectivamente). A propósito, de acordo com a análise estatística vista no capítulo 6, podemos considerar significativamente iguais as deflexões destes trechos.

Quanto às flechas nas trilhas de roda, apesar de serem consideradas significativamente iguais ao nível de 5% (capítulo 6), podemos notar que o valor referente ao segmento 17-A se distancia dos demais.

Finalmente, o segmento 17-E (pré-misturado a frio denso) foi o que obteve os melhores resultados em todos os métodos utilizados, com conceitos **bom** (IGG), **excelente** (PCI) e **ótimo** (VSA e PSI), além de ostentar os menores valores das deflexões e das flechas nas trilhas de roda, em relação aos demais.

8. Conclusões e Recomendações

A atuação do PMF não correspondeu às expectativas quando aplicado sobre o macadame seco. Observou-se que a permeabilidade do PMF (volume de vazios maior que 20%) é bem maior que a dos tratamentos superficiais e macadames betuminosos, afetando o subleito e conseqüentemente a base quando constituída de materiais granulares. A capacidade de suporte foi muito afetada pela umidade proveniente da percolação de água pela camada de PMF.

Após inspeção à obra realizada pelo autor e por engenheiros do DER/PR em setembro de 1993 observou-se, em trechos em rampa, uma incapacidade do PMF em resistir aos esforços de tração provenientes do tráfego, devido à má aderência entre o PMF e a base. Em alguns casos foi verificado o escorregamento da capa de PMF, levando o pavimento à total ruína. Os outros segmentos, em situações idênticas, apresentaram boas condições.

Estes fenômenos demonstram a inviabilidade do uso do PMF sobre bases de macadame seco. Considerações sobre a correta aplicação de misturas abertas usinadas a frio são expostas pelo MANUAL DE EXECUÇÃO DE SERVIÇOS RODOVIÁRIOS DO DER/PR (1991) que julga importante, além de outras, a seguinte observação:

"4) A utilização de misturas abertas sobre camadas de solos estabilizados granulometricamente, e também solos tratados com aglomerantes hidráulicos de baixo teor e má condição de drenagem, pode ser indesejável, tendo sido reportados alguns insucessos em casos onde esta prática foi aplicada;" (p. 365)

Observa-se que um destes insucessos a que se reporta o manual, tem origem no próprio Trecho Laboratório Escola. É notório que em uma pesquisa, podemos obter sucesso ou insucesso, sendo ambos de proveito: o sucesso para aplicação dos resultados obtidos em maiores extensões, e o insucesso para certificar a inviabilidade da técnica e/ou material utilizado.

O segmento revestido com tratamento superficial quádruplo sobre base de macadame seco teve um desempenho satisfatório. A adoção deste revestimento em maiores extensões reside no fator econômico. LARSEN (1985), quando expõe sobre tratamentos superficiais, comenta:

"Entretanto, quanto mais aplicações se adotam no tratamento superficial, mais duvidosas serão as vantagens econômicas do processo;..." (p. 4)

Com base na afirmativa acima, conclui-se que o TSQ, apesar do bom desempenho, não é o revestimento ideal devido ao seu custo mais elevado em relação ao tratamento superficial triplo e ao macadame betuminoso. Logo, o uso do TSQ entra em rota de colisão com o objetivo principal do TLE, que é definir um **material de construção rodoviária de baixo custo**.

Conclusão idêntica pode ser inferida em relação ao PMFD. Como já vimos, este revestimento foi o que obteve o melhor desempenho. Mas, como o PMFD é um material mais nobre (vide capítulo 4, pág. 30), o seu custo é mais elevado em relação ao macadame betuminoso e ao tratamento superficial triplo. Além disso, este tipo de revestimento foi pouco utilizado em obras do DER/PR, e pouco se conhece sobre sua eficiência.

Os segmentos revestidos com TST e MB apresentaram ótimos desempenhos quando aplicados sobre base de macadame seco. Como os custos desses revestimentos são inferiores ao custo do TSQ e PMFD, recomenda-se a sua utilização. O tratamento superficial tem a vantagem de poder ser executado sobre praticamente qualquer tipo de pavimento que não tenha irregularidades significativas e que não apresente sinais de defeitos estruturais.

Infelizmente, O DER/PR não efetuou medições de irregularidade no TLE. É indispensável aos órgãos rodoviários a aquisição de instrumentos de irregularidade longitudinal, ou manutenção dos já existentes. É necessário que sejam realizados estudos e levantamentos de campo mais detalhados, para que outros métodos de avaliação de pavimentos também possam ser utilizados.

Outras soluções que podem render excelentes resultados em termos de pesquisa de material de construção rodoviária de baixo custo, são os pequenos acessos próximos a obras em andamento e/ou os muitos desvios em rodovias de plena atividade. Desta maneira, novas soluções podem ser testadas.



Finalmente, recomendamos o prosseguimento da avaliação dos pavimentos, porque a avaliação é parte fundamental na retro-alimentação do planejamento, projeto, construção e manutenção desses e de outros pavimentos. Todas estas atividades podem ser englobadas sob o título "**Sistema de Gerenciamento de Pavimentos**", representado na figura 8.1.

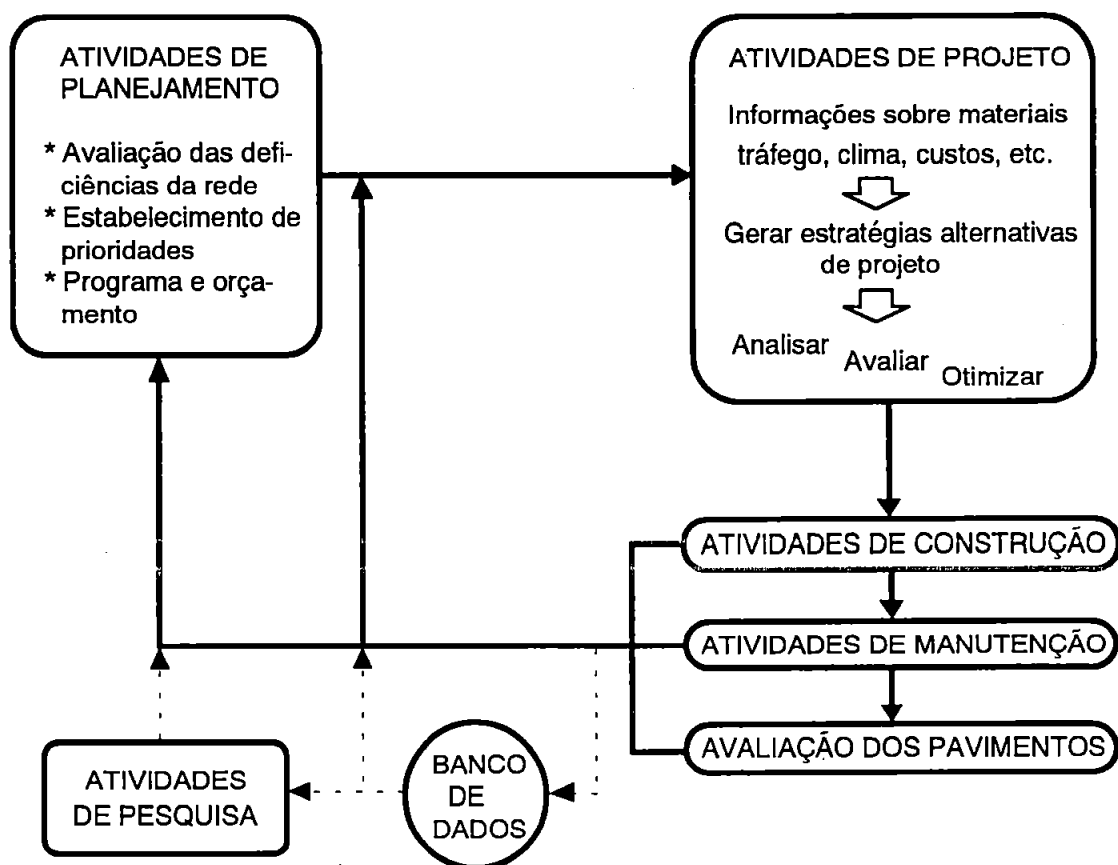


FIGURA 8.1- Atividades principais em um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (HAAS & HUDSON, 1978).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. "AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures". Washington, D. C., 1972.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. "AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures". Washington, D. C., 1986.
- ANDRADE, G. O. "Os Climas". In: Brasil, a Terra e o Homem. Vol. 1, Cia Editora Nacional. São Paulo, 1964.
- ARANOVICH, L. A. S. "Desempenho de Pavimentos de Baixo Custo no Estado do Paraná". Rio de Janeiro, 1985. 360p. Dissertação (Mestrado). COPPE/UFRJ.
- CAPUTO, H. P. "Mecânica dos Solos e suas Aplicações". 3ª ed. rev. e atualizada. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1977.
- CAREY, W. N. & IRICK, P. E. "The Pavement Serviceability-Performance Concept". Highway Research Board Bulletin 250, 1960. p. 40-58.
- COSTA NETO, P. L. O. "Estatística". São Paulo, Edgard Blücher, 1977. 264p.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. "Faixas Granulométricas de Tratamentos Superficiais e Macadame Betuminoso". Boletim Técnico Nº 01, DPD, 1988.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. "Trecho Laboratório Escola - Relatório Interno". Curitiba, DPD, 1990.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. "Manual de Execução de Serviços Rodoviários". DPD. Paraná, 1991.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. "Sarjetas e Valetas". Especificação de Serviço DER/PR ES-D 01/91. Paraná, 1991.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. "Macadame Seco". Especificação de Serviço DER/PR ES-P 03/91. Paraná, 1991.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Ensaio Marshall para Misturas Betuminosas". Método de Ensaio DNER-ME 43-64. 1964.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Concreto Betuminoso Usinado a Quente". Especificação DNER-ES-P 22/71. 1971.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Tratamento Superficial Triplo". Especificação de Serviço DNER-ES-P 18/71. 1971.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Macadame Betuminoso". Especificação de Serviço DNER-ES-P 20/71. 1971.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Emulsões Betuminosas para Pavimentos Rodoviários". Rio de Janeiro, IPR, 1977. (Publicação 612).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos". DNER-TER 01/78. 1978.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos". Norma Rodoviária DNER-PRO 07/78. 1978.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos". Norma Rodoviária DNER-PRO 08/78. 1978.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Determinação das Deflexões no Pavimento pela Viga Benkelman". Método de Ensaio DNER-ME 24/78. 1978.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Determinação das Deflexões no Pavimento pela Viga Benkelman". Método de Ensaio DNER-ME 24/78. 1978.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, Procedimento-A". Norma Rodoviária DNER-PRO 10/79. 1979.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, Procedimento-B". Norma Rodoviária DNER-PRO 11/79. 1979.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Pré-Misturado a Frio". Especificação de Serviço DNER-ES-P /80, Projeto de Norma, 1980.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos-Testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-Rígido para Gerência de Pavimentos a Nível de Rede". Especificação de Serviço DNER-ES 128/83. 1983.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Guia de Gerência de Pavimentos". Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1983.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos". Norma Rodoviária DNER-PRO 159/85. 1985.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. "Geologia do Brasil". Brasília, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. "Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Paraná". Tomo I. Londrina, Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1984.

- ENCICLOPÉDIA DELTA LAROUSSE. Rio de Janeiro, Editora Delta. S.A., 1973.
- FERNANDES, J. A. A. et alii. "Tratamentos Superficiais". Maringá, DER/PR, 1986.
- FRAENKEL, B. B. "Engenharia Rodoviária". Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S. A., 1980.
- GAYER, O. A. S. "Aplicação de Pré-Misturado a Frio como Camada de Revestimento Betuminoso". In: 15ª Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, 1980. Trabalho Apresentado. Belo Horizonte, ABPv, 1980.
- HAAS, R. "Surface Evaluation of Pavements". In: State of the Art in Pavement Rehabilitation. Proceedings of a Workshop, FHWA. Washington, 1974.
- HAAS, R. & HUDSON, W. R. "Pavement Management Systems". McGraw-Hill Book Co., New York, N. Y., 1978.
- HEWES, L. I. & OGLESBY, C. H. "Highway Engineering". John Wiley & Sons, Inc., New York, N. Y., 1954.
- HIGHWAY RESEARCH BOARD. "The AASHO Road Test: Report 5 - Pavement Research". HRB Special Report 61E, Washington, D. C., 1962.
- LARSEN, J. "Tratamento Superficial na Conservação e Construção de Rodovias". 2ª ed. Rio de Janeiro, ABEDA, 1985.
- MAACK, R. "Geografia Física do Paraná". Instituto de Geologia, Conselho de Pesquisas da UFP, Banco de Desenvolvimento Econômico do Paraná. Curitiba, 1968.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - NCHRP. "Collection and Use of Pavement Condition Data", Synthesis of Highway Practice nº 76. Transportation Research Board, Washington, D. C., 1981.
- NIMER, E. "Clima". In: Geografia do Brasil - Região Sul. Vol 5. FIBGE, Rio de Janeiro, 1977.
- PEREIRA, A. M. "Um Método Expedido de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos". Brasília, 1972. (Trabalho apresentado à IIª Reunião das Organizações Rodoviárias e Reunião da International Road Federation, Brasília, 1972).
- PEREIRA, A. M. "Um Método Expedido de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos". Rio de Janeiro, IPR, 1976. (Publicação 607).
- PEREIRA, A. M. "Considerações sobre o Procedimento de Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos Normalizado pelo DNER. Fundamentos Metodológicos. Algumas Modificações Possíveis". 1º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço. Rio de Janeiro, 1979.
- ROLLINGS, R. S. & WITCZAK, M. W. "Structural Deterioration Model for Rigid Airfield Pavement". Journal of Transportation Engineering, vol. 116, Nº 4, July/August, 1990.

- SENÇO, W. "Pavimentação". São Paulo, Grêmio Politécnico, 1975.
- SHAHIN, M. Y. & KOHN, S. D. "Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots", vol. I: Condition Rating Procedure. U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Technical Report M-268, July, 1979a, 87 p.
- SHAHIN, M. Y. & KOHN, S. D. "Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots", vol. II: Distress Identification Manual. U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Technical Report M-268, July, 1979b, 115 p.
- SHAHIN, M. Y. et alii. "Evaluation of Airfield Pavement Condition and Determination of Rehabilitation Needs". Transportation Research Record 700, 1979.
- SOUZA, M. L. "Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis". 2ª ed. rev. e atualizada. Rio de Janeiro, IPR, 1979. Publicação 667.
- WINNITOY, W. E. "Rating Flexible Pavement Surface Condition". Saskatchewan Department of Transport and Highways. Canadá, Highway Research Record 300, 1969.
- YODER, E. J. & WITCZAK M. W. "Principles of Pavement Design". John Wiley & Sons, Inc. 1975.

BIBLIOGRAFIA

- ARANOVICH, L. A. S. "Avaliação de Pavimentos Flexíveis". In: 18ª Reunião Anual de Pavimentação, Porto Alegre, 1983. Anais. Porto Alegre, ABPv, 1983.
- ARANOVICH, L. A. S. "Proposta de um Trecho Laboratório Escola". In: 23ª Reunião Anual de Pavimentação, Florianópolis, 1988. Anais. Florianópolis, ABPv, 1988.
- BRAZETTI, R. "Estudo Comparativo do Desempenho de Segmentos Rodoviários Experimentais com Variações na Mistura Solo Argiloso Brita da Base". São Carlos, 1993. Dissertação (Mestrado). Departamento de Transportes - EESC USP.
- CARDOSO, S. H. "Primeiras Experiências Brasileiras em Avaliação da Condição de Pavimentos Aeroportuários pelo Método PCI - Pavement Condition Index". In: 24ª Reunião Anual de Pavimentação, Belém, 1990. Anais. Belém, ABPv, 1990.
- CAREY, W. N. "Uses of Surface Profile Measurements". Highway Research Board Special Report 133, 1973.
- CATION, K. A. et alii. "Development of a Preventive Maintenance Algorithm for Use in Pavement Management Systems". Transportation Research Record 1123, Washington, D. C., 1987.
- CLARK, M. F. "Road Meter Output and its Correlation with Panel Ratings in Saskatchewan". Highway Research Board Special Report 133, 1973.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. "Guia de Gerência de Pavimentos". Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1983.
- DOMINGUES, F. A. A. "Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos". São Paulo, 1993.
- FERREIRA, A. B. H. "Dicionário da Língua Portuguesa". Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1988.
- FWA, T. F. & SINHA, K. C. "Routine Maintenance and Pavement Performance". In: Journal of Transportation Engineering, vol 112, nº 4, July 1986.
- FWA, T. F. & SINHA, K. C. "Pavement Performance and Life-Cycle Cost Analysis". In: Journal of Transportation Engineering, vol 117, nº 1, Jan/Feb 1991.
- HAAS, R. "General Concepts of Systems Analysis as Applied to Pavements". Transportation Research Record 512, Washington, D. C., 1974.
- HAAS, R. et alii. "Developing a Pavement Feedback Data System". Highway Research Board 407, 1972.

- HEIMAN, G. H. "Pavement Monitoring and Decision Criteria". Saskatchewan Department of Transport and Highways. Pavement Management Workshop, Rep nº FHWA-TS-79-206, Washington, D. C., 1978.
- IRICK, P. E. "Present Serviceability Rating and Present Serviceability Index Concepts". Highway Research Board Special Report 133, 1973.
- LYTTON, R. L. & MAHONEY, J. P. "Condition Surveys for Pavement Structural Evaluation". Transportation Research Record 602, Washington, D. C., 1976.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - NCHRP. "Pavement Management Practices", Synthesis of Highway Practice nº 135. Transportation Research Board, Washington, D. C., 1987.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - NCHRP. "Storage and Retrieval Systems for Highway and Transportation Data", Synthesis of Highway Practice nº 55. Transportation Research Board, 1978.
- NUNEZ, M. M. & SHAHIN, M. Y. "Pavement Condition Data Analysis and Modeling". Transportation Research Record 1070, Washington, D. C., 1986.
- PUGH, K. "Programando em Linguagem C". São Paulo, McGraw-Hill, 1990.
- QUEIROZ, C. A. V. "Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil". Brasília, GEIPOT, 1984. 366p.
- QUEIROZ, C.; HUDSON, W. R. & HAAS, R. "Standardization of Pavement Management Systems in Brazil and Other Developing Countries". Transportation Research Record 1344, Washington, D. C., 1992.
- RINALDI, R. "Turbo Pascal - versão 5.5". São Paulo, Érica, 1990.
- ROAD RESEARCH LABORATORY. "Bituminous Materials in Road Construction". Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1962.
- SHAHIN, M. Y. et alii. "New Techniques for Modeling Pavement Deterioration". Transportation Research Record 1123, Washington, D. C., 1987.
- SHARAF, E. A. et alii. "Development of a Methodology to Estimate Pavement Maintenance and Repair Costs for Different Ranges of Pavement Condition Index". Transportation Research Record 1123, Washington, D. C., 1987.
- SPIEGEL, M. R. "Probabilidade e Estatística". São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978 (Coleção Schaum).
- SPIEGEL, M. R. "Estatística". 2 ed. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1985 (Coleção Schaum).
- VARGAS, M. "Metodologia da Pesquisa Científica". Rio de Janeiro, Globo, 1985.
- VILLIBOR, D. F. "Pavimentos Econômicos - Novas Considerações". São Carlos, 1981. Tese (Doutorado). Departamento de Transportes da EESC/USP.

ANEXO “A”

MACADAME SECO

ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO

MACADAME SECO

ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO

1- OBJETIVO

Esta especificação de serviço define os critérios de utilização do macadame seco em camadas de reforço do subleito, sub-base ou base de pavimentos rodoviários, em obras sob a jurisdição do DER/PR.

2- DEFINIÇÃO

Macadame seco é uma camada granular composta por agregados graúdos, naturais ou britados, preenchidos a seco por agregados miúdos, cuja estabilidade é obtida a partir da ação mecânica enérgica de compactação.

3- MATERIAIS

3.1- AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo a ser utilizado na confecção do macadame seco deverá ser constituído por produto resultante de britagem primária (pedra pulmão) de rocha sã. Opcionalmente, poderão ser utilizados materiais pétreos naturais desmontados pela ação de lâmina e escarificador de trator de esteiras ou por simples detonações, materiais estes designados genericamente por basaltos vítreos. Em qualquer caso, deverão ser atendidas as seguintes condições gerais para o agregado graúdo empregado:

a) Deverá ser constituído por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres de excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração e de outras substâncias ou contaminações prejudiciais.

b) Quando submetido à avaliação da durabilidade pelo método DNER-ME 89-64, deve apresentar as seguintes perdas máximas:

Solução de Sulfato de Sódio:	20%
Solução de Sulfato de Magnésio:	30%

c) A percentagem de desgaste no ensaio de Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64) deve obedecer aos seguintes limites máximos:

Rochas básicas:	25%
Rochas ácidas:	45%

d) O diâmetro máximo recomendado é de 2/3 da espessura final de cada camada individual executada, não devendo superar a 5" (127,0 mm).

e) Deverá ser evitada a utilização de agregado graúdo com quantidade apreciável de fração fina. Para tal, se necessário, a fração fina deverá ser separada através do emprego de peneira classificadora vibratória de 2".

f) É preferível a utilização de agregado de um só tamanho.

3.2- AGREGADO PARA CAMADA DE ISOLAMENTO OU BLOQUEIO.

O agregado a ser utilizado na camada de isolamento será constituído por finos de britagem atendendo aos seguintes requisitos:

a) Características físicas mínimas (forma, durabilidade, resistência e isenção de impurezas) similares às especificadas para o agregado graúdo.

b) Composição granulométrica idêntica à do material de enchimento especificado. Opcionalmente, o material de isolamento poderá ser constituído por agregado de um só tamanho (3/4"), desde que a espessura máxima utilizada no bloqueio seja de 3 cm, e a espessura mínima da camada de macadame seco executada seja de 15 cm.

3.3- AGREGADO PARA MATERIAL DE ENCHIMENTO

O material de enchimento deverá ser constituído por finos de britagem com as mesmas características físicas especificadas para o agregado graúdo (forma, durabilidade, resistência ao desgaste e isenção de impurezas), satisfazendo a uma das seguintes faixas granulométricas:

PENEIRAS		FAIXAS (% EM PESO PASSANDO)				
ASTM	mm	I	II	III	IV	V
1"	25.4	100	---	---	---	---
3/4"	19.1	---	100	100	---	---
3/8"	9.52	50-85	60-100	---	100	100
Nº 4	4.76	---	---	55-100	70-100	60-80
Nº 10	2.00	25-50	40-70	---	---	---
Nº 40	0.42	---	---	20-50	30-60	15-25
Nº 200	0.074	5-15	5-20	6-20	8-25	0-12

3.4- EQUIPAMENTOS

O equipamento básico para a execução do macadame seco compreende as seguintes unidades:

- Pá carregadeira;
- Caminhões basculantes;
- Distribuidor de agregados e/ou motoniveladora pesada;
- Rolos compressores de rodas lisas, vibratório ou estático;
- Instalação de britagem compatível com as bitolas e as produções desejadas;
- Equipamentos e ferramentas complementares: pás, carrinhos de mão, marretas, vassourões ou vassouras mecânicas, etc.

4- EXECUÇÃO

4.1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

a) A execução do macadame seco como camada de reforço do subleito, sub-base, envolve operações executivas semelhantes, diferenciando-se quanto às exigências de enchimento e ao controle geométrico e tecnológico.

b) As seguintes recomendações de ordem geral são aplicáveis a qualquer utilização do macadame seco:

1º) Não se admite o confinamento lateral do macadame seco, seja ele utilizado como reforço do subleito, sub-base ou base. Isto implica em que o material enleirado resultante das operações de corte na fase de regularização deverá ser previamente removido.

2º) As espessuras de cada camada individual acabada deverão estar compreendidas entre os limites extremos de 12 e 20 cm.

3º) Não é admitida a complementação da espessura desejada pela adição excessiva de finos, os quais acumulados sobre o agregado graúdo possibilitam o aparecimento de trincas e deformações no revestimento. A espessura da camada desejada deve ser, portanto, compatível com o diâmetro máximo do agregado graúdo.

4.2- CAMADA DE ISOLAMENTO OU BLOQUEIO

a) A camada de isolamento aplica-se aos casos em que o macadame seco é executado diretamente sobre camada rica em material fino. Sua execução tem por objetivo evitar que arestas do agregado graúdo sejam cravadas no material

subjacente, e que, como conseqüência, os finos existentes venham a contaminar a camada executada.

b) Esta camada será executada na largura da plataforma, compreendendo pista e acostamento (ou faixa de segurança), com espessura após compressão de 3 cm.

c) O espalhamento do material de bloqueio será executado através de motoniveladora, devendo ser feita a acomodação da camada por compressão com a utilização de rolo estático liso, em uma ou no máximo duas coberturas.

4.3- APLICAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

a) A execução da camada de agregado graúdo inicia-se pelo carregamento do material nos depósitos ou pátios de estocagem da instalação de britagem. A operação de carga do material deve ser procedida de forma criteriosa, evitando-se a utilização de agregados graúdos lamelares ou com excesso de finos.

b) Após a operação de carregamento e transporte por meio de caminhões basculantes, faz-se o espalhamento em uma camada de espessura uniforme e homogênea, uniformemente solta. O espalhamento será feito pelo uso de motoniveladora pesada ou distribuidor de agregados, na dependência do diâmetro máximo do agregado utilizado.

c) Após o espalhamento do agregado graúdo poderão ser necessárias as seguintes correções:

- Remoção de fragmentos alongados, lamelares ou de tamanho excessivo, visíveis na superfície, e substituição por agregado graúdo representativo e de boa qualidade.
- Correção de pontos com excesso ou deficiência de material, após verificação do greide e seção transversal com cordéis, gabaritos, etc. No caso de existir deficiência de material, utilizar sempre agregado graúdo representativo e de boa qualidade, sendo vedado o uso da agregado miúdo.

d) Efetuadas as correções necessárias e previamente ao lançamento do material de enchimento, pode ser obtida uma melhor acomodação do agregado graúdo através de uma única cobertura do rolo liso, sem vibração.

4.4- OPERAÇÕES DE ENCHIMENTO E TRAVAMENTO

a) O material de enchimento, obedecendo a uma das faixas granulométricas especificadas, o mais seco possível, será espalhado através de motoniveladora, em quantidade suficiente para preencher os vazios do agregado

graúdo. A fiscalização definirá níveis de enchimento gradualmente mais rigorosos, com-patíveis com a função de reforço do subleito, sub-base ou base de macadame seco.

b) A aplicação do material de enchimento deverá ser feita em uma ou mais vezes, até se obter um bom preenchimento, evitando-se excesso superficial de agregados. Normalmente essas aplicações se processam em ocasiões diferentes.

c) A compactação enérgica da camada será realizada com rolo liso vibratório.

d) Nos trechos em tangente, a compactação deve sempre partir das bordas para o eixo, e nas curvas, da borda interna para a borda externa.

e) Em cada deslocamento do rolo compressor, a faixa anteriormente compactada deverá ser coberta de, pelo menos, 1/3 da largura do rolo.

f) Após se obter a cobertura completa da área a ser comprimida, deverá ser feita uma nova verificação do greide e seção transversal, evitando-se as correções necessárias, normalmente de dois tipos:

- Deficiência de finos: processa-se o espalhamento da 2ª camada de material de enchimento, podendo ser empregado apenas agregado miúdo (pedrisco + pó) para possibilitar melhor e mais compatível travamento.
- Excesso de finos: processa-se a sua necessária remoção através de meios manuais ou mecânicos, utilizando-se ferramentas auxiliares (enxada, pá, rastelo, carrinho de mão e vassoura mecânica).

g) A compactação deverá prosseguir até se obter um bom entrosamento dos agregados componentes da camada de macadame seco.

h) Após a compactação e as correções necessárias, a camada deverá ser aberta ao tráfego da obra e dos usuários, de forma controlada e direcionada, mantendo-se a superfície umedecida. Esta etapa se estenderá por um período suficiente de forma a garantir a verificação de eventuais problemas localizados de travamento deficiente. Se necessário, as operações corretivas descritas anteriormente serão novamente aplicadas.

i) Após a limpeza da pista, caso se tratar de camada de base, será feita a molhagem e nova rolagem de acabamento com rolo liso vibratório, ou rolo de pneus, preparando-se a base para sua impermeabilização através dos serviços de imprimação.

5- CONTROLE

5.1- CONTROLE TECNOLÓGICO

Procedidos os seguintes ensaios:

a) Granulometria (DNER-ME 83-63) e Cubicidade (MB-894 da RFFSA) do material de bloqueio e enchimento:

Base:	1 ensaio/600 m de pista (mínimo: 2 ensaios/dia)
Sub-Base:	1 ensaio/600 m de pista (mínimo: 2 ensaios/dia)
Reforço:	1 ensaio/1000 m de pista (mínimo: 1 ensaios/dia)

b) Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64) e Durabilidade (DNER-ME 89-64):

Três ensaios, sempre que visualmente se observar alterações mineralógicas na bancada da pedreira em exploração.

5.2- VERIFICAÇÃO DE CAMPO

a) A principal atividade de controle, para o serviço de macadame seco, será a inspeção visual, a qual deverá ser aplicada em todas as etapas, ou seja:

- na bancada da pedreira.
- nos estoques de agregados.
- na operação de carregamento.
- nas operações de pista (espalhamentos, compactação, acabamento, etc.).

b) A verificação da eficiência da compactação poderá ser feita com a colocação à frente do rolo liso compactador, de uma pedra de tamanho razoável, considerando-se o esmagamento da mesma pelo equipamento, sem penetração na camada.

c) As condições de enchimento dos vazios do agregado graúdo e travamento serão verificadas pela abertura de poços de inspeção, de acordo com a seguinte modulação:

Base e Sub-Base: 1 poço/300 m de pista.

Reforço: 1 poço/600 m de pista.

Os poços abertos serão preenchidos com material representativo e compactados mecanicamente.

5.3- ACEITAÇÃO

a) Uma vez que o principal controle de campo é realizado de forma visual, a aceitação dos panos concluídos também o será.

b) Quanto à granulometria, que deverá obedecer a uma das faixas granulométricas preconizadas para bloqueio e enchimento, serão admitidas as seguintes tolerâncias:

PENEIRAS		% PASSANDO EM PESO
ASTM	mm	
3/8" - 1"	9,5 - 25,4	± 8
nº 40 - nº 4	0,42 - 4,8	± 6
nº 200	0,074	± 2

5.4- CONTROLE GEOMÉTRICO

Após a execução da camada de macadame seco, proceder-se-á à relocação e nivelamento do eixo e das bordas, permitindo-se as seguintes tolerâncias:

a) Quanto à largura da plataforma:

Base e Sub-Base: + 10 cm, não admitindo-se variação para menos.

Reforço: + 15 cm, não admitindo-se variação para menos.

b) Quanto à espessura da camada acabada:

b.1) A espessura média da camada será determinada pela expressão:

$$\mu = \bar{x} - \frac{1,29 \cdot \sigma}{\sqrt{N}}$$

onde:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad \text{e} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x)^2}{N - 1}}$$

para $N \geq 9$ (número de determinações).

b.2) A espessura média determinada estatisticamente deverá situar-se no intervalo em relação à espessura prevista em projeto de:

Base e Sub-Base: $\pm 2,0$ cm
 Reforço: $\pm 2,5$ cm

b.3) Não serão tolerados valores individuais de espessura fora dos seguintes intervalos em relação à espessura de projeto:

Base e Sub-Base: $+ 3,0$ a $-3,0$ cm
 Reforço: $+ 3,5$ a $-3,5$ cm

b.4) Em caso de aceitação, dentro das tolerâncias estabelecidas, de uma camada de macadame seco com espessura média inferior à de projeto, a diferença será compensada estruturalmente na(s) camada(s) a ser(em) superposta(s).

6- MEDIÇÃO

a) A camada de macadame seco será medida pelo volume de material compactado na pista, expresso em metros cúbicos, e segundo a seção transversal de projeto.

b) No cálculo de volumes, obedecidas as tolerâncias especificadas, será considerada a espessura média (x), calculada como indicado no sub-item b.1 do item 5.4. Quando x for inferior à espessura de projeto, será considerado o valor de x . No caso de x ser maior do que a espessura de projeto, será considerada a espessura de projeto.

7- PAGAMENTO

a) O pagamento do serviço de macadame seco será feito, após medição, com base no preço unitário apresentado, o qual deverá remunerar por completo todas as operações e encargos necessários à sua execução, incluindo as operações de limpeza e expurgo da pedreira utilizada, as operações relativas à britagem, eventual usinagem e estocagem, todos os transportes, espalhamentos, compactação, umedecimento e acabamento de toda a camada. O serviço de macadame seco inclui a camada de bloqueio e todas as operações e encargos a ela relacionadas.

b) O preço unitário apresentado deverá ser compatível com a função pretendida para a camada de macadame seco, com a condição de preparo do material de enchimento e com a necessidade ou não de britagem do agregado graúdo.

ANEXO “B”

MACADAME SECO

ASPECTOS PARTICULARES DAS ESPECIFICAÇÕES

MACADAME SECO

ASPECTOS PARTICULARES DAS ESPECIFICAÇÕES

Diante da experiência acumulada com a execução do macadame seco em diversas obras rodoviárias em todo o Estado, vale observar que, dependendo das condições particulares de cada obra, poderão ser aplicados materiais de natureza e granulometria diferentes daquelas preconizadas na especificação do DER/PR ES-P 03/91. No entanto, a utilização destes materiais deverá ser embasada em estudo técnico que comprove, diante das condições encontradas na obra (volume de tráfego, características do subleito, posição e função estrutural da camada, etc.), o bom desempenho da alternativa escolhida. Estas observações se aplicam aos agregados graúdos, de enchimento e da camada de bloqueio, britados ou não (areias naturais e basaltos vítreos).

I- CONSIDERAÇÕES SOBRE OS AGREGADOS

Como exemplo e sugestão são citadas a seguir algumas considerações sobre aplicação dos agregados:

1. O agregado graúdo, proveniente da britagem de rocha sã ou de basalto vítreo classificados mediante emprego da peneira de 50,8 mm (separa-se desta forma a fração fina, obtendo-se maior homogeneidade no tamanho dos grãos graúdos), deverá, sempre que possível, ser escolhido para aplicação, principalmente quando o macadame seco é empregado como camada de base ou sub-base em rodovias de tráfego médio.
2. O agregado graúdo, proveniente da britagem de rocha sã ou de basalto vítreo, sem separação da fração fina, (produto de tamanho mais heterogêneo), poderá ser aplicado, quando o macadame seco for empregado como reforço de subleito e como sub-base, quando esta for destinada a rodovias de tráfego leve. A utilização deste agregado não é aconselhada, à exceção desses casos, haja visto ter sido observado que sua utilização como base em rodovias de tráfego leve e como base e/ou sub-base em rodovias de tráfego médio, implicou no aparecimento de pontos fracos, em áreas localizadas.
3. O agregado a ser utilizado como material de enchimento será constituído por produto de britagem e classificação de rocha de qualidade adequada.

4. Embora a especificação de macadame seco preconize a utilização de 5 faixas granulométricas para o material de enchimento, outras poderão ser utilizadas, desde que a condição essencial de bom travamento seja obtida com sucesso e a necessidade desta alternativa seja técnica e economicamente justificada.
5. Quando o macadame seco for empregado como camada de reforço do subleito ou como sub-base em rodovias de tráfego leve, poderá ser admitido o uso de material de enchimento composto de agregados pétreos e areia natural lavada, desde que seja economicamente viável e as características de qualidade dos materiais sejam satisfatórias de acordo com as especificações. Salienta-se ainda, o fato de que na maioria das obras onde se empregou esta mistura, a quantidade de areia foi de no máximo 25% em relação ao peso seco do material de enchimento.
6. A quantidade de material de enchimento a ser aplicada depende de fatores como: diâmetro máximo do agregado graúdo, do agregado empregado no próprio material de enchimento, da classificação ou não do agregado graúdo na peneira de 50,8 mm (2"), da posição da camada, etc. Em geral, a quantidade de material de enchimento utilizado, varia entre 20% e 40% em relação ao peso seco de material graúdo, sendo que nestas porcentagens não está incluído o material utilizado para a camada de bloqueio sobre o subleito regularizado.

II- APLICABILIDADE

A prática adquirida com a execução de macadame seco no Estado indica que esta solução de pavimentação pode ser aplicada nos seguintes casos:

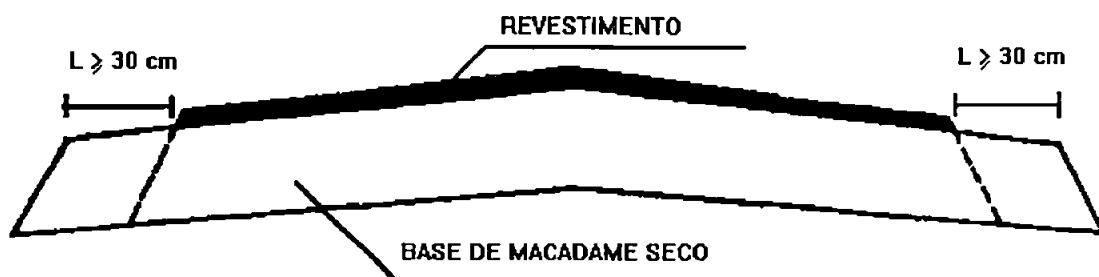
1. Como camada de reforço do subleito ou sub-base em rodovias cujo tráfego seja classificado como leve ou médio.
2. Como base em rodovias com tráfego leve.

III- CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO E EXECUÇÃO

Alguns aspectos importantes devem ser observados na elaboração do projeto de macadame seco, quais sejam:

1. A largura da plataforma de pavimentação, sobretudo quando o macadame seco é empregado como base, deve ser suficiente e adequada, de modo a evitar as tendências de deformação nas bordas. Aconselha-se ainda que a largura projetada para a base exceda a prevista para o revestimento em, no mínimo 0,60 m, garantindo-se desta forma uma faixa de 0,30 m de base em cada borda além do revestimento. (ver figura 1)

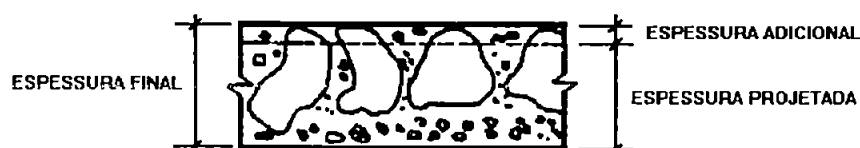
FIGURA 1



2. O diâmetro máximo do agregado graúdo escolhido, deverá ser necessariamente compatível com a espessura projetada. Este procedimento tem como objetivo evitar dois tipos de problemas:

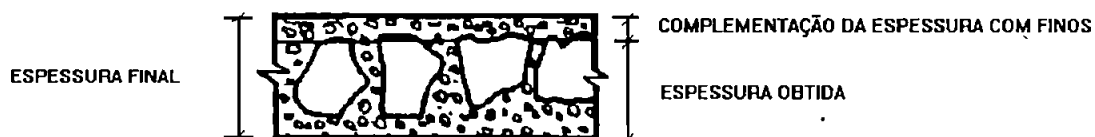
a) Espessura final superior à desejada e, conseqüentemente, maiores custos (ver figura 2).

FIGURA 2



b) Espessura executada inferior à desejada e complementada com camada delgada, constituída de material de enchimento. Esta situação traz graves danos ao revestimento, isto porque a camada superior, com excesso de finos, é demasiadamente instável e promove o aparecimento de trincas altamente prejudiciais (ver figura 3).

FIGURA 3



Freqüentemente usam-se dois critérios para o dimensionamento do diâmetro máximo do agregado graúdo:

- a) $\Phi \text{ máximo} = 2/3.e$
- b) $\Phi \text{ máximo} = 2/3.e - 2,0 \text{ cm}$

Sendo e = espessura de projeto.

Estes critérios, no entanto, nem sempre conduzem ao melhor dimensionamento, ou seja: no 1º caso não se leva em consideração a camada de bloqueio e a sub-penetração que eventualmente pode ocorrer. o 2º caso não prevê a eventual sub-penetração da camada de bloqueio ou admite que, se esta ocorre, será inferior a 1 cm, o que, dependendo do tipo de subleito, pode não corresponder à realidade. Sendo assim, recomenda-se conjugar estes critérios com a experimentação prática.

Sugere-se desta forma que, após o dimensionamento da espessura do macadame seco, seja feita a opção para o diâmetro máximo do agregado graúdo e granulometria do material de enchimento a serem empregados, executando-se, no início da obra, segmentos experimentais com extensão de aproximadamente 100 m, mantendo constante a espessura da camada de bloqueio ($\leq 3,0$ cm) e promovendo as seguintes variações:

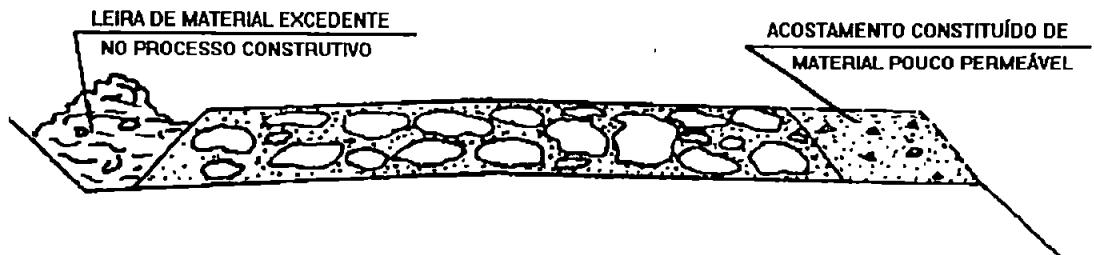
SEG.	CRITÉRIO ADOTADO PARA A DETERMINAÇÃO DO Ø MÁXIMO	FAIXA DE ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAL DE ENCHIMENTO
A	a	I ou II
B	a	III ou IV
C	a	V
D	b	I ou II
E	b	III ou IV
F	b	V

A execução destes segmentos com as recomendações construtivas previstas nas especificações, possibilitará, após avaliação, adotar o diâmetro máximo para o agregado graúdo e a faixa granulométrica do material de enchimento, tecnicamente mais adequados à obtenção da espessura projetada para a camada, bem como maior estabilidade em função do melhor travamento entre as partículas.

3. A inclinação transversal para a plataforma de pavimentação, recomendada quando o macadame seco é empregado como camada de sub-base e/ou base é de 3% para os trechos em tangente. Particularmente para os casos em que o macadame seco é empregado como base, em rodovias de tráfego leve, esta inclinação pode chegar até a 4%.
4. O macadame seco é uma camada granular com a característica de permeabilidade acentuada, sendo assim, especial atenção deverá ser dada à drenagem:

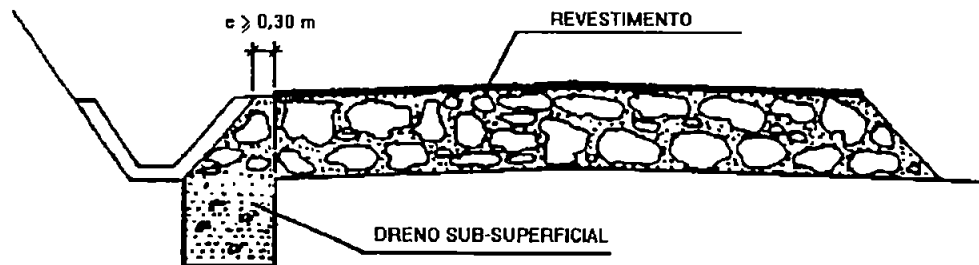
a) Não permitir o “envelopamento” lateral das camadas (ver figura 4).

FIGURA 4



b) Em cortes onde não há necessidade de implantação de dreno profundo, poderá ser prevista a execução de drenos sub-superficiais (ver figura 5). Existem vários fatores definidores dessa necessidade, como consta no item brita graduada. Se houver necessidade, o posicionamento deve ser tal que permita a conexão do dreno sub-superficial com a camada de macadame seco e garanta o afastamento $e \geq 0,30$ m, válido também para os drenos longitudinais profundos.

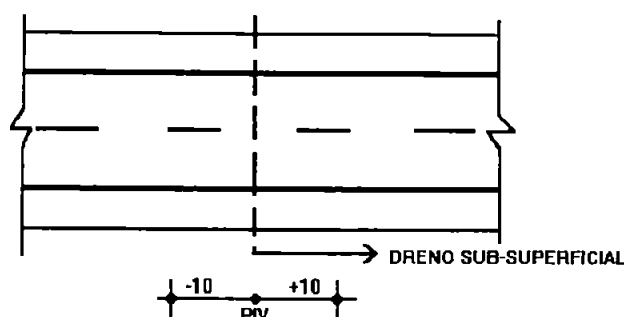
FIGURA 5



O afastamento $e \geq 0,30$ m deve-se ao fato de se posicionar os drenos fora da linha de influência direta do tráfego, compatibilizando-o com a faixa de proteção das bordas (ver figura 1).

c) Nos pontos baixos das curvas verticais deverão ser implantados drenos sub-superficiais, transversais à pista (ver figura 6). O dreno deverá se localizar no intervalo PIV-10 m a PIV+10m.

FIGURA 6



5. A aplicação do macadame seco como base assente diretamente sobre o subleito poderá ser recomendada, desde que este apresente boas características de homogeneidade e suporte com valores iguais ou superiores a 8% ($ISC \geq 8\%$).
6. Os revestimentos betuminosos normalmente empregados sobre bases de macadame seco são: tratamentos superficiais triplos e duplos com capa selante, macadames asfálticos e pré-misturados a frio abertos, semi-densos ou densos. Alguns técnicos consideram as misturas densas e os revestimentos por penetração como os mais adequados.

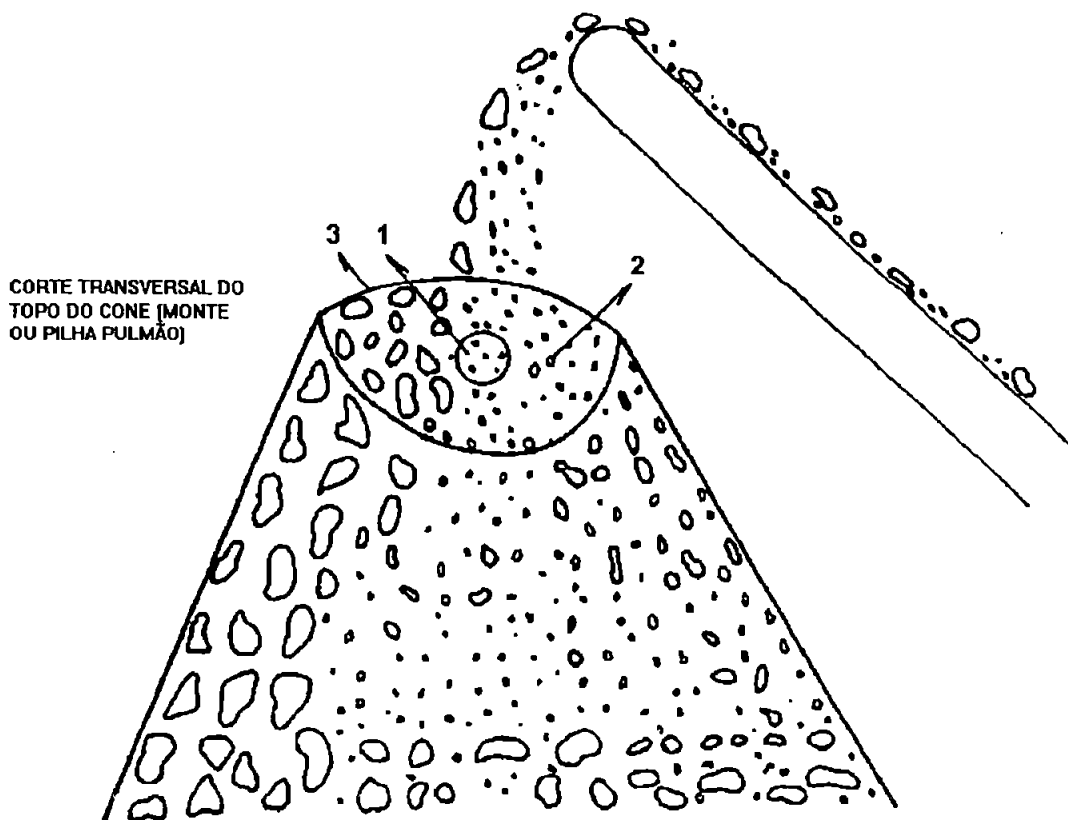
Outros revestimentos poderão ser indicados, desde que haja experiência de comprovado sucesso e sob a anuência da Fiscalização do DER/PR.
7. A execução de uma camada de macadame seco de boa qualidade está intimamente associada à aplicação do agregado graúdo. Quando o agregado graúdo não é separado na peneira classificatória de 50,8 mm (2"), cuidados especiais deverão ser tomados na operação de carga deste material, junto às pilhas estocadas. A ilustração da figura 7, demonstra a necessidade da execução desta operação com critérios bem definidos e acompanhamento técnico pela Fiscalização.

Área 1: Alta concentração de finos, os quais, depois de aplicados na pista, podem facilitar o surgimento de trincas.

Área 2: Fragmentos lamelares, equigranulares de diâmetros intermediários, de difícil travamento, após aplicados na pista.

Área 3: Agregados graúdos, com formas angulares de melhor superfície de apoio; vazios maiores, aceitando melhor o processo de travamento.

FIGURA 7



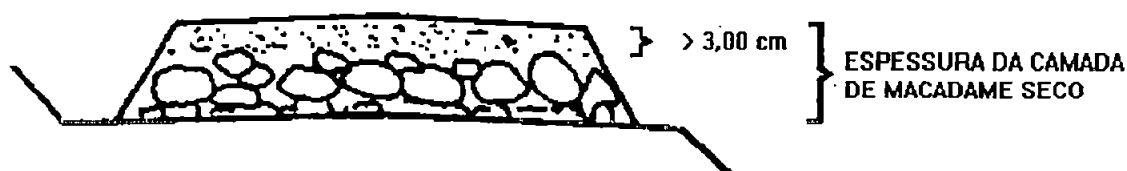
8. O equipamento mais adequado a ser utilizado no processo de espalhamento da camada de agregado graúdo é função do diâmetro máximo a ser empregado. O distribuidor de agregados tem sido a solução mais empregada quando o diâmetro máximo situa-se entre 3" e 4". Com diâmetros máximos maiores, de 4" a 5", a preferência tem sido pela utilização de motoniveladora pesada.

Algumas vezes, as Executantes têm empregado nesta operação a ação de trator de esteiras com lâmina, associada ou não, ao uso de motoniveladora, com o objetivo de aumentar a velocidade de produção ou suprir deficiência do equipamento previsto. Este artifício poderá ser empregado pela Executante e a critério exclusivo desta, porém sem ônus adicional para o DER/PR.

9. No processo de compactação recomenda-se, sempre que possível, a utilização de rolos vibratórios lisos com anéis de aço nas rodas tratoras, ao invés de rodas tratoras de pneus ou as rebocadas. Isto se deve ao fato de que os rolos vibratórios lisos com anéis de aço nas rodas tratoras não desarrumam as pedras na superfície, pela ação de tração.

10. Para rodovias de tráfego leve ou quando o macadame seco é empregado como camada de reforço do subleito e/ou sub-base, a Fiscalização poderá admitir o uso de rolo de três rodas, desde que não haja prejuízo na qualidade desejada dos serviços.
11. A exigência de tráfego por um determinado período de tempo é de fundamental importância na obtenção do travamento adequado dos agregados, o que propicia uma estrutura estável e compacta. Este tráfego, no entanto, deverá ser controlado e direcionado. Estes procedimentos serão definidos a partir de avaliações visuais periódicas que permitam determinar as condições de travamento (poços de inspeção) e o desempenho da camada sobre a questão do tráfego. Deve-se observar ainda que:
- a) A exposição da camada ao tráfego por um período excessivo de tempo, possibilita o aparecimento de deformações acentuadas no subleito, podendo inclusive ocorrer a ruptura do mesmo, fato altamente prejudicial à qualidade dos serviços.
 - b) Por outro lado, a exposição da camada ao tráfego por um período insuficiente, dificulta suas condições de bom travamento, o que pode resultar na execução de uma camada de baixa estabilidade e suas conseqüências adversas durante a operação da rodovia.
12. Após a conclusão das etapas de compactação, exposição controlada ao tráfego e execução das correções eventualmente necessárias, a camada deverá apresentar-se estruturalmente compacta, estável e sem excesso de finos superficiais. O excesso de finos na superfície da camada acabada implica no surgimento de trincas e deformações superficiais na camada de revestimento betuminoso. Sendo assim, jamais deverão ser aceitas camadas com finos superficiais, com espessuras superiores a 3,0 cm.

FIGURA 8- Camada da macadame seco com excesso de finos superficiais.



13. O serviço de macadame seco tem sido utilizado com camada de pavimento a vários anos. Existem trechos executados em 1976, e muitos destes trechos têm demonstrado, ao longo do tempo, um bom desempenho. Entretanto, não houve grande evolução no que diz respeito ao controle tecnológico dos serviços, prevalecendo, desta forma, procedimentos de controle muito subjetivos. Dentre as técnicas de controle de qualidade dos serviços, encontra-se na especificação própria de macadame seco (DER/PR ES-P 03/91), a prática de se verificar a eficiência da compactação, colocando-se à frente do rolo liso, uma pedra de tamanho semelhante à usada para o agregado graúdo, avaliando-se em seguida os efeitos causados na base executada com a passagem do rolo sobre esta pedra. A figura 9 demonstra o posicionamento:

FIGURA 9



Após a passagem do rolo não deverá ocorrer o afundamento da pedra. Este fato indicará que a compactação foi executada adequadamente.

14. Em rodovias paranaenses ditas "rurais" tem-se utilizado base de macadame seco de forma bastante generalizada. A solução típica consiste apenas de uma camada de cerca de 15 cm deste material, com revestimento de PMFA. Essas obras foram inventariadas, constatando-se alguns problemas de estabilidade.

Lembra-se que um serviço desse tipo, quando adotado como base, deve ter inúmeros cuidados, desde a escolha adequada dos agregados, até a mais correta forma de liberação ao tráfego. Esse cuidado deve ser redobrado quando se trata de camada única, onde o subleito pode ser afetado pelas operações de compactação e ação do tráfego.

Alguns técnicos do DER/PR, envolvidos nesses serviços, consideram que a utilização desse tipo de base deve ser restrita, devendo ser adotada apenas em trechos com pequeno tráfego e com todos os cuidados necessários.

ANEXO "C"

FOTOGRAFIAS

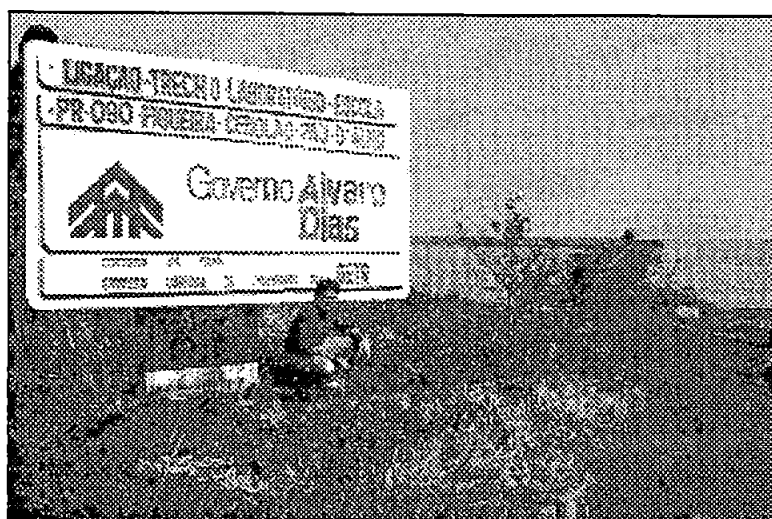


FOTO 1- Início do Trecho Laboratório Escola.



FOTO 2- Junção entre os segmentos 17-B (primeiro plano) e 17-A.
Notar o marco à direita.

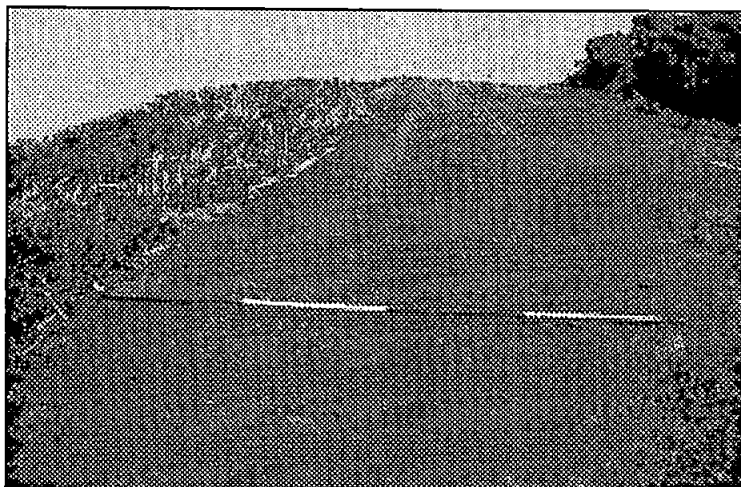


FOTO 3- Detalhe do afundamento na trilha de roda. (segmento 17-A).



FOTO 4- Detalhe do deslocamento de materiais na direção do exterior da trilha de roda. Notar o dispositivo de drenagem superficial totalmente destruído. (segmento 17-A).



FOTO 5- Detalhe do agregado graúdo utilizado na construção da base de macadame seco.



FOTO 6- Detalhe da drenagem superficial (segmento 17-B).

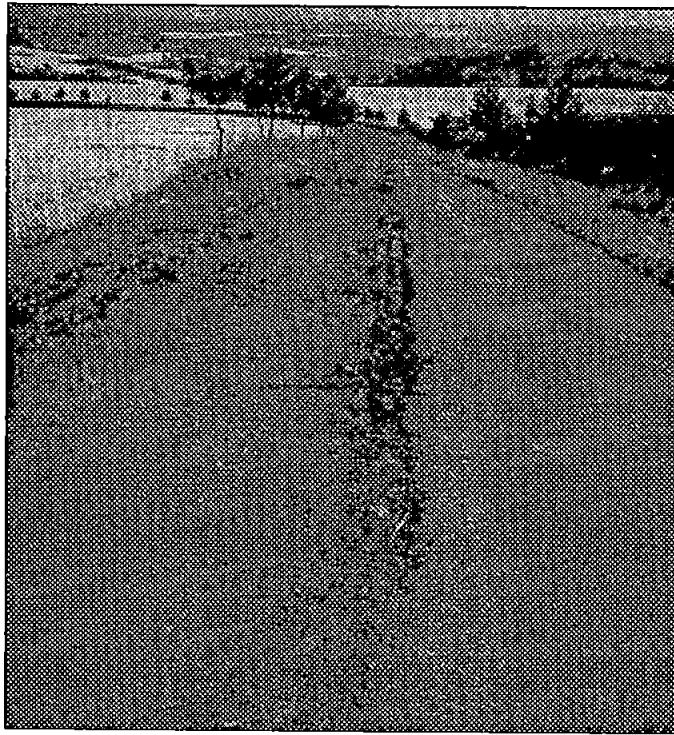


FOTO 7- Trecho em total ruína, com forte ruptura da base e deslocamento de materiais na direção do exterior das trilhas de roda (segmento 17-A).

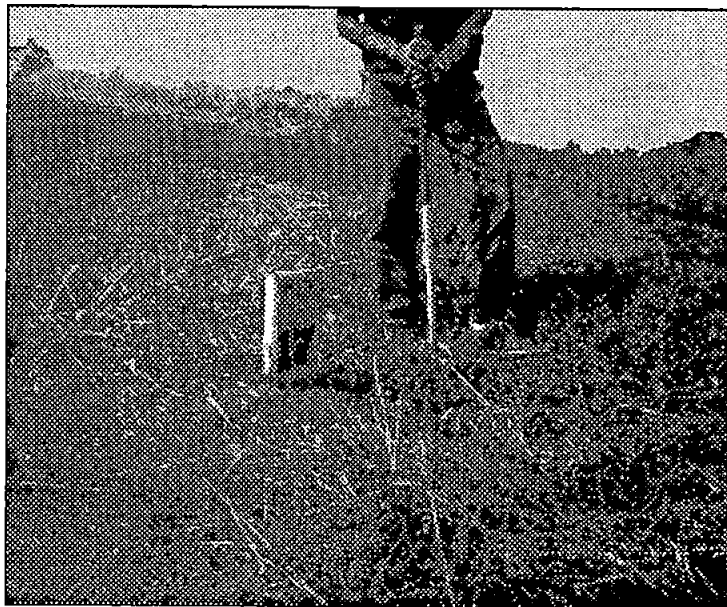


FOTO 8- Marco de início do segmento 17 do TLE.

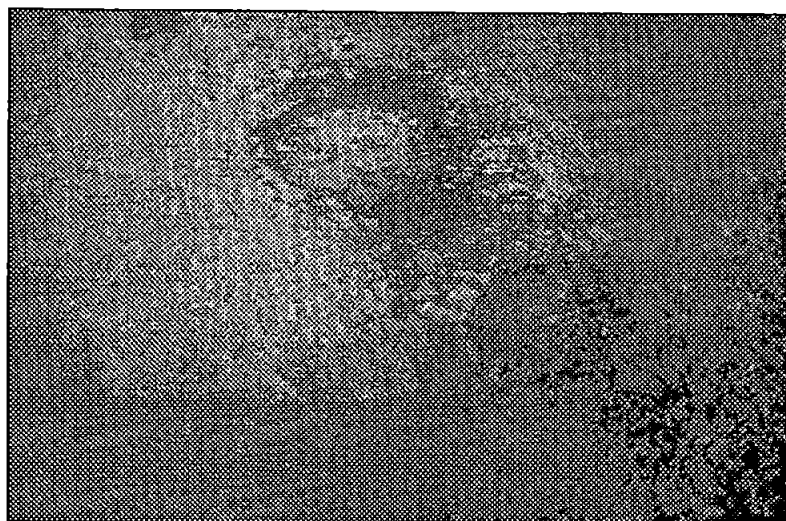


FOTO 9- Detalhe da desagregação do revestimento (painelas).
(segmento 17-A).



FOTO 10- Detalhe de desagregação das bordas (segmento 17-A).

ANEXO “D”

PROGRAMAS PARA CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)

Programa para Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)

Linguagem: Turbo C 2.0

Autor: Glauco Pontes Filho

```
#include<stdio.h>

int  main(void);
void  entrada(void);
void  calculos(void);
void  saida(void);

float  A[8], PAT[8];
float  CP[8] = {0.2, 0.5, 0.8, 0.9, 1.0, 0.5, 0.3, 0.6};
float  IGI[10];
float  AT, F, FV, IGG;
char  RODOVIA[25], TRECHO[25], CAPA[25], DATA[25], CONCEITO[25];
char  ch;
int  i;

int main(void)
{
    do {
        AT=0.; F=0.; FV=0.; IGG=0.;
        entrada();
        calculos();
        saida();
        clrscr();
        printf("Outro cálculo? (s/n) ");
        do {
            ch=toupper(getch());
        } while ((ch!= 'S') && (ch != 'N'));
        } while (ch!='N');
    return(0);
}

void entrada(void)
{
    clrscr();
    printf("PROGRAMA PARA CÁLCULO DO IGG\n\n");
    printf("Rodovia:          "); scanf("%s",RODOVIA);
```

```

printf("Trecho:      "); scanf("%s",TRECHO);
printf("Revestimento: "); scanf("%s",CAPA);
printf("Data:        "); scanf("%s",DATA);    printf("\n");
printf("Área de defeitos tipo 1 (FC-1)= ");  scanf("%f",&A[0]);
printf("Área de defeitos tipo 2 (FC-2)= ");  scanf("%f",&A[1]);
printf("Área de defeitos tipo 3 (FC-3)= ");  scanf("%f",&A[2]);
printf("Área de defeitos tipo 4 (ALP/ATP) = "); scanf("%f",&A[3]);
printf("Área de defeitos tipo 5 (O/P)      = "); scanf("%f",&A[4]);
printf("Área de defeitos tipo 6 (Ex)       = "); scanf("%f",&A[5]);
printf("Área de defeitos tipo 7 (D)        = "); scanf("%f",&A[6]);
printf("Área de defeitos tipo 8 (R)        = "); scanf("%f",&A[7]);
printf("Área total inventariada            = "); scanf("%f",&AT);
printf("\n");
printf("Valor médio das flechas nas trilhas de roda, F = "); scanf("%f",&F);
printf("Valor médio das variâncias das flechas,   FV = "); scanf("%f",&FV);
}

```

```
void calculos(void)
```

```

{
    for(i=0;i<8;i++)
        {
            PAT[i] = 100*A[i] / AT;
            IGI[i]  = PAT[i] * CP[i];
            IGG    = IGG + IGI[i];
        }
    if (F<= 30) IGI[8] = 4*F/3; else IGI[8] = 40;
    if (FV<=50) IGI[9] = FV;   else IGI[9] = 50;
    IGG = IGG + IGI[8] + IGI[9];
    if ((IGG>=0)    && (IGG<10))    strcpy(CONCEITO,"Ótimo");
    if ((IGG>=10)   && (IGG<30))    strcpy(CONCEITO,"Bom");
    if ((IGG>=30)   && (IGG<80))    strcpy(CONCEITO,"Regular");
    if ((IGG>=80)   && (IGG<150))   strcpy(CONCEITO,"Mau");
    if ((IGG>=150)  && (IGG<500))   strcpy(CONCEITO,"Péssimo");
}

```

```
void saida(void)
```

```

{
    clrscr();
    printf("-----\n");
    printf("PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG           Data: %s\n",DATA);
    printf("Rodovia: %s\n",RODOVIA);
    printf("%s%s%s%s\n","Trecho: ",TRECHO,"   Revestimento: ",CAPA);
    printf("-----\n");
    printf("TIPO DEFEITO   A(m²)       PAT(%)   CP       IGI\n");
    printf("-----\n");
}

```

```

printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 1 FC-1 ",
      A[0],PAT[0],CP[0],IGI[0]);
printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 2 FC-2 ",
      A[1],PAT[1],CP[1],IGI[1]);
printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 3 FC-3 ",
      A[2],PAT[2],CP[2],IGI[2]);
printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 4 ALP/ATP",
      A[3],PAT[3],CP[3],IGI[3]);
printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 5 O/P ",
      A[4],PAT[4],CP[4],IGI[4]);
printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 6 Ex ",
      A[5],PAT[5],CP[5],IGI[5]);
printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 7 D ",
      A[6],PAT[6],CP[6],IGI[6]);
printf("%s%11.2f%11.2f%11.2f%11.2f\n", " 8 R ",
      A[7],PAT[7],CP[7],IGI[7]);

printf("-----\n");
printf("%s%11.2f%s%s%9.2f\n", " 9 F ",F, " ----- ", " 4/3 (1) ",IGI[8]);
printf("%s%11.2f%s%s%9.2f\n", "10 FV ",FV, " ----- ", " 1.0 (2) ",IGI[9]);
printf("-----\n");
printf("%s%8.2f%s%8.2f\n", "Área Inventariada = ",AT, " m² IGG = ",IGG);
printf("-----\n");
printf("                                CONCEITO: %s\n",CONCEITO);
printf("-----");
getch();
}

```

Programa para Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)

Linguagem: Turbo Pascal 5.5

Autor: Glauco Pontes Filho

```
uses crt;
```

```
var  A, PAT, CP           : array [1..8] of real;
     IGI                 : array [1..10] of real;
     AT, F, FV, IGG      : real;
     RODOVIA, TRECHO, CAPA,
     DATA, CONCEITO     : string[25];
     i                   : integer;
     ch                   : char;
```

```
PROCEDURE entrada;
```

```
begin
```

```
  clrscr;
```

```
  writeln('PROGRAMA PARA CÁLCULO DO IGG');
```

```
  writeln; writeln;
```

```
  write('Rodovia:      ');  readln(RODOVIA);
```

```
  write('Trecho:      ');  readln(TRECHO);
```

```
  write('Revestimento: ');  readln(CAPA);
```

```
  write('Data:        ');  readln(DATA);  writeln;
```

```
  write('Área de defeitos tipo 1 (FC-1) = ');  readln(A[1]);
```

```
  write('Área de defeitos tipo 2 (FC-2) = ');  readln(A[2]);
```

```
  write('Área de defeitos tipo 3 (FC-3) = ');  readln(A[3]);
```

```
  write('Área de defeitos tipo 4 (ALP/ATP)= ');  readln(A[4]);
```

```
  write('Área de defeitos tipo 5 (O/P) = ');  readln(A[5]);
```

```
  write('Área de defeitos tipo 6 (Ex) = ');  readln(A[6]);
```

```
  write('Área de defeitos tipo 7 (D) = ');  readln(A[7]);
```

```
  write('Área de defeitos tipo 8 (R) = ');  readln(A[8]);
```

```
  write('Área total inventariada = ');  readln(AT);  writeln;
```

```
  write('Valor médio das flechas nas trilhas de roda, F = ');  readln(F);
```

```
  write('Valor médio das variâncias das flechas, FV = ');  readln(FV);
```

```
end;
```

```
PROCEDURE calculos;
```

```
begin
```

```
  for i:=1 to 8 do
```



```

begin
  PAT[i] := 100 * A[i] / AT;
  IGI[i] := PAT[i] * CP[i];
  IGG := IGG + IGI[i];
end;
if F <= 30 then IGI[9] := 4*F/3 else IGI[9] := 40;
if FV <= 50 then IGI[10] := FV else IGI[10] := 50;
IGG := IGG + IGI[9] + IGI[10];
if ((IGG>=0) and (IGG<10)) then CONCEITO:='Ótimo';
if ((IGG>=10) and (IGG<30)) then CONCEITO:='Bom';
if ((IGG>=30) and (IGG<80)) then CONCEITO:='Regular';
if ((IGG>=80) and (IGG<150)) then CONCEITO:='Mau';
if ((IGG>=150) and (IGG<500)) then CONCEITO:='Péssimo';
end;

```

PROCEDURE saida;

```

begin
  clrscr;
  writeln('-----');
  writeln('PLANILHA PARA CÁLCULO DO IGG      Data: ',DATA);
  writeln('Rodovia : ',RODOVIA);
  writeln('Trecho : ',TRECHO,'          Revestimento: ',CAPA);
  writeln('-----');
  writeln('TIPO DEFEITO   A(m²)   PAT(%)   CP   IGI');
  writeln('-----');
  writeln(' 1  FC-1', A[1]:11:2, PAT[1]:11:2, CP[1]:11:2, IGI[1]:11:2);
  writeln(' 2  FC-2', A[2]:11:2, PAT[2]:11:2, CP[2]:11:2, IGI[2]:11:2);
  writeln(' 3  FC-3', A[3]:11:2, PAT[3]:11:2, CP[3]:11:2, IGI[3]:11:2);
  writeln(' 4  ALP/ATP', A[4]:11:2, PAT[4]:11:2, CP[4]:11:2, IGI[4]:11:2);
  writeln(' 5  O/P ', A[5]:11:2, PAT[5]:11:2, CP[5]:11:2, IGI[5]:11:2);
  writeln(' 6  Ex ', A[6]:11:2, PAT[6]:11:2, CP[6]:11:2, IGI[6]:11:2);
  writeln(' 7  D ', A[7]:11:2, PAT[7]:11:2, CP[7]:11:2, IGI[7]:11:2);
  writeln(' 8  R ', A[8]:11:2, PAT[8]:11:2, CP[8]:11:2, IGI[8]:11:2);
  writeln('-----');
  writeln(' 9  F ', F:11:2, ' ----- ', ' 4/3 (1) ', IGI[9]:9:2);
  writeln('10  FV ', FV:11:2, ' ----- ', ' 1.0 (2) ', IGI[10]:9:2);
  writeln('-----');
  writeln('Área Inventariada = ',AT:8:2,' m²          IGG = ',IGG:6:2);
  writeln('-----');
  writeln('                                CONCEITO: ',CONCEITO);
  write ('-----');
  ch:=readkey;
end;

```

```
BEGIN
  CP[1]:=0.2; CP[2]:=0.5; CP[3]:=0.8; CP[4]:=0.9;
  CP[5]:=1.0; CP[6]:=0.5; CP[7]:=0.3; CP[8]:=0.6;
  repeat
    fillchar(A,sizeof(A),0);
    fillchar(PAT,sizeof(PAT),0);
    fillchar(IGI,sizeof(IGI),0);
    AT:=0; F:=0; FV:=0; IGG:=0;
    entrada;
    calculos;
    saida;
    clrscr;
    write('Outro cálculo? (s/n) ');
    repeat
      ch:=upcase(readkey);
    until ch in ['S','N'];
  until ch='N';
END.
```

ANEXO "E"

GLOSSÁRIO

GLOSSÁRIO

TRINCA - Qualquer descontinuidade na superfície de um pavimento, consistindo em aberturas de maior ou menor porte, apresentando-se sob diversas formas (transversal, longitudinal, bloco, jacaré, irregular).

PANELAS - Cavidades abertas no pavimento.

REMENDOS - Painéis preenchidas com uma mistura betuminosa, na operação denominada "tapa-buraco".

REMENDO PROFUNDO - Aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores. Usualmente apresenta uma forma retangular.

REMENDO SUPERFICIAL - Correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa delgada como, por exemplo, lama asfáltica ou pré-misturado.

EXSUDAÇÃO - Excesso de ligante betuminoso localizado em forma de mancha mais escura na superfície da pista de rolamento.

DESGASTE - Aspereza superficial, com perda no envolvimento betuminoso do agregado, ocorrendo em estágio mais avançado o arrancamento progressivo do agregado.

ONDULAÇÃO ou CORRUGAÇÃO - Sucessão mais ou menos regular de depressões e saliências transversais, observadas na superfície do pavimento.

EMULSÃO BETUMINOSA - Uma suspensão de minúsculos glóbulos de material betuminoso em água ou solução aquosa. A dispersão do asfalto na água é realizada por um moinho coloidal que desmembra o betume quente em minúsculos glóbulos na presença de um emulsificador. O emulsificador mantém a emulsão acabada estável e controla sua quebra.

EMULSÃO CATIÔNICA - Uma classe de emulsão tal que um agente emulsificador particular estabelece uma predominância de cargas positivas nos glóbulos betuminosos.

QUEBRA - A quebra ou ruptura de emulsões é definida como a separação do betume e da água, e pode ser observada no campo por uma apreciável modificação na cor marrom para o preto.

PINTURA DE LIGAÇÃO - Aplicação leve de emulsão asfáltica a uma superfície pavimentada existente, quer de asfalto ou de concreto de cimento portland, cuja finalidade é promover a ligação entre a superfície existente e a camada subsequente.

IMPRIMAÇÃO - Aplicação de emulsão asfáltica a uma superfície absorvente para impermeabilizar e aglutinar, e promover a ligação entre a superfície e a nova construção a ser superposta.

AFUNDAMENTO - Depressão local da superfície do pavimento.

CAPA SELANTE - Capa betuminosa que resulta de uma ou mais aplicações alternadas e sucessivas de emulsão e agregado de cobertura sobre pavimento existente.

LAMA ASFÁLTICA - Aplicação uniforme de uma mistura de emulsão asfáltica, agregado de partículas finas, filler e água, sobre pavimento existente.

VISCOSIDADE SAYBOLT-FUROL - Tempo, em segundos, que uma determinada quantidade de material betuminoso leva para escoar através de um orifício em determinada temperatura e em condições padronizadas.

ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO - Ensaio que consiste em deixar uma amostra de ligante asfáltico decantar por 5 (cinco) dias, determinando-se depois, por evaporação, as porcentagens de cimento asfáltico no topo e no fundo. O resultado do ensaio é a diferença entre as duas porcentagens encontradas. De acordo com as especificações vigentes, esta diferença deve ser, no máximo, de 5% em peso.

ENSAIO DE PENEIRAMENTO - Ensaio que visa demonstrar se o ligante asfáltico teve uma emulsificação eficiente, ou mesmo indicar se houve uma ruptura precoce do material. Verifica a quantidade de partículas graúdas em uma emulsão que não passam na peneira Nº 20. Os resultados indicam se a emulsão foi produzida, armazenada e amostrada adequadamente. Partículas graúdas em excesso podem produzir aplicações não uniformes e facilitar o entupimento dos bicos espargidores. O valor máximo admitido para a emulsão RM-1C ou RM-2C é de 0,1%, em peso.

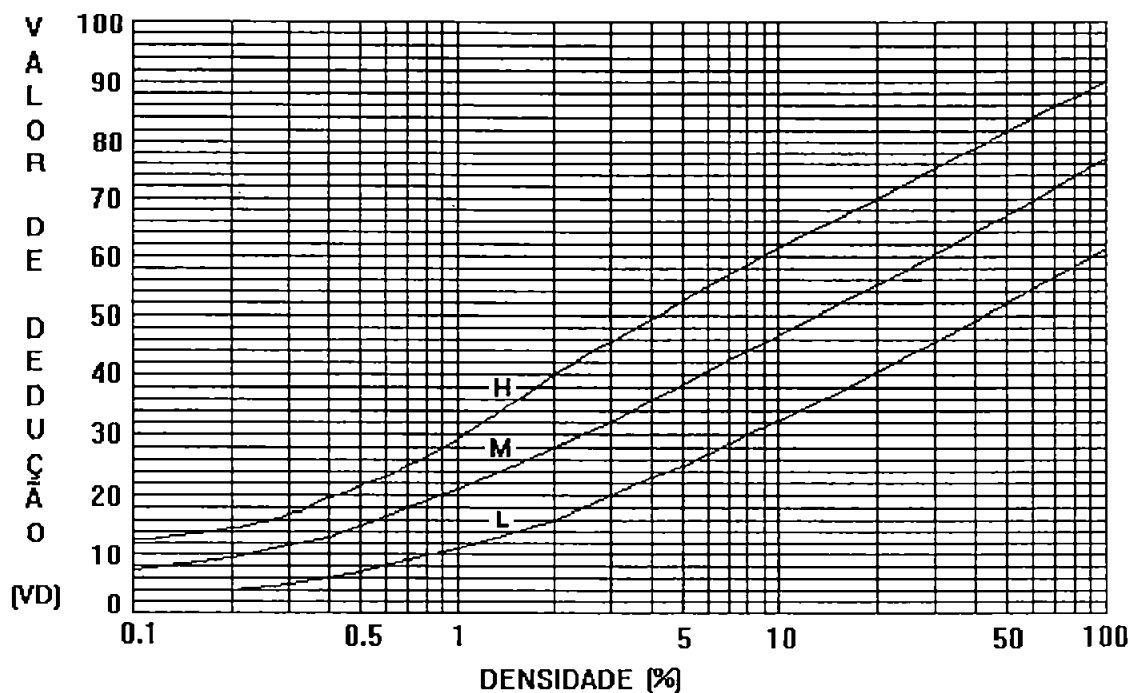
ENSAIO DE RESÍDUO ASFÁLTICO - Ensaio destinado a determinar a quantidade de CAP existente em uma emulsão. Através do aquecimento de uma determinada quantidade de emulsão, ocorre o processo de evaporação da água e solvente, restando somente o CAP. O resultado do ensaio é expresso como sendo a relação entre a massa da amostra final (CAP) e a massa da amostra inicial (emulsão), e dado em porcentagem. O teor de CAP contido na amostra de emulsão deve ser no mínimo de 62%, para a RM-1C, e 65%, para a RM-2C.

ANEXO “F”

ÁBACOS DO MÉTODO “PCI”

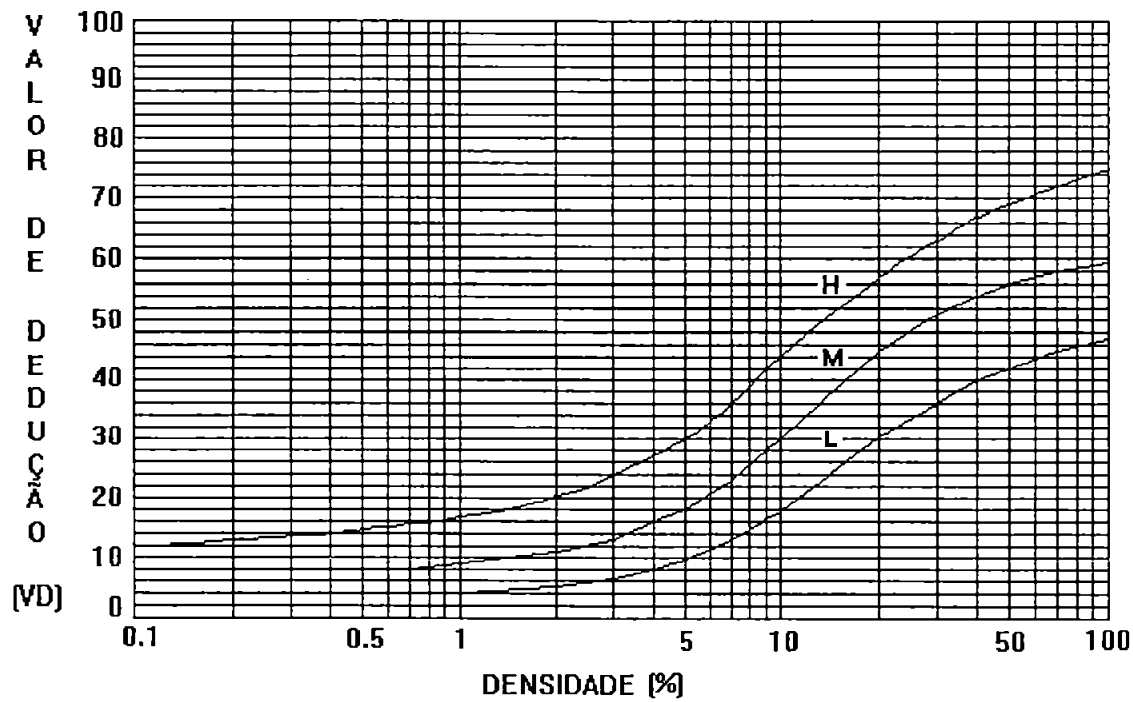
ÁBACO 1

DEFEITO Nº 1 - TRINCAMENTO POR FADIGA



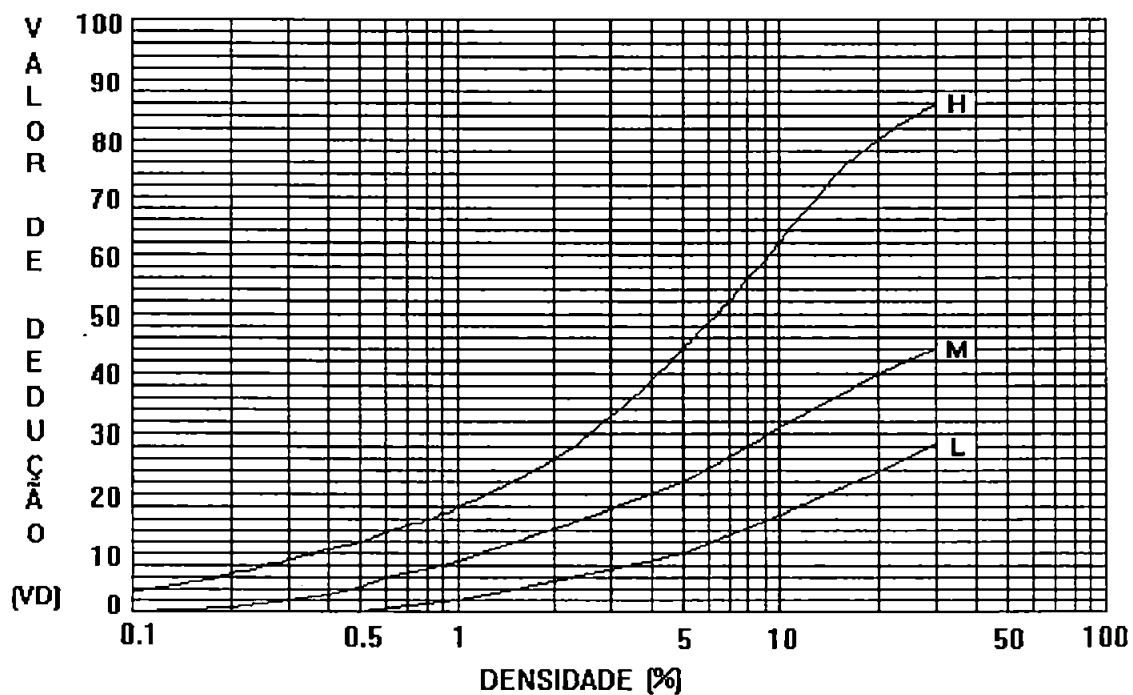
ÁBACO 2

DEFEITO Nº 6 - DEPRESSÃO



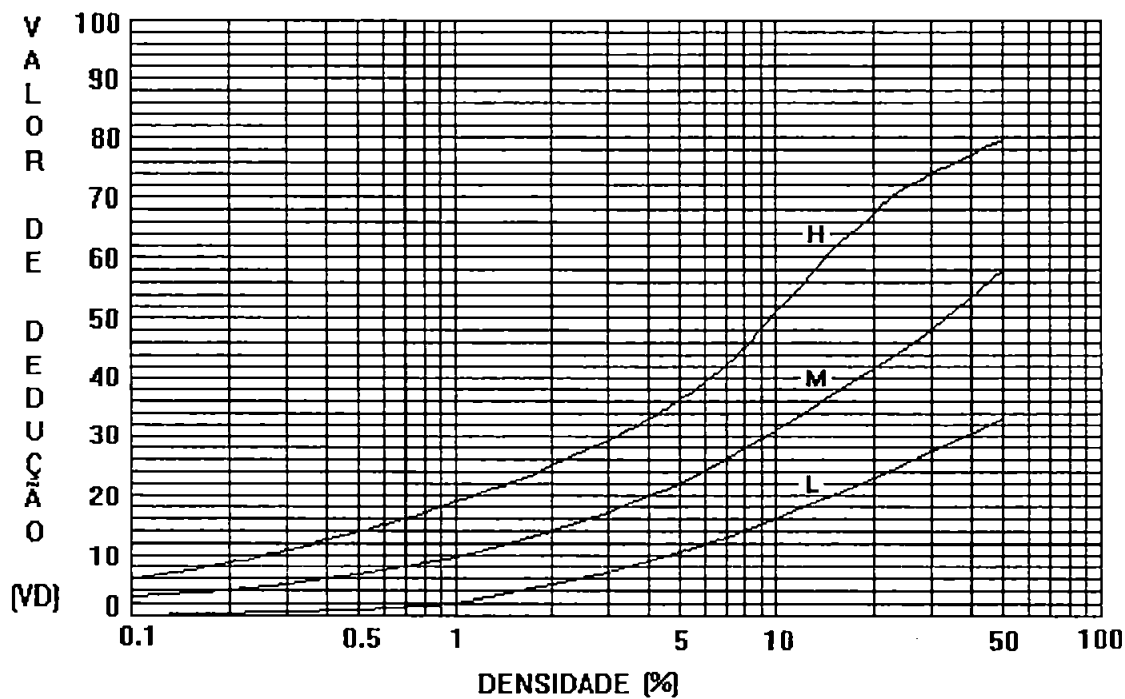
ÁBACO 3

DEFEITO Nº 10 - TRINCAMENTO TRANSVERSAL E LONGITUDINAL



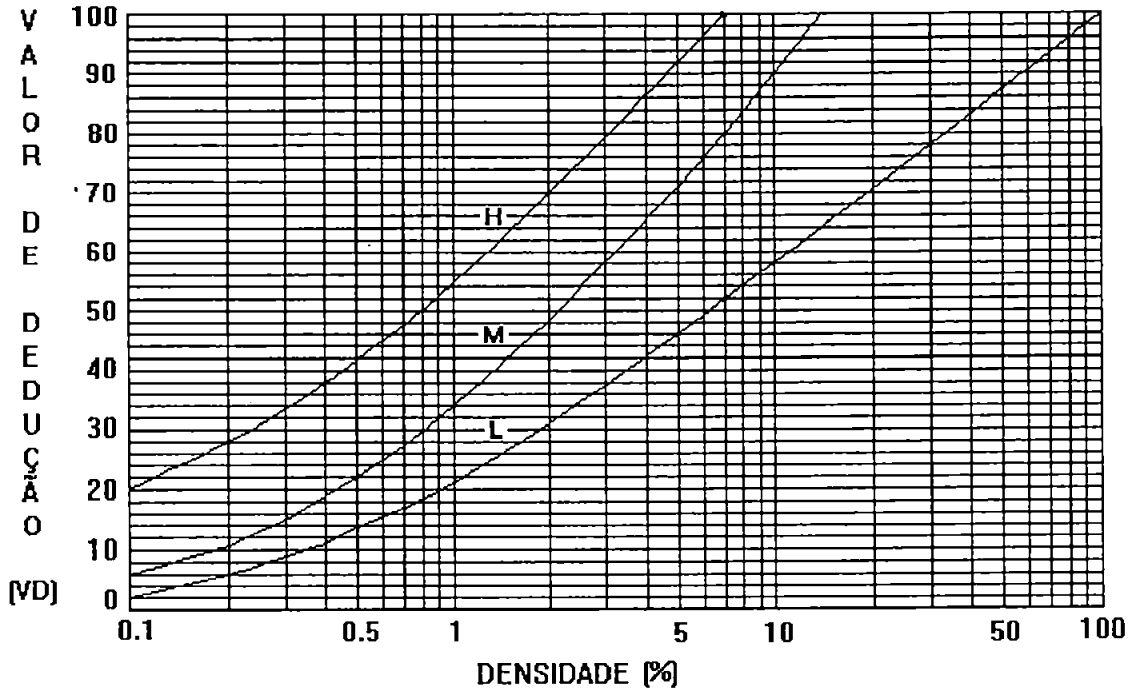
ÁBACO 4

DEFEITO Nº 11 - REMENDOS



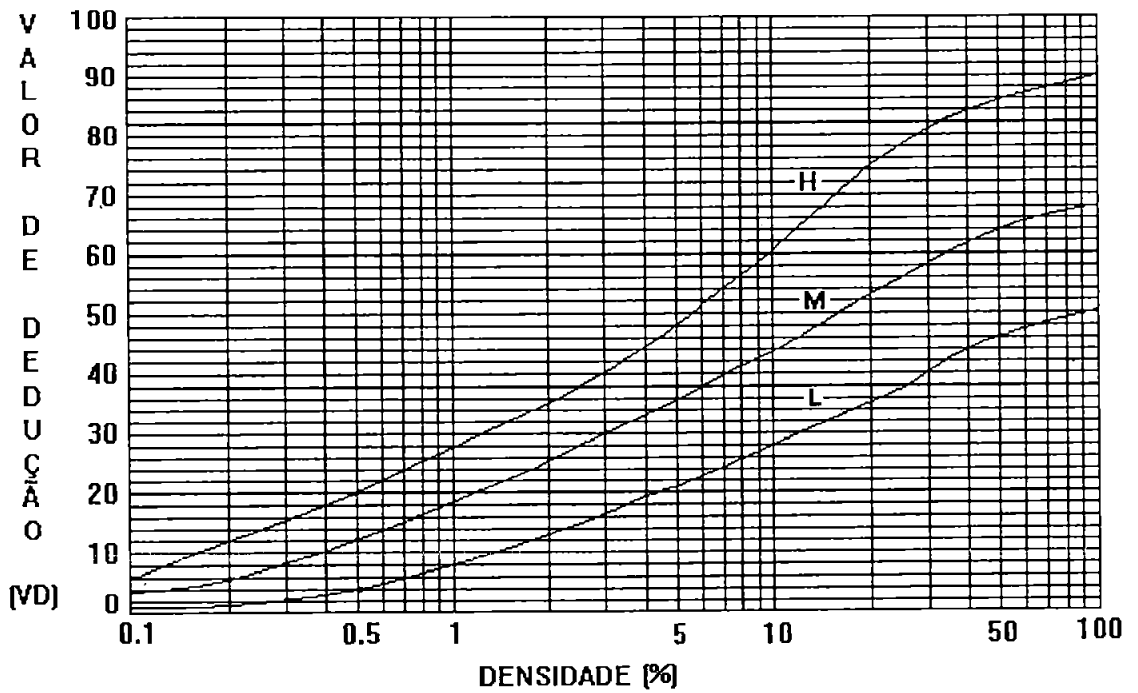
ÁBACO 5

DEFEITO Nº 13 - BURACOS



ÁBACO 6

DEFEITO Nº 15 - AFUNDAMENTOS NAS TRILHAS DE RODAS



ÁBACO 7

CURVAS DE DEDUÇÃO

