

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Transportes**

AVALIADORES, NOTAS E QUALIDADE DE PAVIMENTOS

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016718



RICARDO ALMEIDA DE MELO

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 Transportes.

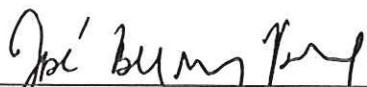
Orientador: Professor Doutor JOSÉ BERNARDES FELEX

São Carlos
1998

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **RICARDO ALMEIDA DE MELO**

Dissertação defendida e aprovada em 04-5-1998
pela Comissão Julgadora:



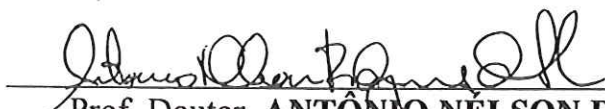
Prof. Titular **JOSÉ BERNARDES FELEX (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **MARCOS ANTONIO GARCIA FERREIRA**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Doutor **ANTÔNIO NELSON R. DA SILVA**
Coordenador da Área de Transportes



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

À minha Mãe, **Adelina Maria Almeida de Melo** (*in memoriam*).

E, aos meus primeiros orientadores e educadores:
Meu Pai, **José Bezerra de Melo Irmão** e
Minha Segunda Mãe, **Auxiliadora Maria Almeida de Melo**.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Titular Doutor *José Bernardes Felex*,
pela orientação e direção de aprendizado;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico-CNPq,
pela bolsa de estudo concedida;

Ao Professor Doutor *Anísio Brasileiro de Freitas Dourado*, da Universidade
Federal de Pernambuco, por sugestões, incentivo e aconselhamento;

Aos meus irmãos, em especial Márcia e Mércia. E, a meu cunhado Edísio;

Aos *professores e funcionários do Departamento de Transportes da Escola
de Engenharia de São Carlos*. Em especial, à Sueli Regina Ferreira;

Aos *amigos e colegas do Departamento de Transportes da Escola de
Engenharia de São Carlos*. Em especial, Cynthia, Eric, Kennedy, Lucilene,
Marcelo Takeda, Marony, e Sandra Oda;

À Cláudia por auxiliar na coleta de dados;

Aos *avaliadores*: Sandra Margarido, Artur, Cláudio, Alexandre, Márcia,
Sandra Rodgher, Sérgio, Hilário, Cely, Lisle, Sueli Barroso, Karina, *Henrik*,
Jisela, Márcio, José, Nadja, Mário, Ricardo, Rone, Eliana, Mariovaldo, Mauro,
Danielle, Bozza, Hugo, Mário, Kenji, Selma, Mariana, Denise, Nicolau e
Barra;

Aos meus amigos Irailton, Luciano, Rosangela e Solange;

Aos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho;

Aos amigos de São Carlos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	QUALIDADE DE SERVIÇOS PRESTADOS PELOS PAVIMENTOS	2
1.2	CARACTERÍSTICAS DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS E SATISFAÇÃO DE CLIENTES DA VIA	3
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	12
2	HISTÓRICO SOBRE AVALIAÇÃO DE NÍVEL PARA QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO	14
2.1	BASES PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS	15
2.2	GENERALIZAÇÃO DE CONCEITOS SOBRE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	29
2.3	SOBRE O USO DE NOTAS ATRIBUÍDAS POR USUÁRIOS	34
2.4	DEFEITOS DE SUPERFÍCIE EM PAVIMENTOS	36
3	UM ÍNDICE PARA CLASSIFICAR O ESTADO DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS	42
3.1	OUTROS PROCESSOS PARA ESTIMAR O PCI	47
3.2	IGG, o PCI DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM?	48
3.3	SOBRE A ACEITAÇÃO DE ÍNDICES PARA EXPRESSAR A QUALIDADE DE TRÁFEGO SOBRE A SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS	50
4.	OS CONCEITOS DE ESTATÍSTICA USADOS DURANTE O TRABALHO	51
4.1.	INFERÊNCIA ESTATÍSTICA	52
4.2.	ESTIMATIVA DAS MÉDIAS PARA GRANDES AMOSTRAS	52
4.3.	O TESTE DE HIPÓTESES	54

4.4.	O TESTE T PARA ESTIMATIVAS DA MÉDIA DE POPULAÇÃO	57
4.5.	INFERÊNCIAS SOBRE DUAS MÉDIAS DE POPULAÇÕES. PEQUENAS AMOSTRAS DEPENDENTES	59
4.6.	INFERÊNCIAS SOBRE DIFERENÇAS ENTRE MÉDIAS DE POPULAÇÕES. PEQUENAS AMOSTRAS.	60
5	DOS DADOS	62
5.1	OS SEGMENTOS DE RUAS PARA ESTUDOS	62
5.2	AVALIADORES E NOTAS	68
5.3	CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS DE SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS DOS SEGMENTOS ESTUDADOS	73
6	PADRONIZAÇÃO DE ÍNDICES E TESTES ESTATÍSTICOS	78
6.1	PADRONIZAÇÃO DE ESCALAS PARA OS ÍNDICES DE CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS	78
6.2	A IGUALDADE ENTRE MÉDIAS DE NOTAS ATRIBUÍDAS PELOS AVALIADORES	81
6.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DIFERENÇAS ENTRE MÉDIAS	85
6.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ACEITAÇÃO PELOS AVALIADORES DOS SEGMENTOS ESTUDADOS PARA O TRÁFEGO DE VEÍCULOS	89
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	95
7.1	PADRONIZAÇÃO DE ÍNDICES E TESTES DE HIPÓTESE	95
7.2	SOBRE IGUALDADE DE MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS E NOTAS DE AVALIADORES	96
7.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DIFERENÇAS ENTRE MÉDIAS	98
7.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE ACEITAÇÃO PELOS AVALIADORES DOS SEGMENTOS ESTUDADOS PARA O TRÁFEGO DE VEÍCULOS	100
7.5	CONCLUSÕES FINAIS	101
7.6	SUGESTÕES	102
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
9	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	107

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - O PROCESSO DE FORMAÇÃO DA NOTA PELO AVALIADOR.....	8
FIGURA 2 – EXPLICAÇÃO DE GRAU DE SATISFAÇÃO DE CLIENTES DE VIAS.....	12
FIGURA 3 – ESCALA DE NOTAS PARA AVALIAÇÃO INDIVIDUAL DE SERVENTIA.....	17
FIGURA 4 – ÍNDICE DE DESEMPENHO DE PAVIMENTO COMO MEDIDA PRINCIPAL DO COMPORTAMENTO DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO. FONTE: FWA & SINHA (1991).....	19
FIGURA 5 –MEDIDOR DE IRREGULARIDADE BPR.....	26
FIGURA 6 - O MAYS METER.....	26
FIGURA 7 - O MODELO QUARTER-CAR.....	27
FIGURA 8 - PERFIL LONGITUDINAL DE PAVIMENTO PARA ANÁLISE DA ACELERAÇÃO VERTICAL.....	30
FIGURA 9 – TIPO DE ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO EM FUNÇÃO DO PCI.....	48
FIGURA 10 - INTERVALO DE CONFIANÇA DAS MÉDIAS	53
FIGURA 11 - REGIÃO CRÍTICA DO TESTE t , PARA A MÉDIA DE UMA POPULAÇÃO, QUANDO A HIPÓTESE ALTERNATIVA CONTÉM O SÍMBOLO $>$ (TESTE PARA CAUDA À DIREITA).....	58
FIGURA 12 - REGIÃO CRÍTICA DO TESTE t , PARA A MÉDIA DE UMA POPULAÇÃO, QUANDO A HIPÓTESE ALTERNATIVA CONTÉM O SÍMBOLO $<$ (TESTE COM CAUDA À ESQUERDA).....	58
FIGURA 13 - REGIÃO CRÍTICA DO TESTE t , PARA A MÉDIA DE UMA POPULAÇÃO, QUANDO A HIPÓTESE ALTERNATIVA CONTÉM O SÍMBOLO \neq (TESTE COM DUAS CAUDAS).....	58
FIGURA 14 - VISTA DA AV. SÃO CARLOS (SEGMENTO 1). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	63

FIGURA 15 – VISTA DA RUA XV DE NOVEMBRO (SEGMENTO 2). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997..	63
FIGURA 16 - VISTA DA RUA CONSELHEIRO JOÃO ALFREDO (SEGMENTO 3). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	63
FIGURA 17 – VISTA DA RUA PAULINO B DE A SAMPAIO (SEGMENTO 4). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997	64
FIGURA 18 - VISTA DA AV. MARGINAL (SEGMENTO 5). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	64
FIGURA 19 - VISTA DA RUA LUIZ VAZ TOLEDO PIZZA (SEGMENTO 6), APÓS A OPERAÇÃO TAPA- BURACO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO DE 1997.	64
FIGURA 20 – VISTA DA RUA LUIZ VAZ TOLEDO PIZZA (SEGMENTO 7), APÓS A OPERAÇÃO TAPA-BURACO.	65
FIGURA 21 - VISTA DA RUA ANTONIO BLANCO (SEGMENTO 8). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	65
FIGURA 22 - VISTA DA RUA ANTONIO BLANCO (SEGMENTO 9). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997...	65
FIGURA 23 - VISTA DA ALAMEDA DOS CRISÂNTEMOS (SEGMENTO 10). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	66
FIGURA 24 - VISTA DA RUA MIGUEL PETRONI (SEGMENTO 11). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997...	66
FIGURA 25 - VISTA DA AVENIDA JOÃO DE GUZZI (SEGMENTO 12). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	66
FIGURA 26 - VISTA DA RUA PROF. JOSÉ F. CAMARGO (SEGMENTO 13). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	67
FIGURA 27 – GRUPO DE AVALIADORES ATRIBUÍDO NOTA PARA NÍVEL DE QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO URBANO (SEGMENTO 5 – AV. MARGINAL). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO, 1997.	70
FIGURA 28 – MÉDIAS DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AO NÍVEL PARA QUALIDADE DAS SUPERFÍCIES DOS SEGMENTOS DE RUA ESTUDADOS. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO, 1997	72
FIGURA 29 – DESVIOS PADRÃO DE NOTAS NOTAS ATRIBUÍDAS AO NÍVEL PARA QUALIDADE DAS SUPERFÍCIES DOS SEGMENTOS DE RUA ESTUDADOS. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO, 1997	72
FIGURA 30 – DEMARCAÇÃO DE SEGMENTO DE RUA PARA CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS. SEGMENTO 3 – RUA CONS. JOÃO ALFREDO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	73
FIGURA 31 – DEMARCAÇÃO DE LIMITES DE DEFEITOS EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO. SEGMENTO 3 – RUA CONS. JOÃO ALFREDO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DA VIAGEM SOBRE AS NOTAS DE QUALIDADE PARA VIAGEM EM PAVIMENTOS. FONTE: NAIR & HUDSON (1986).....	10
TABELA 2 – INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS RELACIONADAS COM A ORIGEM DO CLIENTE DE RODOVIAS NA SATISFAÇÃO DE MOTORISTAS E PASSAGEIROS.....	11
TABELA 3 - ESPECIFICAÇÕES DO DNER PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS.	22
TABELA 4 – SUGESTÃO PARA AVALIAÇÃO DE NÍVEL PARA QUALIDADE EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS A PARTIR DA SERVENTIA. FONTE: AL-OMARI & DARTER (1994)	23
TABELA 5 - NÚMERO MÍNIMO DE AVALIADORES NECESSÁRIO PARA GRUPO DE AVALIAÇÃO DE SERVENTIA EM PAVIMENTOS. FONTE: FWA & GAN (1989).....	35
TABELA 6 – TIPOS DE REMENDOS E BURACOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (SHRP, 1993)	38
TABELA 7 – TIPOS DE TRINCAS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (SHRP, 1993).....	39
TABELA 8 – TIPOS DE DEFORMAÇÕES NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (SHRP, 1993)	40
TABELA 9 – TIPOS DE DEFEITOS FÍSICOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (SHRP, 1993)	40
TABELA 10 – OUTROS DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (SHRP, 1993).....	41
TABELA 11 - QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO DE ACORDO ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO. FONTE: SHAHIN & KOHN (1979).....	46
TABELA 12 - PESOS SUGERIDOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE DEFEITOS QUE OCORREM EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. FONTE: BERTOLLO (1997)	47
TABELA 13 – CLASSIFICAÇÃO DE PAVIMENTOS USANDO O IGG.....	50
TABELA 14 - NOTAÇÃO PARA O ESTUDO, A PARTIR DE AMOSTRAS, DE PARÂMETROS SOBRE MÉDIAS ...	59
TABELA 15 - TRECHOS DE RUA SELECIONADOS PARA AVALIAÇÕES POR NOTAS À QUALIDADE DE TRÁFEGO DE VEÍCULOS E CARACTERIZAÇÃO DE DEFEITOS. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO/OUTUBRO 1997.	67
TABELA 16 –ACEITAÇÃO DA QUALIDADE DE VIAGEM PELA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO DE SEGMENTOS DE RUA ESTUDADOS. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	70
TABELA 17 – RESUMO DE MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS A NÍVEL PARA QUALIDADE DE SUPERFÍCIES DOS SEGMENTOS DE RUA. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997	71
TABELA 18 – RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 1 AV. SÃO CARLOS. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	74
TABELA 19 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 2 RUA XV DE NOVEMBRO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	74
TABELA 20 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 3 RUA CONS. JOÃO ALFREDO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	74
TABELA 21 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 4 RUA PAULINO DE A. BOTELHO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	75
TABELA 22 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 5 AV. MARGINAL. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	75
TABELA 23 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 6 RUA LUIZ VAZ TOLEDO PIZZA. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	75

TABELA 24 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 7 RUA LUIZ VAZ DE TOLEDO PIZZA. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997	75
TABELA 25 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 8 RUA ANTONIO BLANCO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	76
TABELA 26 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 9 RUA ANTONIO BLANCO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	76
TABELA 27 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 10 ALAMEDA DOS CRISANTEMOS. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	76
TABELA 28 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 11 RUA MIGUEL PETRONI. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	76
TABELA 29 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 12 AV. JOÃO DE GUZZI. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	77
TABELA 30 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DE DEFEITOS NO SEGMENTO 13 RUA PROF JOSÉ F. CAMARGO. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	77
TABELA 31 - ÍNDICES PARA CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS. SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.	77
TABELA 32 - TRANSFORMAÇÕES MATEMÁTICAS PARA PADRONIZAÇÃO DE ESCALA DE ÍNDICES PARA MEDIDA DE CONDIÇÃO DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO.....	79
TABELA 33 - ÍNDICES PADRONIZADOS PARA A ESCALA DE NOTAS DE 0 A 5 PROPOSTA PELO HRB (1961). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997	79
TABELA 34 - CLASSIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS DOS TRECHOS ESTUDADOS, PELOS CRITÉRIOS E APÓS PADRONIZAÇÃO DE ÍNDICES PARA A ESCALA DO HRB (1961). SÃO CARLOS, SP. SETEMBRO 1997.....	80
TABELA 35 - IGUALDADE ENTRE “MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS PARA A ESCALA HRB (1961)” COM A “MÉDIA DE NOTAS DE TODOS OS AVALIADORES”. $H_0 = \text{AS MÉDIAS SÃO IGUAIS, } t_{\text{CRÍTICO}}(t) = 2.18 $	82
TABELA 36 - TESTES SOBRE A IGUALDADE ENTRE “MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS PARA A ESCALA HRB (1961)” E “MÉDIAS DE NOTAS DE AVALIADORES COM EXPERIÊNCIA PRÉVIA EM AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS”. $H_0 = \text{AS MÉDIAS SÃO IGUAIS}$	83
TABELA 37 - TESTES SOBRE A IGUALDADE ENTRE “MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS PARA A ESCALA HRB (1961)” E “MÉDIAS DE NOTAS DE AVALIADORES SEM EXPERIÊNCIA EM AVALIAR PAVIMENTOS”. $H_0 = \text{AS MÉDIAS SÃO IGUAIS}$	84
TABELA 38 - DIFERENÇAS ENTRE “MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS PARA A ESCALA HRB (1961)” E “MÉDIAS DE NOTAS DE AVALIADORES”	85
TABELA 39 - DIFERENÇA ENTRE MÉDIAS DE NOTAS DE GRUPOS DE AVALIADORES.....	85
TABELA 40 - TESTES SOBRE AS DIFERENÇAS ENTRE AS “MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS PARA A ESCALA HRB (1961)” E A “MÉDIAS DE NOTAS DE TODOS OS AVALIADORES”. $H_0 = \text{A DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS TEM VALOR CONHECIDO, IGUAL ÀDIFERENÇA ENTRE AS ESTIMATIVAS DE MÉDIAS, E, ÉESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTE}$	86

TABELA 41 – TESTE SOBRE AS DIFERENÇAS ENTRE AS “MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS PARA ESCALA HRB (1961)” E “MÉDIAS DE NOTAS DE AVALIADORES COM EXPERIÊNCIA ANTERIOR”. H0 = A DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS TEM VALOR CONHECIDO, IGUAL À DIFERENÇA ENTRE AS ESTIMATIVAS DE MÉDIAS, E É ESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTE.....	87
TABELA 42 – TESTE SOBRE AS DIFERENÇAS ENTRE AS “MÉDIAS DE ÍNDICES PADRONIZADOS PARA A ESCALA HRB (1961)” E “MÉDIAS DE NOTAS DE AVALIADORES SEM EXPERIÊNCIA ANTERIOR”. H0 = A DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS TEM VALOR CONHECIDO, IGUAL À DIFERENÇA ENTRE AS ESTIMATIVAS DE MÉDIAS, E É ESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTE.....	88
TABELA 43 – DIFERENÇAS ENTRE PORCENTAGENS DE OCORRÊNCIA DE ACEITAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE SEGMENTOS DE RUA ESTUDADOS	90
TABELA 44 – TESTES SOBRE A IGUALDADE ESTATÍSTICA ENTRE PORCENTAGENS DE OCORRÊNCIA DE “ACEITO” SOBRE SEGMENTOS DE RUA PARA O TRÁFEGO DE VEÍCULOS ENTRE OS AVALIADORES. H0 = AS PORCENTAGENS DOS QUE ACEITAM OS SEGMENTOS PODEM SER IGUAIS	91
TABELA 45 – TESTES SOBRE A IGUALDADE ESTATÍSTICA ENTRE PORCENTAGENS DE OCORRÊNCIA DE “NÃO ACEITO” SOBRE SEGMENTOS DE RUA PARA O TRÁFEGO DE VEÍCULOS ENTRE OS AVALIADORES. H0 = AS PORCENTAGENS DOS QUE NÃO ACEITAM OS SEGMENTOS PODEM SER IGUAIS.....	92
TABELA 46 – TESTES SOBRE A IGUALDADE ESTATÍSTICA ENTRE DIFERENÇAS DE PORCENTAGENS DE “ACEITO” SOBRE SEGMENTOS DE RUA PARA O TRÁFEGO DE VEÍCULOS ENTRE OS AVALIADORES. H0 = AS DIFERENÇAS ENTRE PORCENTAGENS DE “ACEITO” PODEM SER IGUAIS ÀS DIFERENÇAS ENTRE AS MÉDIAS	93
TABELA 47 – TESTES SOBRE A IGUALDADE ESTATÍSTICA ENTRE DIFERENÇAS DE PORCENTAGENS DE “NÃO ACEITO” SOBRE SEGMENTOS DE RUA PARA O TRÁFEGO DE VEÍCULOS ENTRE AVALIADORES. H0 = AS DIFERENÇAS ENTRE PORCENTAGENS DE “NÃO ACEITO” PODEM SER IGUAIS À DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AMITR	Aparelho Medidor de Irregularidade Tipo Resposta
ASTM	American Society for Testing and Materials
BPR	<i>Bureau of Public Roads</i>
CDV	<i>Corrected Deduction Value</i>
CERL	<i>U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory</i>
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
ES	Especificação
ESAL	<i>Equivalent Single-Axle Load</i>
EUA	Estados Unidos da América
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
HRB	<i>Highway Research Board</i>
ICP	Índice de Condição do Pavimento
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviária
ISA	Índice de Serventia Atual
LTPP	<i>Long Term Pavement Performance</i>
NCHRP	<i>National Cooperative Highway Research Project</i>
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>

PPQI	<i>Pavement Performance Quality Index</i>
PRO	Procedimento
PSI	<i>Present Serviceability Index</i>
PSR	<i>Present Serviceability Rating</i>
QCS	<i>Quarter-Car Statistics</i>
QI	Quociente de Irregularidade
RMSVA	Root Mean Square Vertical Acceleration
RTRRMS	<i>Response Type Road Roughness Measuring Systems</i>
SHRP	<i>Strategic Highway Research Program</i>
TER	Terminologia
VSA	Valor de Serventia Atual
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

- $a(T_i, S_j, D_{ij})$ Função de perda de capacidade para servir ao tráfego, cujas variáveis independentes são o tipo (T_i), nível de severidade (S_j) e densidade (D_{ij}) de defeitos
- ΔS Espaçamento entre os pontos analisados
- σ Desvio padrão ($\sigma = 10$) das estimativas de *PCI* entre amostras unitárias em um trecho de pavimento
- \overline{RD} Média das profundidades das trilhas das rodas de veículos (polegadas)
- \overline{SV} Média das variações de cotas entre estacas consecutivas, distantes entre si de 1 pé na trilha de roda (multiplicado por 10^6)
- C, A_i, B_i** Coeficientes obtidos por análise de regressão pelo método de mínimos quadrados
- C** Índice de trincamento para pavimento flexível, estimado a partir da ocorrência de áreas com trincas transversais e longitudinais ditas "classe 2" e "classe 3" pela AASHO na década dos 60, e de comprimento de trincas longitudinais por área ($\text{pés}^2/1000 \text{pés}^2$)
- C** No caso de pavimento rígido, estimado a partir de comprimentos de trinca ditas "classe 2", e seladas, somadas a áreas com quebras maiores que 3 polegadas de diâmetro ($\text{pés}^2/1000 \text{pés}^2$)

C_s	Constante de absorção de choque
D_i	Valores numéricos de funções que expressem a distribuição de medidas de defeitos na superfície de pavimentos
e	Erro admissível ($e = 5$) na estimativa do <i>PCI</i> do trecho de pavimento, em número de amostras
E_j	Erro de estimativa
$F(t,q)$	Fator de ajuste para reduzir o efeito do excesso de tipos de defeitos. (t) depende do número de funções $a()$, e (q) é o número de valores numéricos de funções $a()$ maiores que 5
f_a	Frequência absoluta
f_{ij}	Ajuste correspondente à porcentagem de defeitos i com nível de severidade j
f_p	Fator de ponderação; depende do tipo de defeito
f_r	Frequência relativa
i	Índice associado aos tipos de defeitos
j	Índice associado aos níveis de severidade de defeitos
k_p	Constante elástica do pneu
k_s	Constante elástica da suspensão
m_i	Nível de severidade para o i -ésimo tipo de defeito
M_s	Massa móvel
M_u	Massa fixa (eixo, etc)
n	Número de estações inventariadas
n	Número de pontos da superfície de pavimento observados
n	Média do intervalo de repetições do eixo padrão

<i>n</i>	Número mínimo de amostras unitárias por trecho inspecionado
N	Número total de amostras unitárias (área total do trecho de pavimento dividida pela área da amostra unitária)
<i>P</i>	Índice de remendos no pavimento ($\text{pés}^2/1000 \text{pés}^2$)
<i>p</i>	Número de tipos de defeitos
R_i	Valores numéricos de funções da distribuição de medidas sobre a rugosidade longitudinal da superfície de pavimentos
S	Distância entre duas cotas consecutivas
SB	Distância de base
$VA_{1,0}$	Aceleração vertical média quadrática, referente a uma distância de base igual a 1,00m
$VA_{2,5}$	Aceleração vertical média quadrática, referente a uma distância de base igual a 2,50m
Y_i	Cota no ponto <i>i</i>
<i>z</i>	Cota de um ponto na superfície do pavimento
z_s	Cota da massa móvel (corpo do veículo)
z_u	Cota da massa fixa (eixo, etc.)

RESUMO

MELO, Ricardo Almeida de (1998). *Avaliadores, notas e qualidade de pavimentos*. São Carlos, 1998, 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Mostrou-se que notas atribuídas por motoristas e passageiros podem ser usadas como dados para avaliação de comportamento da superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos. Também, através de estudo sobre a história de avaliação do comportamento da superfície de pavimentos, recorda-se que o conhecimento sobre essas variáveis pode contribuir para identificar relações entre o grau de satisfação de quem usa rodovias e características da estrutura e manutenção de pavimentos, os defeitos da superfície de vias. Relatam-se conclusões de análises estatísticas efetuadas para comparar médias de notas atribuídas, por avaliadores treinados, a segmentos de ruas de São Carlos SP e índices padronizados para mesma escala de medida, obtidos a partir de características da superfície de pavimentos, visando sustentar conclusões para indicar que processos de avaliação a partir de notas atribuídas por avaliadores poderão fornecer resultados de classificação de estado de pavimento compatíveis com a cultura sobre conforto e segurança durante o tráfego de veículos daqueles que usam as vias.

Palavras-chave: pavimentos, avaliadores, qualidade

ABSTRACT

MELO, Ricardo Almeida de (1998). *Evaluators, scores and quality of pavements*. São Carlos, 1998, 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

It was showed that the scores from drivers and passengers should be useful as input to evaluate the behavior of pavement surface during traffic of vehicles. Also, studying the history of the pavement surface evaluation it was recalled that the knowledge of such variables should contribute to identify relationships among the road user satisfaction and the distress of the pavement surface. And it was reported some conclusion obtained from statistical analysis to compare scores media attributed by evaluators to street segments of the city of Sao Carlos SP with standardized index trying to support conclusions to indicate that the evaluation processes done from evaluator's scores should conduct to pavement condition indexes closed to the culture on comfort and security of traffic from the users of the roadway.

Keywords: pavements, evaluators, quality

1 INTRODUÇÃO

O pavimento, superfície para tráfego de veículos em rodovias, tem dentre suas finalidades:

- a) Contribuir para a segurança do fluxo de veículos;
- b) Contribuir o conforto durante o tráfego de veículos - por exemplo, evitar poeira, buracos e facilitar a drenagem de vias;
- c) Suportar as cargas estáticas e dinâmicas atribuídas à presença de veículos;
- d) Transmitir as cargas recebidas dos veículos para a infra-estrutura da rodovia.

A finalidade da dissertação aqui apresentada é *mostrar que notas atribuídas por motoristas e passageiros podem ser usadas como dados de avaliação de comportamento da superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos*. Também, recordar que essas variáveis podem contribuir para identificar relações entre o grau de satisfação de quem usa rodovias e características da estrutura e manutenção de pavimentos.

Os estudos efetuados tiveram dentre seus objetivos mostrar que usuários de vias – motoristas e passageiros – podem contribuir para avaliações do nível para qualidade do serviço prestado ao tráfego de veículos de superfícies de pavimentos - comportamento ao tráfego. E, para caracterizar tais superfícies de tráfego a partir de:

- a) Resultados de levantamentos sobre defeitos;
- b) E, estimativa de índices para classificar o nível para qualidade de superfície em vias ao tráfego de veículos.

O presente trabalho resume resultados de estudos e análises sobre conclusões obtidas a partir de:

- a) Levantamento de dados por entrevistas a usuários treinados sobre o comportamento de superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos;
- b) E, processamento de informações contidas em mapeamentos sobre ocorrências de defeitos em superfície de pavimentos urbanos visando contribuir para o desenvolvimento de critérios de análises sobre *estimativas de nível para qualidade do serviço prestado ao tráfego de veículos em vias urbanas* no município de São Carlos, estado de São Paulo, Brasil.

Usaram-se para isso dados obtidos por:

- a) Informações levantadas através de questionários e entrevistas a usuários treinados que inspecionaram visualmente e percorreram vias durante o mês de Setembro de 1997, em São Carlos, estado de São Paulo, Brasil;
- b) Produtos de análises exploratórias sobre resultados de estudos de propriedades de fatores que influenciariam as informações coletadas, caracterização e medidas físicas sobre superfície de pavimentos.

1.1 Qualidade de serviços prestados pelos pavimentos

↘ A *avaliação do nível para qualidade de serviço prestado pela superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos*, do ponto de vista de clientes de vias, pode ser útil aos estudos sobre o nível de qualidade de viagem pelas vias no instante de avaliação, ou previsões ao longo do tempo. A análise sobre distribuições de respostas a entrevistas podem fornecer subsídios que auxiliem durante a tomada de decisões para orientar a programação de ações visando a melhoria do conforto e segurança de viagens pelas vias, ou seja, a melhoria do nível para qualidade de viagem.

Estudos e análises sobre dependência entre *variáveis que definam as relações entre notas atribuídas por usuários de vias urbanas ao nível para qualidade de superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos* poderão contribuir para identificar informações necessárias às operações para gerência dos níveis para qualidade de serviços prestados pelas rodovias.

As informações obtidas a partir de análise sobre o conjunto de parâmetros estatísticos característicos de distribuição de notas atribuídas por usuários sobre o comportamento de superfície de pavimentos podem contribuir para:

- a) Ampliar a confiança nas próprias avaliações;
- b) Diminuir custos operacionais, aumentar o conforto e segurança das viagens;
- c) Contribuir para controle de processos construtivos, de manutenção e especificação técnica;
- d) E, aumentar a disponibilidade de métodos para interpretação de resultados obtidos em levantamentos de dados durante atividades para gerência de pavimentos.

Segundo HAAS & HUDSON, (1996) para que pavimentos cumpram sua finalidade deverão satisfazer a necessidade de viagens seguras, econômicas e confortáveis de clientes da via. Os administradores de pavimentos devem empreender ações para otimizar os resultados de planejamento e programação, projeto, construção, manutenção e desempenho de pavimentos. Para que isso aconteça é necessário respostas às seguintes questões:

- a) *“Quais são os clientes de serviços dos pavimentos e de gerência de pavimentos? O que eles têm em comum e em que diferem?”*
- b) *“Pode-se medir e avaliar a satisfação de clientes de vias?”*
- c) *“A satisfação dos clientes pode ser maximizada através de ações específicas?”*.

Se o pavimento fosse uma empresa, atender corretamente as necessidades, expectativas e desejos de clientes, através de prestação de serviços, seria um sucesso de “negócios da rodovia” se o tráfego de veículos fosse confortável e seguro do ponto de vista de usuários.

Uma empresa, para ser bem sucedida nos negócios, precisa ofertar o que o cliente deseja. O sucesso nos negócios é alcançado quando a empresa identificar vontades, necessidades, atitudes e tendências de compra de clientes. Os dirigentes de empresa devem concentrar-se no que (e como) o cliente deseja consumir, e a partir daí, criar um nível de serviço para atender as expectativas do consumidor (ALBRECHT & BRADFORD, 1992).

Ainda, segundo ALBRECHT & BRADFORD (1992), a distribuição de resultados de entrevista são o tipo mais fundamental de dados qualitativos que regem a aproximação ao cliente pelas empresas.

As distribuições de ocorrências de características de variáveis que refletem desejos, expectativas e necessidades de clientes interessados em bens ou serviços podem ter propriedades identificadas através de estudos sobre distribuições de opiniões expressas por observações sobre um conjunto de indivíduos. A entrevista pode ser uma ferramenta útil para fornecer distribuições de dados para estimativa de parâmetros estatísticos característicos dessas distribuições (FELEX, 1984).

Diz-se que um *serviço tem qualidade* quando o seu produto atende as necessidades e expectativas de clientes. A medida da qualidade de um serviço pode ser efetuada através de estudos sobre o índice conhecido como *nível para qualidade de dado produto ou serviço*. Por exemplo, a porcentagem de indivíduos satisfeitos com o tráfego de veículos por uma rodovia. O atendimento às necessidades e expectativas de clientes pode ser classificado através de uso de índices definidos de maneira e processos para estimativa diferenciados.

Segundo JURAN (1992), o controle do nível para qualidade exige comunicações claras entre clientes e fornecedores. Essas informações podem ser transmitidas por palavras. Porém, para controle e orientação de decisões são necessários números - *índices de medida do nível para qualidade de produtos ou serviços*.

Os principais clientes de rodovia podem ser motoristas e passageiros. Porém, existem outros, como moradores de vizinhança, empresários, políticos etc. Motoristas e passageiros (clientes) poderiam fornecer subsídios que condicionem as decisões e as ações de administradores públicos e, as premissas quanto a qualidade dos serviços prestados pelos operadores de transportes públicos (FELEX, 1984).

Os clientes de vias esperam que sejam atendidas suas necessidades e expectativas de conforto, segurança e economia, somados ao conforto ambiental na viagem – pouco de poluição sonora, etc. Nas vias, isso é obtido através de qualidade pela superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos – o serviço prestado pela superfície às viagens - que se reflete no volume de vibrações e ações que pneus e pavimento transmitem entre os veículos e a estrutura das rodovias.

Há dois principais pontos de vista para análise do nível para qualidade - a *especificação técnica*, e, a *satisfação do cliente*. Ter *alto nível de qualidade técnica*, ou, *alta qualidade* são os jargões usados para tentar expressar que determinado produto ou serviço atende a dado conjunto de especificações. Ter *alto nível de qualidade do ponto de vista de clientes*, ou *grande qualidade*, podem ser jargões úteis para expressar o volume de atendimento às expectativas de clientes.

Mas, cuidado: poderá não existir relação entre especificação técnica e a satisfação de clientes. De que adiantaria especificar um lavatório instalado de cabeça para baixo, no teto do banheiro? Se o serviço fornecido for “instalar um lavatório”, não seria atendido qualquer cliente!

Índices para avaliar o nível para qualidade de serviço prestado pela superfície de pavimentos ao tráfego de veículos, obtidos a partir de opiniões de usuários são necessários, porém não suficientes para representar o nível para qualidade de superfície de pavimentos. Se analisarmos os conceitos contidos em ASTM (1991), outros tipos de informações podem auxiliar aos técnicos durante a tomada de decisões em atividades de gerência de pavimentos, por exemplo: caracterizar superfícies de pavimentos a partir de dados sobre defeitos e uso de índices que possam estimar o nível para qualidade dessas superfícies.

1.2 Características de superfície de pavimentos e satisfação de clientes da via

Os pavimentos são dotados de características que podem refletir o grau de satisfação de clientes que viajem pela via. Segundo HAAS & HUDSON (1996), as características ou medidas físicas de pavimentos que influenciam a satisfação de motoristas e passageiros que viajam pelas rodovias podem ser:

- a) Qualidade de viagem;
- b) Defeitos na superfície de pavimento;
- c) Projeto estrutural adequado;
- d) Atrito da superfície de pavimento;
- e) Drenagem superficial,
- f) Ruídos;
- g) Perdas de tempo, geradas pelas atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos e outros;
- h) Custo e benefícios em dispêndios em ações para minimizar os custos de transporte, reduzir a emissão de poluentes e perda de tempo e manutenção e reabilitação, etc.

O processo de avaliação de nível para qualidade do serviço ao tráfego de veículos pela superfície de pavimento é complexo porque envolve o estudo da interação entre três entes: o veículo, o perfil longitudinal da superfície de tráfego da rodovia, e as sensações de motoristas e passageiros.

Os resultados de processos de avaliação são *índices* que exigem um processo de medida. Esses processos pode consistir-se em:

- a) Definir uma variável e uma unidade de medida, ou contagem: uma quantidade definida associada à ocorrência de alguma característica de qualidade;
- b) Um método ou instrumento – que possa contribuir para a avaliação e identificação de características de qualidade em números, isto é, em termos da unidade de medida (JURAN, 1992).

As notas atribuídas por usuários podem ser fundamentos de processos para associar o pavimento, ente físico, com a satisfação de motoristas e passageiros, durante tentativas de montar arcabouços práticos, ou teóricos de processos para avaliação do comportamento de superfície de pavimento porque:

Durante o movimento de veículos, as *vibrações*, transmitidas pela suspensão, são um estímulo físico que provoca sensações contínuas no usuário que viaja por rodovia. Essas vibrações são provocadas pelo contato entre pneus e pavimento durante o movimento de veículos. Como a vibração é transmitida de diferentes formas, nem sempre é sentido o mesmo volume de reações pelo usuário ao repetir o tráfego de veículo em dado trecho. As sensações dos usuários podem ser transformadas em notas. As diferenças entre notas atribuídas, por um único, ou diferentes indivíduos definem médias, variâncias e outras estatísticas que caracterizam os parâmetros de controle das distribuições de notas sobre o comportamento de pavimentos (NAIR & HUDSON, 1986).

As notas sobre o comportamento de superfície de pavimentos durante tráfego de veículos devem ser analisadas com aplicação de conceitos provenientes da Psicologia. Os engenheiros têm pouca, ou nenhuma, experiência na identificação de informações a partir desses conceitos, e isso pode impor limitações à avaliação de serviços da superfície dos pavimentos através de notas de motoristas e passageiros de vias (HUDSON, 1991).

Durante o processo de formação da nota, o avaliador recebe como estímulos psicológicos: as ações do experimentador, as instruções pelo pesquisador e os estímulos externos do próprio objeto a ser avaliado. Esses estímulos são processados na mente do avaliador - percebidos, passam a existir no conjunto de percepções pelo avaliador e usados para atribuir a nota. A figura 1 ilustra essas afirmativas.



Figura 1 - O processo de formação da nota pelo avaliador.
FONTE: NAIR & HUDSON (1986)

O processo de formação de juízos pelos avaliadores, que leva às notas em avaliações de nível para qualidade de viagem, pode ser influenciado por três características distintas das relações entre as sensações de motoristas e passageiros ao movimento de veículos pelo pavimento (HUDSON, 1991):

- a) *Reação ao movimento*, caracterizada pela forma de interação entre o pavimento, o veículo, e o usuário para uma velocidade;
- b) *Aparência*, relacionada pela soma de características de aparência da superfície do pavimento, como defeitos, cor, estado de conservação, acostamento, etc.;

- c) *Segurança aparente*, atribuída principalmente ao atrito da superfície, mas recebe influência de variáveis como cor e textura da superfície, visibilidade e sinalização horizontal.

Segundo NAIR & HUDSON (1986), a *influência das percepções de avaliadores individuais* nas notas atribuídas pode provocar desvios na distribuição de dados sobre o comportamento de pavimentos ao tráfego de veículos. Os principais tipos de erros e sugestões para minimizar a influência dessas variáveis estão a seguir:

1. *Leniência*: Tendência de avaliadores atribuírem notas altas ou baixas, independente da causa. A variância pode ser um parâmetro estatístico útil para correção dessa tendência;
2. *Halo*: A tendência de avaliadores forçarem a nota de um atributo particular em uma direção. A definição clara e correta dos objetos pode contribuir para minimizar esse efeito na distribuição de notas;
3. *Centralidade*: A hesitação de avaliadores atribuírem notas extremas, somada à tendência de atribuírem notas em torno da média do grupo para avaliação. Cuidados ao diferenciar juízos sobre variáveis de estimulação sobre avaliadores pode minimizar esse efeito;
4. *Ancoragem*: refere-se ao poder de atração de pontos extremos da escala de avaliação. Pode-se minimizar esse efeito definindo os conceitos com acurácia.

Segundo JANOFF(1988), no *NCHRP Project 1-23* relatam-se resultados de estudo sobre a significância de variáveis nas explicações sobre o comportamento de superfície de pavimentos que poderiam influenciar a distribuição de notas atribuídas por usuários: as dimensões dos veículos, o tipo de rodovia e os tipos de pavimentos (flexíveis e rígidos) não exercem influência significativa sobre as distribuições de notas atribuídas por

motoristas e passageiros. *Mas, a irregularidade longitudinal de trilhas das rodas é significativa para a média de notas em grupo de avaliadores.*

NAIR & HUDSON (1986) relatam também resultados de levantamento de dados para identificar a influência de variáveis da viagem sobre o pavimento nas notas de avaliadores. Essas variáveis se resumem na tabela 1.

Tabela 1 - Influência de variáveis da viagem sobre as notas de qualidade para viagem em pavimentos. FONTE: NAIR & HUDSON (1986)

VARIÁVEL	EFEITO SOBRE AS NOTAS
Posição no assento do veículo	Não significativo
Sexo, idade e profissão do avaliador	Não significativo
Período de avaliação (dia/noite, manhã/tarde)	Não significativo
Função no carro	Não significativo
Velocidade do veículo	Não significativo
Diâmetro da roda do veículo	Significativo
Tamanho do veículo	Significativo
Fadiga do avaliador	Significativo
Tipo de pavimento	Significativo
Estado de manutenção do pavimento	Significativo
Textura da superfície de pavimento	Não significativo
Localização da rodovia	Não significativo
Largura da pista	Não significativo
Acostamento	Não significativo

Essas variáveis de descrição da superfície de pavimento, que influenciam a satisfação de clientes de vias, podem assumir vários níveis de significância quanto à determinação dessa satisfação, que podem ser classificados em baixo, médio ou alto, de acordo com a origem do cliente. A tabela 2 expõe um resumo sobre as conclusões de HAAS & HUDSON (1996).

HAAS & HUDSON (1996) relatam também que a qualidade de viagem explicaria 25% da satisfação de motoristas e passageiros, enquanto que os defeitos de superfície de pavimentos explicaram 20%. Outras características

explicaram entre 5% e 10%. Concluiu-se que a qualidade de viagem (como esperavam os pesquisadores) é a característica de pavimento que mais influencia a satisfação de clientes que viajam pelas rodovias. A figura 2 ilustra o exposto pelos autores.

Tabela 2 – Influência de variáveis relacionadas com a origem do cliente de rodovias na satisfação de motoristas e passageiros

Classe Funcional	Tipo de Clientes	Qualidade De Viagem	Defeitos de Superfície	Resistência Estrutural	Atrito de Superfície
Rodovias Públicas	• Motoristas de automóveis e passageiros;	ALTO	MÉDIO	BAIXO	ALTO
	• Caminhoneiros e proprietários	ALTO	MÉDIO	BAIXO	ALTO
	• Motociclistas e ciclistas	ALTO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO
	• De Departamentos de Transporte	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	• Embarcadores de bens	ALTO	BAIXO	BAIXO	BAIXO
Rodovias Privatizadas	• Motoristas de automóveis e passageiros;	ALTO	MÉDIO	BAIXO	ALTO
	• Caminhoneiros e proprietários	ALTO	MÉDIO	BAIXO	ALTO
	• Empresas Privadas	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	• Embarcadores de bens	ALTO	BAIXO	BAIXO	BAIXO
Classe Funcional	Clientes	Drenagem Superficial	Ruído	Atrasos	Custos e Benefício
Rodovias Públicas	• Motoristas de automóveis e passageiros;	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO
	• Caminhoneiros e proprietários	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO
	• Motociclistas e ciclistas	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO
	• De Departamentos de Transportes	ALTO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
	• Embarcadores de bens	BAIXO	BAIXO	ALTO	BAIXO
Rodovias Privatizadas	• Motoristas de automóveis e passageiros;	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO
	• Caminhoneiros e proprietários	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO
	• Empresas Privadas	ALTO	BAIXO	MÉDIO	ALTO
	• Embarcadores de bens	BAIXO	BAIXO	ALTO	BAIXO

FONTE: HAAS & HUDSON (1996).

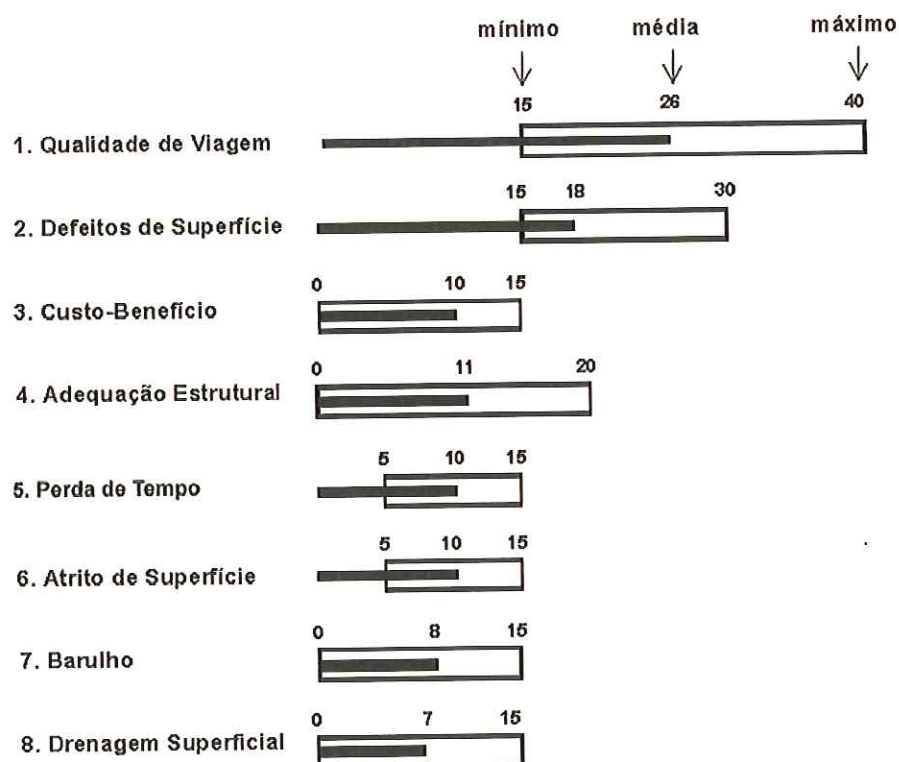


Figura 2 – Explicação de grau de satisfação de clientes de vias.
 FONTE: HAAS & HUDSON (1996)

1.3 Organização do trabalho

Além dessa introdução, a organização e conteúdo do trabalho apresentado podem ser resumidos como a seguir:

- a) No capítulo 2, relatam-se um *histórico sobre avaliação de nível para qualidade de superfície de pavimentos* para tráfego confortável e seguro de veículos, do ponto de vista de motoristas e passageiros, e o levantamento de características físicas (*defeitos*) que podem ocorrer em superfícies de pavimentos flexíveis e impor dificuldades ao tráfego;

- b) No capítulo 3, discutem-se a classificação do estado de superfície de pavimentos e *índices* para classificar o nível de qualidade dessas superfície para o tráfego de veículos;
- c) No capítulo 4 estão descritos e discutidos os conceitos de estatística aplicados para análise de dados nesse trabalho;
- d) No capítulo 5 listam-se e descrevem-se as ações para obter os dados para avaliação de nível de qualidade de superfície de pavimentos, visando relacionar as características físicas da superfície de pavimentos com conforto e segurança do tráfego de veículos. As principais ações foram:
 - d.1. Seleção de segmentos de ruas no município de São Carlos para levantamento de dados;
 - d.2. Escolha e treinamento de avaliadores, atribuição de notas pelos avaliadores e levantamento de características físicas das superfícies dos segmentos sob observação;
 - d.3. São também relatados alguns itens da descrição estatística das informações obtidas nessa fase;
- e) No capítulo 6:
 - e.1. Descreve-se e relata-se padronização de índices para avaliação de superfície de pavimentos à escala proposta pelo HRB (1961),
 - e.2. Também, relatam-se resultados obtidos em um conjunto de testes de hipótese que se constituiu no arcabouço básico para as análises que levaram às conclusões do presente trabalho;
- f) No capítulo 7, expõem-se as conclusões e sugestões.

2 HISTÓRICO SOBRE AVALIAÇÃO DE NÍVEL PARA QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO

Neste capítulo, resume-se histórico sobre o estudo de nível para qualidade do comportamento da superfície de pavimento ao tráfego de veículos, conforto e segurança de viagem, do ponto de vista de motoristas e passageiros.

⁽¹⁾ Dentre as funções do engenheiro de pavimentos, está a avaliação do serviço prestado ao tráfego de veículos. É necessário conhecer o comportamento de pavimentos para fornecer critérios aos projetos, e estabelecer programas de manutenção e prioridades de uso de recursos ⇒ (YODER & WITZACK, 1975).

Segundo HUDSON (1991), um pavimento foi bem projetado e construído quando for capaz de suportar as cargas de tráfego, dimensionado com número de camadas e espessuras de componentes adequados. Esses critérios para análise são necessários, porém não suficientes - é necessário avaliar características e medidas da satisfação de usuários de vias.

Ainda, HUDSON (1991) afirmou: "Os técnicos em geral estão preocupados com trincas, tensões e deformações, isso pode levar à ignorância sobre variáveis relacionadas com motoristas e passageiros. E, isso é um erro. Os pavimentos tem um e apenas um objetivo: servir ao conforto e segurança de viagens". Essa asserção é equivalente a dizer que é necessário introduzir na mentalidade dos técnicos o estudo de características de atendimento à satisfação de motoristas e passageiros, o nível para qualidade de superfície de pavimentos.

Até 1960 era difícil encontrar uma resposta à pergunta: quais os níveis para qualidade de tráfego de veículos, conforto e segurança de viagem a superfície de pavimento que uma rodovia fornece, ou fornecerá, aos veículos durante sua vida útil? Isto é:

- a) Por quanto tempo a superfície do pavimento deve permanecer com dado grau de rugosidade. E, qual deve ser esse grau?
- b) Em outras palavras: quão confortável deve ser o tráfego de veículos sobre a superfície de pavimento?
- c) E, durante quanto tempo aquele componente da via deve fornecer conforto e segurança às viagens?

2.1 Bases para avaliação do comportamento de superfície de pavimentos

A primeira referência sobre *avaliação de comportamento da superfície de pavimentos* localizada é relatada por CAREY & IRICK (1960): "se dois engenheiros têm a tarefa de projetar um pavimento com materiais escolhidos, em mesmas condições ambientais e volumes de tráfego previstos para uma vida útil de 20 anos, um deles poderá considerar bem cumprida sua tarefa se nenhuma trinca aparecer no período de 20 anos, enquanto que o segundo estará satisfeito se um caminhão for capaz de rolar com conforto e segurança sobre a superfície do pavimento 20 anos após a data de construção do trecho observado".

Dentre os processos desenvolvidos para avaliar serventia de pavimentos estão a coleta periódica de volume de defeitos de superfície de pavimentos e avaliação do nível para qualidade através de notas atribuídas por usuários, conforme sugerido pelas conclusões de análise de estudos sobre os experimentos na pista experimental da AASHO, CAREY & IRICK (1960) e HRB (1961). O uso dos métodos ali propostos pode fornecer critérios para projetos ou manutenção de rodovias (YODER & WITZACK, 1975).

CAREY & IRICK (1960, p. 42), numa tentativa para desenvolver um índice para expressar o nível para qualidade de superfície de pavimentos, divulgaram a definição do conceito "*present serviceability*", em português, *serventia*: "o potencial de um trecho de pavimento servir ao tráfego de automóveis, caminhões e ônibus em alta velocidade" - definição válida para o instante presente, e não para o futuro ou passado. Convém frisar que "alta velocidade" refere-se a 60 milhas por hora, nos fins da década dos 50.

O tema *avaliação de serventia de pavimentos*, pode ser abordado de duas formas (HUDSON, 1991):

- a) A primeira das abordagens refere-se a avaliação da serventia atual da superfície do pavimento; isto é, "*Como o pavimento está servindo ao tráfego hoje?*"
- b) A outra envolve um tipo de avaliação mais útil para contribuir ao uso de técnicas de engenharia: avaliação mecânica da estrutura para estimar o desempenho do pavimento, isto é, "*Qual a condição física do pavimento hoje e que efeito pode-se esperar dessa condição sobre o desempenho futuro dessa rodovia?*".

Durante o levantamento de dados para avaliações, as notas atribuídas por cada avaliador, "*individual present serviceability rating*" foi definida como "uma nota independente atribuída por um único indivíduo em trecho de rodovia, marcando um valor específico numa escala específica" (CAREY & IRICK, 1960, p. 42). Um exemplo de escala de notas adotada para isso está ilustrado na figura 3.

Ao valor médio das notas atribuídas em avaliações individuais por um grupo de avaliadores denominou-se *Estimativa de Índice de Capacidade para Servir* ao tráfego de veículos da superfície de pavimento, valor mais provável (média) para o grupo de motoristas e passageiros que atribuíram as notas (do inglês, *Present Serviceability Rating - PSR*) – (CAREY & IRICK, 1960, p. 42)

Aceitável ?							
Sim	<input type="checkbox"/>					5	Ótimo
Não	<input type="checkbox"/>					4	Bom
Indeciso	<input type="checkbox"/>					3	Regular
						2	Ruim
						1	Péssimo
						0	
						AVALIAÇÃO	
Trecho Avaliado _____							
Avaliador _____		Data _____		Hora _____		Veículo _____	

Figura 3 – Escala de notas para avaliação individual de serventia.
 FONTE: CAREY & IRICK (1960)

O valor numérico de uma função expressa através de combinação linear de transformações sobre medidas de variáveis características da superfície de pavimentos, com coeficientes obtidos por análise de regressão foi denominada por CAREY & IRICK (1960, p. 42), *Present Serviceability Index (PSI)*, que optou-se por denominar, em português, *Índice de Serventia*. Essas funções podem ser usadas como expressões de modelos matemáticos para previsão a capacidade de servir ao tráfego com conforto e segurança sobre superfície de pavimentos.

O *PSI (Present Serviceability Index ou Índice de Serventia)* tem sido um dos índices mais usados - em suas formas original ou modificada - para avaliar serventia do pavimento (HUDSON , 1991). A variação do *PSI* ao longo do tempo pode ser definido como o *desempenho da superfície de pavimento*. Ou seja, a variação da capacidade de um pavimento atender ao tráfego seguro e confortável de veículos. Um bom desempenho é o que espera o usuário de via durante a vida útil do pavimento.

A melhor maneira de obter informações a partir do *PSI* é estudar a sua variação. Um gráfico que tem o *PSI* em ordenadas, e, em abcissas, o tempo ou o número de repetições de eixo-padrão que trafegou sobre o pavimento contém uma curva que é denominada *Curva de Desempenho da Superfície do Pavimento*, ou simplesmente *Curva de Desempenho*, ou com maior abuso de linguagem simplesmente *Desempenho* (que no nosso meio técnico é muitas vezes desacompanhado dos complementos *da Superfície de Pavimento*).

O conceito de desempenho de superfície de pavimento, como descrito por FWA & SINHA (1991), introduz o número de repetições de tráfego de carga equivalente a um eixo-padrão (do inglês, *ESAL - Equivalent Single-Axle Load*) e o *PSI* médio durante um intervalo de medida (n repetições) como um critério de análise para estudos sobre o comportamento da superfície de pavimentos.

A estimativa desse índice para medida do desempenho pode ser dada pela função:

$$(PPQI)_n = \frac{1}{(ESAL)_n} \int_0^{(ESAL)_n} (PSI) \cdot d(ESAL)$$

Função 1

Onde:

PPQI: *Pavement Performance Quality Index*;

PSI: *Present Serviceability Index*;

n: Média do intervalo de repetições do eixo padrão;

ESAL: *Equivalent Single-Axle Load*.

A figura 4 ilustra os conceitos de FWA & SINHA (1991).

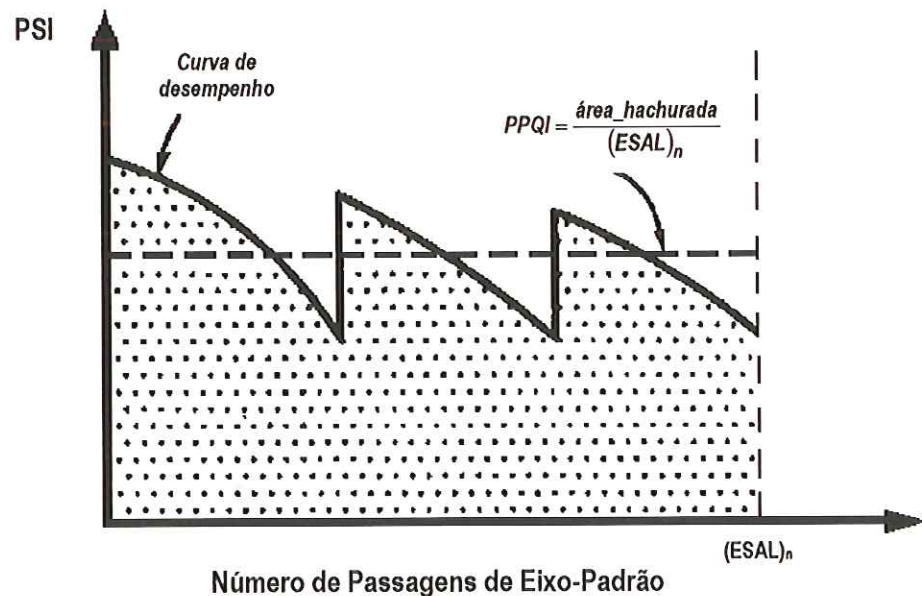


Figura 4 – Índice de desempenho de pavimento como medida principal do comportamento de superfície de pavimento. FONTE: FWA & SINHA (1991)

Os modelos matemáticos que representaram a variação do *PSI* em estudos sobre resultados obtidos na pista experimental da AASHO (HRB, 1961), funções cujos coeficientes podem ser estimados a partir de análises sobre parâmetros de descrição estatística de distribuições de ocorrências de medidas físicas (irregularidade e defeitos que ocorrem pavimento) podem ser descritos:

$$PSI = C + (A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots) + (B_1 \cdot D_1 + B_2 \cdot D_2 + \dots)$$

Função 2

Onde:

PSI: Present Serviceability Index;

R_i : Valores numéricos de funções da distribuição de medidas sobre a rugosidade longitudinal da superfície de pavimentos;

D_i : Valores numéricos de funções que expressem a distribuição de medidas de defeitos na superfície de pavimentos;

C, A_i, B_i : Coeficientes obtidos por análise de regressão pelo método de mínimos quadrados.

A análise sobre os resultados da pista experimental da AASHO levou à conclusão de que médias de notas atribuídas por avaliadores explicava o *Índice de Serventia*, a menos de um desvio que não pode ser explicado pelas características físicas (irregularidade e defeitos) do pavimento. Assim, o *PSR* para a *j*-ésima de uma série de seções de pavimentos pode ser estimado pelo seguinte tipo de função:

$$PSR_j = PSI_j + E_j$$

Função 3

Onde:

PSR_j = Present Serviceability Rating

PSI_j = Present Serviceability Index

E_j = o erro de estimativa.

A análise de regressão sobre os dados levantados, forneceu (HRB, 1961, pp. 295-306) as seguintes funções para estimativa de índice de serventia de superfície de pavimentos flexíveis e rígidos na pista experimental da AASHO:

a) Para pavimentos flexíveis:

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

Função 4

b) Para pavimentos rígidos:

$$PSI = 5,41 - 1,78 \cdot (1 + \overline{SV}) - 0,09 \cdot \sqrt{C + P}$$

Função 5

Onde:

PSI : Present Serviceability Index;

\overline{SV} : Média das variações de cotas entre estacas consecutivas, distantes entre si de 1 pé na trilha de roda (multiplicado por 10^6);

- \overline{RD} : Média das profundidades das trilhas das rodas de veículos (polegadas);
- C: Índice de trincamento para pavimento flexível, estimado a partir da ocorrência de áreas com trincas transversais e longitudinais ditas "classe 2" e "classe 3" pela AASHO na década dos 60, e de comprimento de trincas longitudinais por área ($\text{pés}^2/1000 \text{pés}^2$);
- C: No caso de pavimento rígido, estimado a partir de comprimentos de trinca ditas "classe 2", e seladas, somadas a áreas com quebras maiores que 3 polegadas de diâmetro ($\text{pés}^2/1000 \text{pés}^2$);
- P: Índice de remendos no pavimento ($\text{pés}^2/1000 \text{pés}^2$);

Os valores numéricos dessas funções são de estimativa relativamente simples, e dependem de características físicas de pavimento que podem ser medidas com facilidade. *Porém, ressalta-se que as funções propostas refletem as características e relações ocorridas na pista experimental da AASHO, para aquele período de estudo (HRB, 1961).*

No Brasil (DNER, 1978b, p. 01), o conceito *serventia* é definido como "a capacidade de um trecho específico de pavimento de proporcionar, na opinião do usuário, tráfego suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego".

Para expressar um índice *serventia*, o procedimento DNER PRO 07/78 (DNER, 1978b, p. 01) define *Valor de Serventia Atual (VSA)* como "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 a suavidade e conforto".

Partindo do escrito por CAREY & IRICK (1960), e, apesar de o texto em inglês conduzir a versões para o português que podem ser diferentes das propostas contidas em DNER PRO 07/78 (DNER, 1978b, p. 01), admite-se o VSA como o valor mais próximo em termos conceituais a *Present Serviceability Rating*.

Denomina-se *Índice de Serventia Atual (ISA)*, DNER PRO 07/78 (DNER, 1978b), "a medida objetiva de Serventia Atual, na mesma escala do VSA, feita com escala apropriada". Admitiu-se que essa é a adaptação do conceito *Present Serviceability Index (PSI)* para o Brasil.

A tabela 3 resume e descreve o conjunto de normas do DNER usado para avaliação de superfície de pavimentos e comportamento de pavimentos em relação ao tráfego de veículos.

Tabela 3 - Especificações do DNER para avaliação de pavimentos.
FONTE: DNER (1978a, 1978b, 1978c, 1979, 1983a, 1986)

Referência	Assunto
DNER - TER 01/1978	Define os termos empregados em defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos
DNER - PRO 07/1978	Fixa as condições exigíveis na avaliação da superfície de pavimentos com base no valor da serventia atual
DNER - PRO 08/1978	Fixa as condições exigíveis na avaliação de pavimentos rodoviários dos tipos flexíveis e semi-rígidos, mediante a contagem e classificação de ocorrências aparentes e de medidas das deformações
DNER - PRO 10/1979	Estabelece os procedimentos necessários para a avaliação estrutural de pavimentos flexíveis existentes, aponta as causas de suas deficiências e fornece elementos para o cálculo da vida restante de um pavimento
DNER - PRO 128/1983	Define o procedimento a ser utilizado no levantamento da condição de superfície de segmentos testemunha de rodovias
DNER - ES 173/1986	Define o procedimento a ser aplicado na levantamento de irregularidade de segmentos de rodovia através do método do nível e mira.

Os resultados de levantamentos de dados para avaliação de superfície por usuários podem ser bons indicadores do estado de conservação de pavimentos. A serventia pode ser um índice útil para classificar, numa escala de 0 a 5 - expressando condições de péssimo a ótimo - o atendimento a expectativas e desejos de clientes da rodovia, o nível de qualidade de viagem, defeitos e necessidades de manutenção ou reabilitação do pavimento (AL-OMARI & DARTER, 1994). A tabela 4 resume uma sugestão para classificação de superfície de pavimentos através de processamento de estimativas para a serventia.

Tabela 4 – Sugestão para avaliação de nível para qualidade em superfície de pavimentos a partir da serventia. Fonte: AL-OMARI & DARTER (1994)*

Intervalo de Serventia	Dados para classificação de pavimentos
4,0 a 5,0 (ótimo)	Pavimentos recém-construídos ou recapeados. Têm superfície suficientemente lisa e livre de defeitos (trincas, remendos, etc.)
3,0 a 4,0 (bom)	Pavimentos com superfície rugosa, e alguns sinais de deterioração. Pavimentos flexíveis podem exibir trilhas das rodas de veículos e pequenas trincas. Pavimentos rígidos, podem surgir trincas ou quebras nas juntas.
2,0 a 3,0 (regular)	A qualidade de viagem é inferior a do pavimento novo, e apenas tolerável para o tráfego em alta velocidade. Nos pavimentos flexíveis, defeitos como afundar trilhas de roda, trincas e grandes remendos. Em pavimentos rígidos: defeitos nas juntas, falhas transversais e trincas, e sinais de bombeamento de água para a superfície a partir das camadas mais profundas do pavimento.
1,0 a 2,0 (ruim)	Pavimento deteriorado em 50%, ou mais da superfície, o que afeta a velocidade do tráfego. Nos pavimentos flexíveis ocorrem defeitos como painelas, trincas, desgaste, afundamento de trilhas de roda. Nos rígidos ocorrem quebra nas juntas, falhas transversais, remendos, trincas, escamação, podendo incluir bombeamento.
0,0 a 1,0 (péssimo)	Pavimento muito deteriorado, com rupturas em 75%, ou mais, da superfície. Viagem desconfortável e em baixa velocidade. Presença de grandes painelas e trincas.

(*) É discutível a validade dessas sugestões para o Brasil - dados e conceitos utilizados podem ser diferentes do previsto pelo DNER e outros no Brasil

Para processamento, retirada de informações e manuseio de dados para avaliar segmentos de vias pode ser uma tarefa difícil, porque exige a coleta de grande volume de dados. Também é necessário identificar relações entre as distribuições de notas fornecidas em avaliações por usuários com distribuições de valores de medidas sobre variáveis a partir de medidas físicas de características de superfície e/ou estrutura do pavimento para uso tecnológico.

Para identificar quais as distribuições de medidas sobre características físicas do pavimento seriam as variáveis que explicam as relações entre o comportamento da superfície de pavimento e suas condições físicas, os estudiosos sobre as notas atribuídas por usuários ao nível de serviço prestado pela superfície de pavimento da pista experimental da AASHO analisaram, através de análise de regressão, a dependência das distribuições de respostas a avaliações por usuários com as medidas de características físicas de pavimentos (HRB, 1961, pp. 295-306).

A especificação DNER ES 173/86 define *irregularidade*: "o desvio de pontos da superfície de pavimento de rodovia em relação a um plano horizontal de referência" (DNER, 1986, p. 02). A variável *irregularidade* afeta a dinâmica, a qualidade de tráfego de veículos e as conseqüências de ações de cargas dinâmicas transmitidas à via. Os efeitos da *irregularidade* são sentidos pelos clientes de vias durante as viagens, e as sensações de segurança e conforto podem ser associadas às acelerações verticais.

Dentre as variáveis usadas para descrição da superfície de pavimentos, nos estudos para relacionar as sensações de motoristas e passageiros durante o tráfego de veículos por vias, a *irregularidade longitudinal e transversal de trechos e seções de pavimento* parece explicar grande parcela das relações entre as distribuições de notas atribuídas por usuários em avaliações de nível para qualidade de tráfego de veículos sobre a superfície de pavimento.

Em análises sobre dependência entre variáveis de descrição de superfície de pavimentos e suas relações com notas atribuídas por usuários, CAREY & IRICK (1960) concluíram que a irregularidade explicaria aproximadamente 95% da variância na distribuição de resultados de notas atribuídas por usuários de vias durante levantamento de dados para avaliação de serventia.

Distribuições de outras medidas físicas que caracterizem a superfície do pavimento – defeitos, como trincas, remendos e falhas - têm pequeno poder de explicação sobre a distribuição das notas atribuídas por usuários (CAREY & IRICK, 1960).

A irregularidade pode ser medida no campo por levantamentos diretos sobre a superfície do pavimento, ou processada através de aparelhos de resposta mecânica - destacam-se ente eles os *RTRRMS*, “response type road roughness measuring systems”, “medidores de irregularidade tipo resposta” - equipamentos que medem a amplitude de movimento relativo entre o corpo de veículo e o eixo, ou usam acelerômetros para medir respostas ao movimento de corpo ou eixo de viaturas. Isso mede indiretamente as solicitações de veículo pela irregularidade.

No Brasil [DNER PRO 159/85, DNER (1985)] recomenda-se a medida de irregularidade por aparelhos medidores de irregularidade do tipo resposta - tais como o “Integrador IPR/USP” ou o *Maysmeter*. “As leituras devem ser fornecidas a um intervalo entre 200m e 400m, o mais comum é 320m”. O *RTRRMS* é nomeado *AMITR* (aparelho medidor de irregularidade tipo “resposta”), e deve “ser calibrado com o método de nível e mira”, QUEIROZ (1984) - e isso foi especificado em DNER ES 173/86 [DNER (1986)].

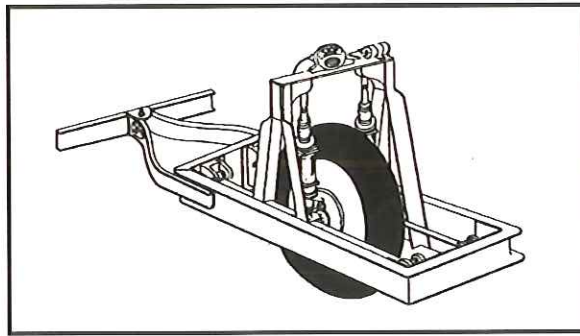


Figura 5 –Medidor de irregularidade BPR

A figura 5 ilustra o “medidor de rugosidade BPR”, uma das mais importantes contribuições à medida de irregularidade introduzidas pelo *Bureau of Public Roads*. A figura 6 ilustra o mais popular dos medidores de irregularidade tipo resposta usado nos Estados Unidos, o *Mays Ride Meter*, “*Maysmeter*”, desenvolvido pelo *Texas Highway Department* na década dos 60 - trata-se de uma haste acoplada ao eixo de um veículo e a um transmissor no corpo do veículo.

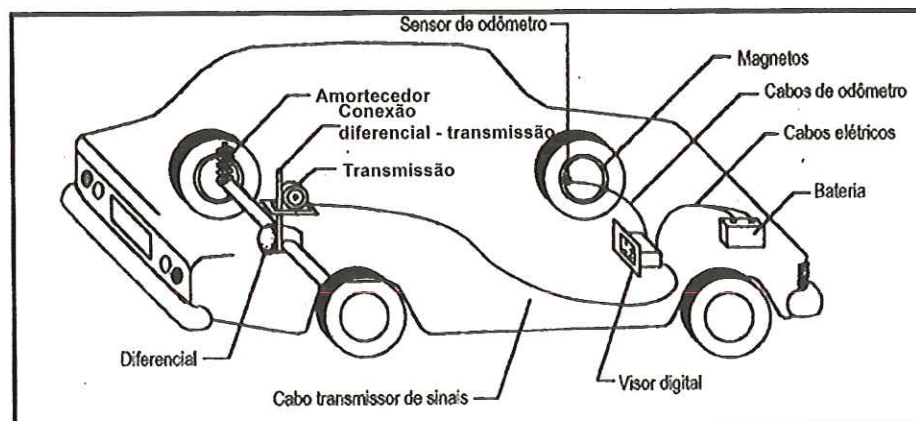


Figura 6 - O Maysmeter

As cotas que representariam o perfil longitudinal da superfície de um pavimento são alturas que não podem ser usadas diretamente para o estudo da irregularidade; devem ser processadas e filtradas de alguma maneira para produzir uma representação inteligível da irregularidade.

Segundo HUTCHINSON (1966) as primeiras tentativas de resposta a essa questão usavam técnicas para filtragem digital que tinham o objetivo de identificar comprimentos e amplitudes de ondas que descrevessem a irregularidade. HUDSON *et al.* (1984) relata que dentre principais produtos estão: a simulação tipo *quarter-car*, e a aceleração vertical média quadrática.

A simulação tipo *quarter-car* foi desenvolvida para cumprir tentativa de obter modelos que representassem as sensações dos usuários quando se usasse como equipamento de análise como medidor de rugosidade *BPR*. A figura 7 ilustra o modelo para simulação das solicitações em um medidor de rugosidade *BPR* conforme GILLESPIE *et al.* (1980).

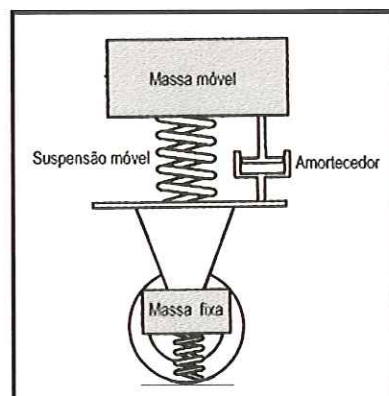


Figura 7 - O modelo quarter-car

O modelo físico adotado para o *quarter-car* constituiu-se de uma massa móvel (o corpo de veículo), uma suspensão móvel com amortecedor e um conjunto fixo (suspensão, pneu e eixo) e uma constante elástica do pneu.

Se:

z é uma cota de um ponto na superfície do pavimento;

z_u é a cota da massa fixa (eixo, etc.);

z_s é a cota da massa móvel (corpo do veículo);

k_p é a constante elástica do pneu;

k_s é a constante elástica da suspensão;

C_s é constante de absorção de choque;

M_u é massa fixa (eixo, etc);

M_s é a massa móvel.

E, usando-se “.” (ponto) como notação para primeira derivada, e “..” (dois pontos), para notação da segunda derivada, então:

$$M_s \ddot{z}_s + C_s \left(\ddot{z}_s - \dot{z}_u \right) + k_s (z_s + z_u) = 0, \quad e,$$

Função 6

$$M_s \ddot{z}_s + C_s \ddot{z}_u + k_s (z_u + z) = 0$$

Função 7

O parâmetro estatístico para controle obtido por integração das equações anteriores é conhecido por QCS (*Quarter-Car Statistics*):

$$QCS = \frac{1}{C} \int_0^T \left| \dot{z}_s - \dot{z}_u \right| dt$$

Função 8

Hoje, a integração da expressão acima exposta é simples porque há muitos programas de computador que podem processar dados com simplicidade.

2.2 Generalização de conceitos sobre avaliação de pavimentos

Desde o início do século, os estudiosos de física associada ao movimento de veículos vêm tentando identificar a influência de forças e acelerações nas sensações de conforto que usuários de transportes relatam sobre o tráfego pelas vias. E isso introduziu entre os técnicos a crença de que passageiros e condutores associam o conforto ao tráfego de veículos com as acelerações verticais a que são submetidos. Ou, que as solicitações à via atribuídas ao tráfego, à própria via e aos veículos, são funções dessas acelerações. Ações da irregularidade de superfície de pavimento podem ser associados às acelerações verticais de veículo em movimento.

Pesquisadores sobre a irregularidade [HASS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994), pp. 81-107] vêm tentando generalizar os índices, métodos e processos para estudo dessa variável. Isso tem levado a diversas vertentes na obtenção e processamento de dados sobre as relações entre a irregularidade e o conforto nas vias.

HASS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994), ao comentar as teorias associadas, e descrever medidores de irregularidades de superfícies de pavimentos, relatam e analisam a dedução clássica para a obtenção da *root mean square vertical acceleration - RMSVA*, (aceleração vertical média quadrática) ao valor estimado para apenas uma observação, denominaremos "aceleração vertical durante o deslocamento ponto a ponto", ou mais simples ainda "aceleração vertical" - uma das principais informações que podem ser usadas durante estudos sobre relações entre as sensações de conforto e segurança com o tráfego de veículos do ponto de vista de motoristas, a capacidade para servir.

A aceleração vertical é usada para estudos sobre o medidor de irregularidade de superfície de pavimentos conhecido por *Maysmeter*, ou a influência da distância entre eixos, ou pontos de apoio de equipamentos para estimativa da irregularidade [SRINIWARAT (1982); McKENZIE & HUDSON (1982); HASS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994)] - análises que podem ser consideradas como as principais tentativas de obtenção de índices de capacidade para servir generalizados, muitos dos quais já em uso nos Estados Unidos, com eficiência. McKENZIE & SRINARAWAT (1978) e McKENZIE & HUDSON (1982) usaram a análise espectral para medir acelerações verticais e calibrar medidores de irregularidade do tipo "resposta".

Uma representação simples do perfil longitudinal da superfície do pavimento pode ser resumida conforme figura 8.

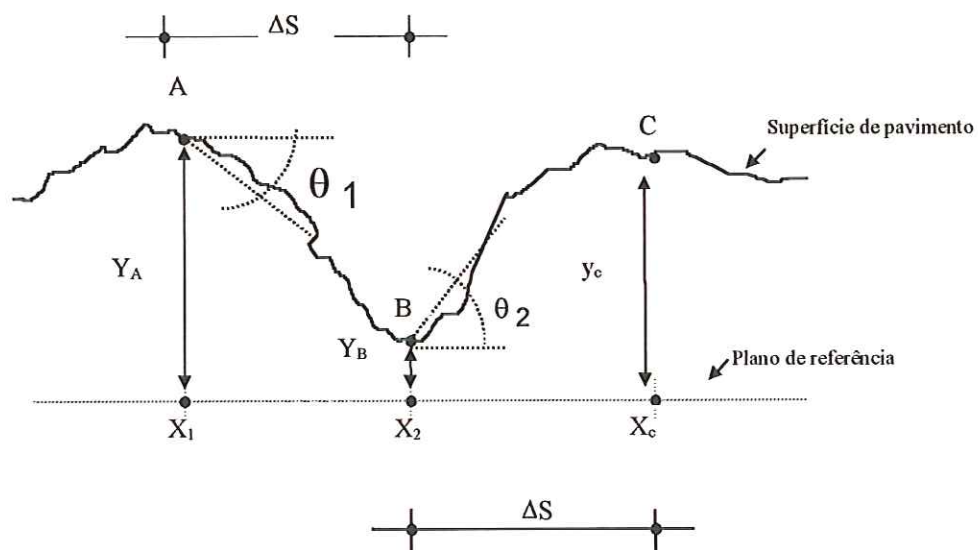


Figura 8 - Perfil longitudinal de pavimento para análise da aceleração vertical. Adaptado de HASS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994)

Assumindo que pontos de uma linha longitudinal da superfície de pavimento, (X_1, X_2, \dots, X_n) , igualmente espaçados, de espaçamento horizontal ΔS , e cotas (Y_A, Y_B, \dots, Y_n) , teríamos:

Declividade em A, porque θ é pequeno, é:

$$\frac{Y_A - Y_B}{\Delta S} = |\theta_1|$$

Função 9

Declividade em B:

$$\frac{Y_C - Y_B}{\Delta S} = |\theta_2|$$

Função 10

A variação de declividade é:

$$\theta_2 - (-\theta_1) = \theta_2 + \theta_1 = \Delta\theta$$

Função 11

E,

$$\Delta\theta = \frac{Y_C - Y_B + Y_A - Y_B}{\Delta S}$$

Função 12

A variação da declividade em relação à distância é:

$$\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta S}\right)_B = \frac{(Y_C - Y_B) - (Y_B - Y_A)}{\Delta S^2}$$

Função 13

$\frac{\Delta\theta}{\Delta S}$ é a estimativa da segunda derivada, assim a *aceleração vertical* é:

$$\left[\sum_{i=2}^{n-1} \frac{\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta S}\right)_i^2}{n-2} \right]^{0,5} = \sum_{i=2}^{n-1} \left[\frac{\{(Y_{i+1} - Y_i - (Y_i - Y_{i-1}))\}^2}{(n-2)\Delta S^4} \right]^{0,5}$$

Função 14

Onde:

n é o número de pontos da superfície de pavimento observados;

ΔS é o espaçamento entre os pontos analisados;

Y_i é a cota no ponto i .

Entretanto, para calibrar equipamentos durante estudos e pesquisas específicos, pode-se adotar o levantamento das elevações de perfil da superfície do pavimento através do uso de nível e mira. Para exemplo, a especificação DNER-ES-173/86 [DNER (1986)].

O DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER) e a EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES (GEIPOP) efetuaram na década de 70 um conjunto de estudos para identificação de métodos e processos de determinação da irregularidade de pavimentos. Os resultados foram discutidos principalmente por QUEIROZ (1984), e, no que se refere ao levantamento com nível e mira, estão sintetizados na Norma DNER ES 173/86 [DNER (1986)].

A norma DNER ES 173/86 [DNER (1986)] define os processos, materiais e equipamentos para levantamento de irregularidade de trechos de rodovia através do método nível e mira. O método é proposto para calibrar medidores de irregularidade tipo resposta e medida de irregularidade em trechos de pavimentos. Fixa a Norma DNER ES 173/86:

- a) As estacas para controle, inteiras serão de 5 em 5m;
- b) As estacas intermediárias de 0,50 em 0,50m;
- c) Deve-se implantar uma referência de nível;
- d) O nível deve estar preferencialmente sobre o alinhamento a nivelar.

O termo *distância de base* é usado para referência aos comprimentos de onda que, nos estudos de análise de solicitações aos veículos e seus passageiros [GILLESPIE *et. al.* (1980)] passaram a ser adotados como padrão de estudos de irregularidade após os estudos com o modelo *quarter-car*.

E, se b é o comprimento da base; S é distância entre duas cotas consecutivas, N , o número de cotas levantadas, então:

$$SB_i = \frac{Y_{i+k} - 2Y_i + Y_{i-k}}{(kS)^2}$$

Função 15

Para Y_i = cota num ponto qualquer, e:

$$k = \frac{b}{S}$$

Função 16

E a estimativa da derivada segunda do espaço vertical no ponto i [QUEIROZ (1984), p. 112], ou seja, aceleração vertical no ponto i , é dada por:

$$VA_b = \left[\sum_{i=k+1}^{N-k} \frac{(SB_i)^2}{N - 2k} \right]^{0.5}$$

Função 17

A unidade para medir a irregularidade adotada é o *quociente de irregularidade*, QI , expresso em contagens/km. O quociente de irregularidade, QI , é estimado pela fórmula:

$$QI = -8,54 + 6,17 \cdot VA_{1,0} + 19,38 \cdot VA_{2,5}$$

Função 18

Onde:

$VA_{1,0}$: aceleração vertical média quadrática, referente a uma distância de base igual a 1,00m;

$VA_{2,5}$: aceleração vertical média quadrática, referente a uma distância de base igual a 2,50m.

Convém ressaltar que, segundo a especificação DNER ES 173/86 [DNER (1986)], o QI tem uma expressão matemática de estimativas de irregularidade, mas, segundo a especificação DNER PRO 159/85 [DNER (1985)], página 05/34, o QI é uma vaga referência, e “a irregularidade deve ser medida em ambas as faixas de tráfego por meio de medidores tipo resposta, tais como o Integrador IPR/USP ou o Maysmeter”.

2.3 Sobre o uso de notas atribuídas por usuários

Após CAREY & IRICK (1960), outros autores usaram notas atribuídas por usuários à avaliação de superfície de pavimentos. Por exemplo, NAIR & HUDSON (1986), JANOFF (1986), GARG *et al.* (1988), FWA & GAN (1989), GUALDA *et al.* (1992), AL-OMARI & DARTER (1994) e GULEN *et al.* (1994) usaram notas para estimar índices que expressassem o nível para qualidade de tráfego de veículos sobre superfície de pavimentos. Assim:

Um grupo de 20 usuários avaliou o nível de qualidade de viagem em trechos de rodovias no Estado do Texas, EUA. NAIR & HUDSON (1986) usaram esses dados para propor modelos de estimativa da serventia de pavimentos.

JANOFF (1986) descreve estudo feito para *National Cooperative Highway Research Project 1-23*, cujo objetivo foi expressar as relações entre notas ao nível de qualidade das viagens obtidas em um painel de usuários com resultados de medidas sobre perfis de trechos de superfície de pavimentos. O experimento foi conduzido em 52 segmentos de vias em Ohio, e incluiu 18 pavimentos flexíveis, 17 rígidos e 17 semi-rígidos. O grupo de avaliadores era formado por 36 pessoas do Departamento de Transportes de Ohio.

50 motoristas avaliaram o nível para qualidade de viagem em 32 trechos de rodovias em Wisconsin, EUA. GARG *et al.* (1988) relatam resultados de estudo para identificar melhores expressões para a relação entre irregularidade do pavimento e a satisfação do usuário com o tráfego de veículos, para identificar informações sobre melhoria para rodovias.

FWA & GAN (1989) relatam resultados de estudo para avaliação de nível para qualidade de viagens através de passageiros de ônibus em rodovias de Cingapura. A compatibilidade de uso desses resultados foi analisada comparando-se os resultados com conclusões obtidas a partir de opiniões expressas por um grupo de usuários de automóveis.

Ainda, FWA & GAN (1989) sugeriram números mínimos de avaliadores necessário para garantir a confiança em resultados de estudos sobre a condição de superfície de pavimentos, conforme resumido na tabela 5.

Tabela 5 - Número mínimo de avaliadores necessário para grupo de avaliação de serventia em pavimentos. FONTE: FWA & GAN (1989)

Desvio Padrão	Nível de Significância, $\alpha = 0,05$			Nível de Significância, $\alpha = 0,10$		
	FWA & GAN, 1988	FWA & GAN, 1988	NAKAMURA & MICHAEL 1963	FWA & GAN, 1988	FWA & GAN, 1988	NAKAMURA & MICHAEL 1963.
	Carro	Ônibus		carro	ônibus	
0,3	24	20	31	18	14	21
0,4	14	12	17	10	8	12
0,5	10	9	11	8	6	8
0,6	8	7	8	6	5	5
0,7	6	6	6	5	4	4
0,8	5	5	4	4	4	3

Outro exemplo de uso de informações obtidas a partir de notas fornecidas por usuários de vias urbanas é relatado por GUALDA *et al.* (1992), que avaliaram o comportamento da superfície de pavimentos na rede urbana de São Paulo. Os autores usaram resultados de processamento sobre notas fornecidas por avaliadores para produzir informações sobre o nível de qualidade dos serviços prestados pelas superfícies de pavimentos durante a execução de um programa de intervenções sobre as ruas do Município.

GUALDA *et al.* (1992) propuseram um modelo de otimização (Modelo LPT-PTR-EPUSP) para identificar vias com maior prioridade de manutenção, e os tipos de intervenções mais adequadas, de modo a atender a capacidade de investimento pré-determinada em orçamentos públicos, e maximizar os benefícios para os usuários das vias. A redução dos custos operacionais introduzido pelas intervenções durante o ano de 1992 foi adotada como o benefício ao usuário em trechos de via analisados.

AL-OMARI & DARTER (1994) propuseram relações entre Quociente de Irregularidade (QI) e estimativas de índice de qualidade de viagem a partir de opiniões de usuários para pavimentos flexíveis, rígidos e semi-rígidos em diversos estados americanos.

O Departamento de Transportes de Indiana, EUA, implantou procedimentos para gerência de pavimentos e identificar rodovias onde haveria prioridade para a manutenção e reconstrução. No estudo, GULEN *et al.* (1994) sugeriram modelos de relação entre médias de notas atribuídas por avaliadores e o Quociente de Irregularidade, obtidos a partir das avaliações de 10 usuários em 20 trechos em pavimentos flexíveis e rígidos.

2.4 Defeitos de superfície em pavimentos

Para introduzir, em estudos de manutenção e recuperação de pavimentos, as distribuições de ocorrências de defeitos na superfície de pavimentos é necessário observar, classificar, medir a área de pavimento com defeito, e verificar o volume de dificuldade que esse defeito impõe ao tráfego.

Para verificação de volume de ocorrências e classificação de defeitos, divide-se a rodovia em segmentos, chamados *amostras unitárias*. A inspeção pode ser *total do trecho* ou *por amostragem*. Para pavimentos rígidos, uma amostra unitária de trecho de pavimento pode consistir-se em aproximadamente 20 placas (9m de comprimento) de concreto.

Quanto aos pavimentos flexíveis, uma amostra unitária poderá ser de aproximadamente 255m². *Inspeção total* do trecho de pavimento, e em especial quando o trecho é grande, requer esforço, tempo e consome recursos. Mas, amostragem exige controle que garanta a confiabilidade em resultados obtidos: o número mínimo de amostras unitárias (n) por rodovia inspecionada pode ser estimado a partir do valor numérico da função 19 (SHAHIN & KOHN, 1979).

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \cdot (N - 1) + \sigma^2}$$

Função 19

Onde:

- n : Número mínimo de amostras unitárias por trecho inspecionado;
- N : Número total de amostras unitárias (área total do trecho de pavimento dividida pela área da amostra unitária);
- e : Erro admissível na estimativa do *PCI* do trecho de pavimento, em número de amostras. Pode-se adotar $e = 5$, conforme SHAHIN & KOHN (1979);
- σ : Desvio padrão das estimativas de *PCI* entre amostras unitárias em um trecho de pavimento. Pode-se adotar $\sigma = 10$, dizem SHAHIN & KOHN (1979).

Os defeitos de superfície de pavimentos podem ser classificados, e os resultados processados, conforme propostas de diversos órgãos que operam rodovias. Em nada se contribui ao estudo de pavimentos dizer que dado órgão A, ou B, ou X classificam “assim”, ou “assado” os defeitos de superfície – é necessário relacioná-los com o comportamento de pavimentos em cada caso e adequar as conseqüências às necessidades de um bom trabalho de manutenção e reparação de pavimento.

Isso posto, optou-se por adotar processos e operação sobre dados conforme o manual *DISTRESS IDENTIFICATION FOR THE LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE PROJECT* (SHRP, 1993), porque os resultados de investimentos em pesquisas do Governo Americano colocaram à disposição do meio técnico o mais atualizado dos conjuntos para orientação de obtenção de informações e processamento de dados sobre defeitos de pavimentos a que se tem acesso.

Entende-se como *defeitos da superfície de pavimentos* aos desarranjos que contribuam para aumentar desconforto, ou impedir o tráfego de veículos. A classificação geral dos defeitos é: *trincas, remendos, buracos, deformações, defeitos físicos na superfície, e outros*. As tabelas 6 a 10 resumem e descrevem os principais defeitos de superfície nos pavimentos flexíveis.

Tabela 6 – Tipos de remendos e buracos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

REMENDOS e BURACOS	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
Remendos	Parcela do pavimento maior que 0,10m ² que foi removida e recolocada, ou material adicionado.	
Buracos	Ocorrência de cavidades (buracos) no pavimento; com dimensão mínima maior que 15cm.	

Tabela 7 – Tipos de trincas na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)







TIPO DE TRINCAS	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
Por fadiga	Causadas por redução da resistência do revestimento. São uma série de trincas interconectadas - produzem polígonos com número de lados variáveis, peças com ângulos agudos, em geral menores que 30cm no seu maior lado. A aparência é de "tela de galinheiro", ou "pele de jacaré".	
Em blocos	Trincas interconectadas, formando peças aproximadamente retangulares, com dimensões entre 0,1 a 10m ² . Os lados variam de 30cm a 3m.	
De bordas	Trincas de abertura crescente ou pouco contínuas que interceptam a borda do pavimento e iniciam-se em aproximados 60cm da borda adjacente ao acostamento de vias com acostamentos não pavimentados. Incluem-se as trincas longitudinais até 60cm da borda.	
Longitudinais	Trincas predominantemente paralelas ao eixo do pavimento.	
De reflexão	Trincas características de recapeamento de pavimentos de concreto com pavimentos betuminosos – ocorrem as juntas.	
Transversais	Trincas predominantemente perpendiculares ao eixo da via e que não coincidem com juntas de pavimento de concreto.	

Tabela 8 – Tipos de deformações na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

DEFORMAÇÕES DA SUPERFÍCIE	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
Afundamento nas trilhas das rodas	Depressão longitudinal do pavimento nas trilhas das rodas. (Note a presença de água nas trilhas das rodas)	
Corrugações	Deslocamento longitudinal de materiais da superfície de pavimentos. Pode ser associado à deslocamentos verticais.	

Tabela 9 – Tipos de defeitos físicos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

DEFEITOS NA SUPERFÍCIE	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
Exsudação	Excesso de betume na superfície de pavimento. A superfície se torna refletiva e pegajosa. O processo é irreversível. O asfalto se acumula na superfície.	
Polimento de agregados	O betume do revestimento superficial desaparece e o agregado graúdo fica exposto.	
Desgaste	O deslocamento da camada superficial em pavimentos construídos com misturas a quente de alta qualidade. Provoca o deslocamento de partículas de agregados e perda de betume.	

Tabela 10 – Outros defeitos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

OUTROS DEFEITOS	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
Degraus entre acostamento e faixa de tráfego	Desníveis entre a superfície de tráfego e o acostamento.	
Bombeamento e exsudação de água	Percolação ou ejeção de água para superfície através de trincas. Em alguns casos detectável através de visualização de depósitos de material fino na superfície.	

O volume de dificuldades que um defeito impõe ao tráfego em português é nomeado *severidade do defeito*, ou simplesmente *severidade*. A severidade é classificável em *não aplicável, baixa, média e alta*.

Severidade, em conceito, é uma medida da dificuldade que o defeito impõe ao tráfego – mas, na prática é classificada a partir de limites e variáveis mensuráveis através de observações em campo. Por exemplo: a largura ou o comprimento de trincas podem ser variáveis usadas para classificar a severidade desse tipo de defeito.

Os procedimentos para cadastro e medida de áreas de ocorrência de defeitos estão relatados, tipo a tipo de defeito, em SHRP (1993).

3 UM ÍNDICE PARA CLASSIFICAR O ESTADO DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS

Estado da superfície de pavimento (em inglês: *condition*) é a capacidade de um pavimento prestar bons serviços ao tráfego de veículos. Por abuso de linguagem, o jargão *condição* tem sido utilizado para substituir o termo "estado".

Segundo HAAS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994), para orientar decisões durante atividades para gerência e alocação de recursos para construção, manutenção e reabilitação de pavimentos é importante a adoção de índice que combine tipos, severidade e dimensões de defeitos da superfície de pavimentos. Isso pode ser útil no instante em que decisões forem por exemplo do tipo:

- a) "É mais importante reparar um trecho de rodovia com trincas por fadiga ou afundamento nas trilhas das rodas de veículos?"
- b) "Qual combinação entre dimensões e severidade de defeitos indica que um trecho de pavimento está mais deteriorado que outro?"

Segundo a *AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM* (1991), índices que podem expressar o estado da superfície de pavimentos para servir ao tráfego de veículos, desenvolvidos a partir do tipo e volume de ocorrência de defeitos podem ser úteis para:

- a) Avaliar a acurácia e orientar modificações em modelos de desempenho de pavimentos;
- b) Estimar índices de deterioração de segmentos de rodovia;
- c) Facilitar a troca de informações entre Departamentos de Transportes;

- d) Avaliar e prever impactos de atividades de manutenção e reabilitação;
- e) Analisar os impactos de tipos de projetos ou métodos construtivos sobre o desempenho em segmentos de rodovias;
- f) Orientar a fixação de prioridades para as atividades de manutenção e reabilitação.

Índices de condição para pavimentos apresentam suas vantagens, porém possuem limitações para uso em atividades de gerência de pavimentos:

- a) O valor do índice "de per si" não reflete a deterioração de pavimento;
- b) Atividades de manutenção ou reabilitação podem ser diferentes para dois ou mais trechos de pavimentos com mesmo valor de índice;
- c) Diferentes trechos de pavimentos, recém construídos ou reabilitados, os índices estimados são numericamente iguais;
- d) Os índices não são indicadores de atividades de manutenção e reabilitação;
- e) Decisões sobre reabilitação fundamentadas apenas em índices de defeitos poderão não contribuir com o controle da distribuição futura do estado de deterioração de pavimentos.

SHAHIN & KOHN (1979), relatam que o *U. S. ARMY CONSTRUCTION ENGINEERING RESEARCH LABORATORY (CERL)* propôs um índice de avaliação de superfície de pavimentos flexíveis ou rígidos – o *Pavement Condition Index (PCI)* a partir de estudos sobre dados obtidos em inspeções sobre pavimentos de aeroportos – esse é um índice composto a partir da composição de efeitos de tipos de defeitos sobre a condição de pavimentos. Uma adaptação das experiências de uso do *PCI* para rodovias, pavimentos urbanos e parques de estacionamentos incluiu a experiência adquirida durante as aplicações aos pavimentos de aeroportos, validação em campo e informações com origem em experiências do *U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS*.

O *PCI* é um índice que visa colocar disponível:

- a) Um processo padronizado para avaliar a integridade estrutural e condição operacional da superfície para trechos de pavimentos;
- b) Fornecer meios para identificação das necessidades e prioridades de atividades de manutenção e reabilitação, através da comparação de diferentes segmentos de pavimentos;
- c) Um processo para estimativa do desempenho de pavimentos a partir de dados acumulados durante um intervalo de tempo.

O *PCI* é um dos produtos dos estudos do *CERL* para montar um conjunto de procedimentos para gerência de pavimentos, o *PAVER*. O *PAVER* contém:

- a) Processos para cadastro de informações sobre características de pavimentos em computadores;
- b) Programas para execução de relatórios e visualização de informações;
- c) Programas interativos para análise econômica de alternativas para manutenção e reabilitação de pavimentos;
- d) Um programa de computador para identificar orientações para trabalhos coerente com políticas para manutenção e resultados de inspeções sobre as condições do pavimento.

A expressão matemática para estimativa do *PCI* inclui efeitos de tipos de defeitos (trinca, remendo etc.), severidade (largura da trinca, grau de deterioração de remendo, etc.), e densidade de ocorrência de defeitos (porcentagem em relação a área do trecho de pavimento avaliado). Abaixo está detalhada a função usada para estimar o *PCI*. Fonte: SHAHIN & KOHN (1979).

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

Onde:

Função 20

PCI: *Pavement Condition Index*;

$a(T_i, S_j, D_{ij})$: Função de perda de capacidade para servir ao tráfego, cujas variáveis independentes são o tipo (T_i), nível de severidade (S_j) e densidade (D_{ij}) de defeitos;

i : Índice associado aos tipos de defeitos;

j : Índice associado aos níveis de severidade de defeitos;

p : Número de tipos de defeitos;

m_i : Nível de severidade para o i -ésimo tipo de defeito;

$F(t, q)$: Fator de ajuste para reduzir o efeito do excesso de tipos de defeitos. (t) depende do número de funções $a()$, e (q) é o número de valores numéricos de funções $a()$ maiores que 5;

A expressão $\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} a(T_i, S_j, D_{ij}) \cdot F(t, q)$, ou *estimativa da perda de estado*

ou *capacidade para servir o tráfego* (do inglês, *Corrected Deduction Value, CDV*) pode ter seu valor numérico obtido com o uso de gráficos que relacionam o tipo, a severidade e a densidade do defeitos que ocorrem no pavimento e resumem a experiência do *CERL* (SHAHIN & KOHN, 1979) com o processamento de dados para vários tipos de defeitos.

Após a estimativa do *PCI* para amostras unitárias, a média para a via será o *valor do PCI para o trecho de pavimento avaliado*.

$$\overline{PCI} = \frac{\sum_{i=1}^n PCI_i}{n}$$

Função 21

E por fim, um *conceito de avaliação*, ou o jargão *condição de pavimento* para expressar o estado de conservação pode ser relacionado ao *PCI*. A tabela 11 resume as conseqüências de uso dessa afirmativa.

Tabela 11 - Qualidade de superfície de pavimento de acordo índice de condição do pavimento. FONTE: SHAHIN & KOHN (1979).

Intervalo para o <i>PCI</i>	Condição de pavimento
0 – 10	Péssimo
10 – 25	Muito Ruim
25 – 40	Ruim
40 – 55	Regular
55 – 70	Bom
70 – 85	Muito Bom
85 – 100	Excelente

Durante a estimativa do *PCI*, alguns defeitos contribuem mais que outros para redução da serventia de um pavimento, assim o nível de severidade, ou seja, o volume de dificuldades ao tráfego provocado pelos defeitos, pode ser associado a um *peso*, infelizmente descrito em português como *fator de ponderação*.

Esses *pesos* são o resultado de observações sobre a variação de estado de pavimento em função de ocorrência de defeitos e severidade para as condições de tráfego e ambientais do local onde serão usados (BERTOLLO, 1997).

A tabela 12 resume os *pesos* sugeridos conforme CHEN et. al (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997).

Tabela 12 - Pesos sugeridos para a caracterização de defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis. FONTE: BERTOLLO (1997)

TIPO DE DEFEITO	CHEN <i>et al.</i> (1993)			KHEDR & EL DIMEERY (1994)			BERTOLLO (1997)		
	Severidade			Severidade			Severidade		
	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Trinca por Fadiga	0,40	0,60	0,80	0,40	0,70	1,00	0,70	0,80	0,90
Trinca em bloco	0,20	0,40	0,60	0,40	0,70	1,00	Não há	Não há	Não há
Trinca Lateral	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há
Trinca Longitudinal	0,20	0,35	0,80	0,40	0,70	1,00	Não há	Não há	Não há
Trinca por reflexão	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há
Trinca Transversal	0,20	0,35	0,80	0,40	0,70	1,00	Não há	0,35	Não há
Remendo	0,10	0,15	0,20	0,30	0,60	1,00	0,70	0,80	0,95
Panela	0,60	0,80	1,00	0,40	0,70	1,00	0,75	0,90	0,95
Afundamento de Trilha de Roda	0,30	0,45	0,60	0,30	0,70	1,00	Não há	Não há	Não há
Corrugação	0,50			0,40	0,80	1,00	Não há	Não há	Não há
Exsudação	0,10	0,20	0,30	0,80	0,80	1,00	0,30	Não há	Não há
Agregados polidos	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	Não há	Não há	Não há
Desgaste	0,60	0,80	1,00	0,30	0,60	1,00	0,75	0,85	1,00
Desnível entre pista e acostamento	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há
Bombeamento	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há	Não há

3.1 Outros processos para estimar o PCI

Outro processo para estimativa de *Pavement Condition Index* é o usado pelo ASPHALT INSTITUTE (1989), adota-se o nível de qualidade do tráfego na superfície do pavimento e treze tipos de defeitos, com níveis de severidade e dimensões de defeitos avaliados por uma escala que varia de 0 a 5, ou de 0 a 10. O *PCI* é obtido subtraindo de 100 a soma das avaliações de todas as ocorrências de defeitos no trecho de rodovia avaliado.

O *Pavement Condition Index*, para o ASPHALT INSTITUTE (1989), varia numa escala de 0 a 100, onde o valor 100 representa a condição *excelente*. O método também inclui uma escala que pode ser usada para determinar o tipo de manutenção necessária ao trecho de pavimento avaliado (figura 9).

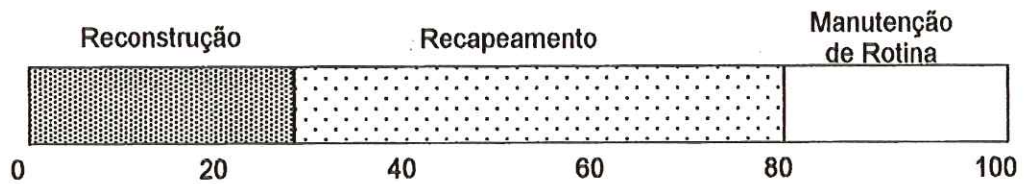


Figura 9 – Tipo de atividade de manutenção em função do PCI.
 FONTE: ASPHALT INSTITUTE (1989)

BERTOLLO (1997, p. 95) usando o jargão *Índice de Condição dos Pavimentos*, e a sigla *ICP* para substituir o nome *PCI* propõe o uso do *PCI* redefinido como:

$$ICP = 100 - \sum f_{i,j} \cdot D_{ij}$$

Função 22

Onde:

ICP = Índice de Condição do Pavimento;

D_{ij} = Porcentagem de área de pavimento com tipo de defeito i e nível de severidade j ;

f_{ij} = Ajuste correspondente à porcentagem de defeitos i com nível de severidade j .

3.2 IGG, o *PCI* do DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM?

No Brasil, a especificação DNER-PRO 08/78 (DNER, 1978c) “fixa as condições exigíveis na avaliação da superfície de pavimentos rodoviários, mediante a contagem e classificação de ocorrências de defeitos, e medida sobre as deformações permanentes nas trilhas de roda”. A terminologia e classificação de defeitos é fixada em DNER TER 01-78 (DNER, 1978a).

A tabela I, de DNER-PRO 08/78 (DNER, 1978c) contém a *Codificação das Ocorrências da Superfície do Pavimento* para classificação das ocorrências de defeitos, e os “fatores de ponderação” para os tipos de defeitos usados. Frequência absoluta de ocorrência de um tipo de defeito é o número de vezes que ocorre o defeito em dado segmento. Frequência relativa é a porcentagem de ocorrência no número de estações analisadas:

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

Função 23

Onde:

- f_r = frequência relativa;
- f_a = frequência absoluta;
- n = número de estações inventariadas.

O procedimento DNER PRO 08-78 (DNER, 1978c) define o Índice de Gravidade Individual (IGI), para cada tipo de defeito através da fórmula:

$$IGI = f_r \cdot f_p$$

Função 24

Onde:

- IGI = Índice de Gravidade Individual;
- f_r = Frequência relativa;
- f_p = Fator de ponderação; depende do tipo de defeito (ver tabela 1, p. 5/11, de DNER (1978c).

O índice que tem as mesmas finalidades do *PCI*, fixado em DNER-PRO 08/78 (DNER, 1978c), é chamado *Índice de Gravidade Global (IGG)*. Esse índice é definido como a soma dos *IGI*.

$$IGG = \sum IGI$$

Função 25

Onde:

- IGG = Índice de Gravidade Global;
- IGI = Índice de Gravidade Individual;

O estado do pavimento pode ser classificado usando as informações contidas na tabela abaixo:

Tabela 13 – Classificação de pavimentos usando o IGG.
FONTE: DNER-PRO 08/78 (DNER, 1978c)

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

3.3 Sobre a aceitação de índices para expressar a qualidade de tráfego sobre a superfície de pavimentos

A análise de resultados obtidos na pista experimental da AASHO (HRB, 1961), e o relato exposto por FWA & GAN (1989), fixam que um *trecho de rodovia é aceitável para o tráfego de veículos quando 50% ou mais de usuários que por ali viajam o aprovarem*. Esse é o critério de aceitação de índices para aprovar o nível para qualidade de superfície de pavimentos aqui adotado.

Também, para que o pavimento de uma rodovia seja aceitável para o tráfego de veículos, do ponto de vista dos clientes da via, a AASHTO (1985), e o relato de FWA & GAN (1989), *sugerem o limite mínimo para o índice de serventia igual a "2"*.

Por exemplo, FWA & GAN (1989), relatando resultados de avaliações sobre o índice de serventia de rodovias em Cingapura, comentam a obtenção de nível de qualidade de viagem igual a "2,05" para usuários de automóveis, e "2,10" para passageiros de ônibus.



4 OS CONCEITOS DE ESTATÍSTICA USADOS DURANTE O TRABALHO

Relatamos nesse item os conceitos de estatística usados durante a análise dos dados coletados sobre notas de avaliadores e estimativas de índices para avaliação de qualidade de serviços prestados por superfície de pavimentos através de sugestões contidas em DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997). A principal referência que adotamos é CHASE & BOWN (1992). Recordar-se que:

- a) *Estatística* é a ciência da coleta, simplificação e descrição de dados, e também das inferências obtidas através da análise de dados e suas características;
- b) O conjunto de todos os elementos (ou dados, ou valores atribuídos aos dados) a que pertencem os sujeitos de estudo é chamado de *população*, ou *universo*. Um subconjunto do universo, constituído de alguns elementos pertencentes à população é chamado *amostragem sobre a população*, ou *amostra*.
- c) A *estatística descritiva* é o conjunto de ações para coletar, simplificar e fornecer as principais propriedades dos dados. A *inferência estatística* é o conjunto de técnicas que pode ser utilizado para julgamentos sobre a população, a partir de propriedades observadas em amostras obtidas entre a população.
- d) Chama-se *parâmetro estatístico*, ou *parâmetro*, à uma propriedade numérica de população. Um número que representa uma propriedade estatística que caracterize elementos de uma amostra é chamado de *estatística*, ou *teste estatístico*.

4.1. Inferência estatística

A *inferência estatística* é o processo de fazer juízos sobre parâmetros de uma população, a partir de propriedades estimadas sobre amostras. Há dois tipos de inferência estatística:

- a) A *estimativa de parâmetros*, ou seja, a aproximação de parâmetros descritivos de população (média, desvios padrão, etc.);
- b) E, a *tomada de decisões*, mais conhecida como *teste de hipóteses*, que consiste em escolher entre duas afirmativas opostas sobre parâmetros de população. As afirmativas são chamadas *hipóteses*.

4.2. Estimativa das médias para grandes amostras

A média \bar{x} , de dados obtidos em uma amostragem sobre dada população, é uma *estimativa por pontos da média de população*, μ .

O processo para *estimativa da média de população* leva a um intervalo numérico onde pode estar contida essa média de população, o *intervalo de estimativa da média*, ou simplesmente *intervalo das médias*, e a, de ocorrência daquele parâmetro, característica do processo de estimativa usado. Essa probabilidade é chamada de *nível de confiança* $1-\alpha$, e, o intervalo resultante de *intervalo de confiança*.

Se, x é um conjunto de dados estimados sobre uma população caracterizada por uma média μ e desvio padrão σ ; e, \bar{x} representa a média em uma amostragem definida por amostras aleatórias de tamanho n , nas estimativas de parâmetros sobre as populações o uso do *teorema do limite central* (CHASE & BOWN, 1992, páginas 264 a 275) facilita a obtenção das distribuições de probabilidades de ocorrência associáveis a \bar{x} , porque demonstra que:

- a) A média das médias sobre as amostras tenderá à média de população, $\mu_{\bar{x}} = \mu$;
- b) desvio padrão poderá ser estimado a partir dos desvios das amostras, $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$
- c) \bar{x} terá distribuição aproximadamente normal quando n for maior que 30.

O escore z será estimado:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Função 26

O intervalo de confiança $1 - \alpha$ para a média μ de população, quando o número de elementos de amostras é $n \geq 30$ é estimado por

$$\bar{x} - z\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + z\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Função 27

E, pode-se usar a notação simplificada $\bar{x} \pm z\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ para o intervalo de confiança das médias.

A figura 10 ilustra o intervalo de confiança das médias, quando $1 - \alpha$ é a probabilidade de que um intervalo construído dessa maneira contenha a média μ .

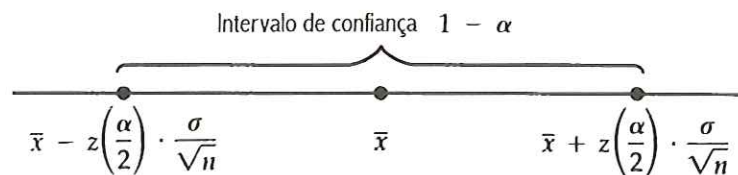


Figura 10 - Intervalo de confiança das médias

Indica-se por $z_{\alpha/2} = z(\alpha/2)$ ao valor do escore z para o nível de confiança $1 - \alpha$.

O desvio padrão sobre a amostragem s é usado para estimativa do desvio padrão de população σ , quando o número de elementos das amostras é $n \geq 30$. Para aplicar o conceito de intervalo de confiança exposto a amostras com menos que 30 elementos, é indispensável conhecer o desvio padrão, σ , de população.

Ao estimar a média de população, μ , a partir de médias de amostras grandes, \bar{x} , o máximo erro de estimativa, com nível de confiança $1 - \alpha$, é

$$E = z\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Função 28

Os pontos extremos do intervalo de confiança podem ter a notação $\bar{x} \pm E$.

4.3. O teste de hipóteses

A tomada de decisões sobre populações, mais conhecida como *teste de hipóteses*, consiste em escolher entre duas afirmativas opostas sobre a população - uma provavelmente verdadeira, e outra falsa. Essas afirmativas são chamadas *hipóteses*.

Chama-se *hipótese nula* à afirmativa que contém informações sobre *nenhum efeito, mudança, ou diferença entre características de elementos de população*. Trata-se de uma sentença cujos sujeitos são parâmetros de população, e que contém uma igualdade (*senal de =*). A notação adotada para a hipótese nula é H_0 .

Chama-se *hipótese alternativa* uma afirmativa que se admite seja verdadeira, em oposição à hipótese nula. Esse tipo de sentença contém afirmações sobre parâmetros de população que *estabeleceriam diferenças entre características de elementos de população* (sinais $\neq, >, <$). A notação usual para as hipóteses alternativas é H_1 .

Um número usado para tomar decisões em um teste de hipóteses é chamado *teste estatístico*. Por exemplo, o escore z associado à média obtida por amostragem, \bar{x} , e, ao desvio padrão, σ , de uma população.

Chama-se *região crítica de um teste de hipótese*, ou simplesmente *região crítica*, aos valores de um teste estatístico que fornece fortes evidências em favor da aceitação da hipótese alternativa. Ou seja, *os valores na região crítica sugerem a rejeição de validade da hipótese nula*. Se, a hipótese nula for verdadeira, probabilidade de que um teste estatístico pertença à região crítica é chamada de *nível de significância* do teste, α .

Embora não seja desejável que o valor de um teste estatístico pertença à região crítica quando H_0 é verdadeira, isso pode ocorrer. Aí, rejeita-se H_0 de maneira errada - o erro cometido é chamado *erro do tipo I*. A probabilidade de ocorrência do erro tipo I é α ,

$$\alpha = P(\text{erro tipo I})$$

Função 29

O outro tipo de erro que se pode cometer é aceitar H_0 , quando esta for falsa. O erro cometido é chamado *erro tipo II*. O erro tipo II ocorre quando o valor do teste estatístico não pertence à região crítica quando a hipótese nula H_0 é, de fato, falsa. A notação adotada para a probabilidade de ocorrer um erro tipo II é β :

$$\beta = P(\text{erro tipo II})$$

Função 30

Embora α seja sempre estimável, β é *usualmente desconhecido*.

O roteiro usual para os testes de hipótese é:

- a) *Identificar as hipóteses nula, H_0 , e a hipótese alternativa, H_1 - que serão usualmente conjecturas (suspeitas ou crenças) sobre um, ou mais, parâmetros de população;*
- b) *Escolher α , o nível de significância - o valor de α é usualmente pequeno, $\alpha \leq 0,10$;*
- c) *Escolher o teste estatístico e estimar seu valor a partir dos dados observados - o valor estimado é chamado valor observado, ou estimativa, do teste estatístico;*
- d) *Determinar a região crítica - as dimensões da região crítica são uma função do nível de significância α ;*
- e) *Testar a hipótese - caso o valor do teste estatístico pertença à região crítica, rejeitar H_0 , em favor da hipótese alternativa. Diz-se que os resultados são estatisticamente significantes. Se o valor do teste não pertence à região crítica, falhou-se ao rejeitar H_0 - não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula - deve-se decidir em linguagem de leigos, porque não é possível usar o vocabulário técnico.*

4.4. O teste t para estimativas da média de população

Segundo CHASE & BOWN, (1992, página 354), sob o pseudônimo de *Student*, em 1908, Gosset introduziu o uso do teste t , uma variável aleatória, para análise de parâmetros de populações a partir de amostras pequenas. Se a população tem média μ ; a amostra, n elementos e média \bar{x} e desvio padrão s :

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

Função 31

Dentre as propriedades da distribuição do t de *Student* destacam-se:

- a) existem infinitas distribuições t , associáveis ao número de graus de liberdade - o que mais se utiliza, entretanto tem $n - 1$ graus de liberdade;
- b) A forma da curva da distribuição t é similar à distribuição normal;
- c) Para $n \geq 30$, a distribuição t é aproximadamente normal.

Assumindo-se que:

- a) A população tem distribuição normal, ou aproximadamente normal;
- b) O tamanho de cada amostra adotada (n) é menor que 30;
- c) E o desvio padrão de população (σ) é desconhecido;

Para testar hipóteses sobre a média μ , usa-se o teste estatístico t de *Student* observado, obtido substituindo-se μ , pelo valor atribuído à média na hipótese nula - o valor observado para t é estimado usando dados de amostragem. Esta estatística tem a distribuição do t de *Student*, com $n - 1$ graus de liberdade.

Caso ele caia na região crítica, rejeite-se a hipótese H_0 . Se α é o nível de significância do teste, as regiões críticas podem ser descritas, em resumo nas Figura 11, Figura 12 e Figura 13.

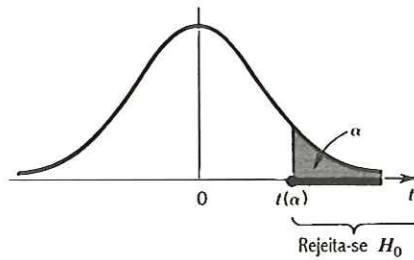


Figura 11 - Região crítica do teste t , para a média de uma população, quando a hipótese alternativa contém o símbolo $>$ (teste para cauda à direita)

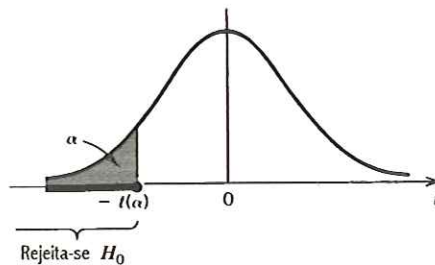


Figura 12 - Região crítica do teste t , para a média de uma população, quando a hipótese alternativa contém o símbolo $<$ (teste com cauda à esquerda)

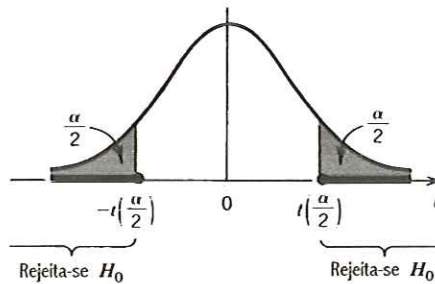


Figura 13 - Região crítica do teste t , para a média de uma população, quando a hipótese alternativa contém o símbolo \neq (teste com duas caudas)

Quando se conhece o desvio padrão σ , pode-se usar o teste z , da distribuição normal durante as decisões sobre as médias de população. O intervalo de confiança das médias pode ser estimado:

$$\bar{x} \pm t\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

E, ao estimar a média μ , a partir de \bar{x} , o erro máximo de estimativa, com a confiança $1 - \alpha$ é

$$E = t\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Função 33

4.5. Inferências sobre duas médias de populações. Pequenas amostras dependentes

A notação que usaremos a partir desse item é resumida na Tabela 14.

Tabela 14 - Notação para o estudo, a partir de amostras, de parâmetros sobre médias

População	Tamanho de amostra	Médias	Médias de amostras	Variâncias na amostragem	Variâncias de população	Graus de liberdade
1	n_1	μ_1	\bar{x}_1	s_1^2	σ_1^2	$n_1 - 1$
2	n_2	μ_2	\bar{x}_2	s_2^2	σ_2^2	$n_2 - 1$

O teste estatístico a ser usado para testar hipóteses sobre médias de populações é função de um grande número de fatores. Um deles é o método usado para obter as amostras. Duas *amostras são independentes* se os dados observados em uma não possuem relações com os dados observados na outra. E, *duas amostras são dependentes*, se os dados de uma amostra são alinhados naturalmente com os dados da outra.

Para comparar as médias μ_1 e μ_2 das populações 1 e 2, cujos dados são representados por x_1 e x_2 , usa-se a diferença das médias $d = x_1 - x_2$ e $\mu_d = \mu_1 - \mu_2$.

O teste é

$$H_o: \mu_d = 0$$

$$H_1: \mu_d > 0$$

Para amostras pequenas, usa-se o teste t de Student. Se \bar{d} é a média das diferenças entre as médias na amostragem; s_d , o desvio padrão das diferenças entre médias nas amostras e n o número de diferenças entre médias e número de graus de liberdade $n - 1$, usa-se o teste estatístico:

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s_d / \sqrt{n}}$$

Função 34

O intervalo de confiança $1 - \alpha$ pode ser estimado

$$\bar{d} \pm t\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{s_d}{\sqrt{n}}$$

Função 35

4.6. Inferências sobre diferenças entre médias de populações. Pequenas amostras.

Quando uma das amostras é pequena, número de observações menor que 30, as distribuições observadas sobre a população são aproximadamente normais, e σ_1 e σ_2 são conhecidos, pode-se adotar o t de Student para estudos sobre parâmetros das diferenças entre médias, $\mu_1 - \mu_2$:

a) Se $\sigma_1 = \sigma_2$,

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \cdot \sqrt{(1/n_1) + (1/n_2)}}$$

Função 36

Onde:

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Função 37

O teste estatístico proposto, t , tem a distribuição aproximada ao t de Student, com $n_1 + n_2 - 2$ graus de liberdade.

c) Se $\sigma_1 \neq \sigma_2$,

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2)}}$$

Função 38

O teste estatístico proposto, t , tem a distribuição aproximada ao t de Student, com o menor, $n_1 - 1$, ou, $n_2 - 1$, graus de liberdade.

É usual que as diferenças $\mu_1 - \mu_2$ sejam especificadas na hipótese nula.

E, para os intervalos de confiança $1 - \alpha$ da diferença entre médias, $\mu_1 - \mu_2$:

a) Se $\sigma_1 = \sigma_2$,

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot s_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

Função 39

Com $n_1 + n_2 - 2$ graus de liberdade.

b) Se $\sigma_1 \neq \sigma_2$,

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

Função 40

Com o menor, $n_1 - 1$, ou $n_2 - 1$, graus de liberdade.

5 DOS DADOS

As atividades para levantamento de dados foram:

- a) Composição de grupos avaliadores de superfície de pavimentos;
- b) Treinamento de avaliadores;
- c) Atribuição de notas atribuídas pelos avaliadores;
- d) Classificação de defeitos nos segmentos de rua observados.

5.1 Os segmentos de ruas para estudos

O experimento que deu origem aos dados utilizados no trabalho relatado foi conduzido na cidade de São Carlos, estado de São Paulo, Brasil. Foram amostrados 13 segmentos de rua, uma *amostra de conveniência* porque o Departamento de Transportes da Escola de Engenharia manteve no período diversos tipos de observação sobre as vias analisadas.

Por exemplo: Os segmentos de rua foram analisados por BERTOLLO (1997), que sugeriu um Sistema de Gerência de Pavimentos para a cidade de São Carlos.

As figuras a seguir ilustram os segmentos de rua observados.



**Figura 14 - Vista da Av. São Carlos (segmento 1).
São Carlos, SP. Setembro 1997.**

A figura 14 ilustra a *Avenida São Carlos* (segmento 1) - entre a Rua 28 de Setembro e Avenida Dr. Carlos Botelho - 11,6m de largura, 89,0m de comprimento, área a estudar com 1032,4m².

A figura 15 ilustra a *Rua XV de Novembro* (segmento 2) - entre as Ruas Episcopal e 9 de Julho - 7,8m de largura, 90,0m de comprimento, área a estudar com 702,0m².



**Figura 15 - Vista da Rua XV de Novembro
(segmento 2). São Carlos, SP. Setembro 1997.**



**Figura 16 - Vista da Rua Conselheiro João Alfredo
(segmento 3). São Carlos, SP. Setembro 1997.**

A figura 16 ilustra a *Rua Cons. João Alfredo* (segmento 3) - entre as Ruas Paulino Botelho de A. Sampaio e Victor M. de Souza Lima - 8,5m de largura, 99,0m de comprimento, área a estudar com 841,5m².

A figura 17 ilustra a *Rua Paulino Botelho de A. Sampaio* (segmento 4) - entre a Avenida Miguel Petroni e Rua Prof^a. Alice J. D'Anna Juliano - 7,7m de largura, 78,0m de comprimento, área a estudar com 600,6m².



Figura 17 – Vista da Rua Paulino B de A Sampaio (segmento 4). São Carlos, SP. Setembro 1997

A figura 18 ilustra a *Avenida Marginal* (segmento 5) – entre a saída da Escola de Engenharia de São Carlos e a Rua Carlos de Camargo Salles – 8,7m de largura, 240,0m de comprimento, área a estudar com 2088,0m².

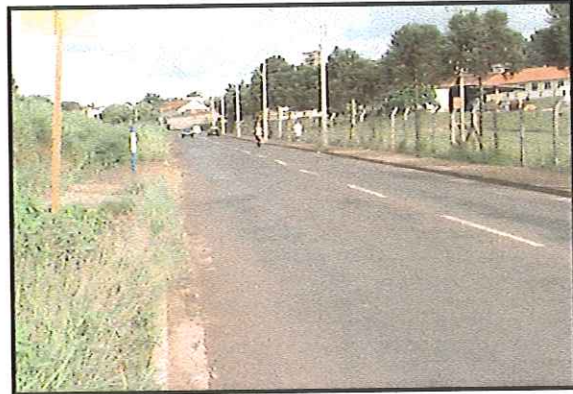


Figura 18 - Vista da Av. Marginal (segmento 5). São Carlos, SP. Setembro 1997.

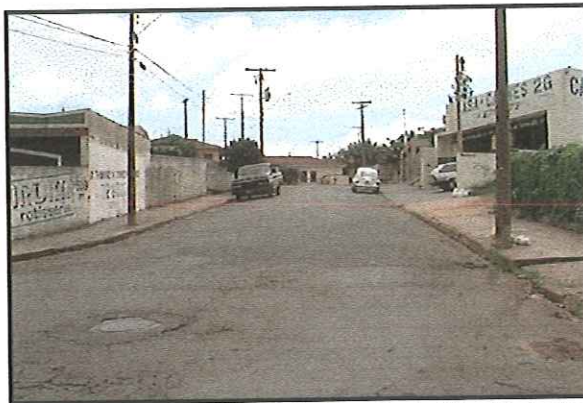


Figura 19 - Vista da Rua Luiz Vaz Toledo Pizza (segmento 6), após a operação tapa-buraco. São Carlos, SP. Setembro de 1997.

A figura 19 ilustra a *Rua Luiz Vaz Toledo Pizza* (segmento 6) - entre as Ruas Miguel Alves Margarido e Alameda das Crisandálias – 8,4m de largura, 68,0m de comprimento, área a estudar com 571,2m². Essa imagem foi obtida no dia 15 de Setembro de 1997 após operação tapa-buraco a que foi submetido esse segmento.

A figura 20 ilustra a *Rua Luiz Vaz Toledo Pizza* (segmento 7) - entre a Rua Miguel Alves Margarido e Av. Marginal - 8,4m de largura e 60,0m de comprimento, área a estudar com 504,0m². Essa imagem foi obtida no dia 15 de Setembro de 1997 após a operação tapa-buraco a que foi submetido esse segmento.



Figura 20 – Vista da Rua Luiz Vaz Toledo Pizza (segmento 7), após a operação tapa-buraco. São Carlos, SP. Setembro de 1997.



Figura 21 - Vista da Rua Antonio Blanco (segmento 8). São Carlos, SP. Setembro 1997.

A figura 21 ilustra a *Rua Antonio Blanco* (segmento 8) - entre as Ruas D. Alexandrina e São Joaquim - 7,8m de largura, 90,0m de comprimento, área a estudar com 702,0m².



Figura 22 - Vista da Rua Antonio Blanco (segmento 9). São Carlos, SP. Setembro 1997.

A figura 22 ilustra a *Rua Antonio Blanco* (segmento 9) - entre as Ruas São Joaquim e Emílio Moro - 7,7m de largura, 45,0m de comprimento, área a estudar com 346,5m².

A figura 23 ilustra a *Alameda dos Crisântemos* (segmento 10) - entre a Rua Aldino Del Nero e Avenida Marginal – 8,6m de largura, 105,0m de comprimento, área a estudar com 903m².



Figura 23 - Vista da Alameda dos Crisântemos (segmento 10). São Carlos, SP. Setembro 1997.



Figura 24 - Vista da Rua Miguel Petroni (segmento 11). São Carlos, SP. Setembro 1997.

A figura 24 ilustra a *Rua Miguel Petroni* (segmento 11) - entre a "Rotatória" e a "1ª Bifurcação" próxima ao Conjunto Residencial São Carlos IV – 8,8m de largura, 240,0m de comprimento, área a estudar com 2112m².

A figura 25 ilustra a *Avenida João de Guzzi* (segmento 12) - entre a "Rotatória" e a Rua Luiz P. de Araújo Ferraz - 8,1m de largura, 150,0m de comprimento, área a estudar com 1215m².



Figura 25 - Vista da Avenida João de Guzzi (segmento 12). São Carlos, SP. Setembro 1997.

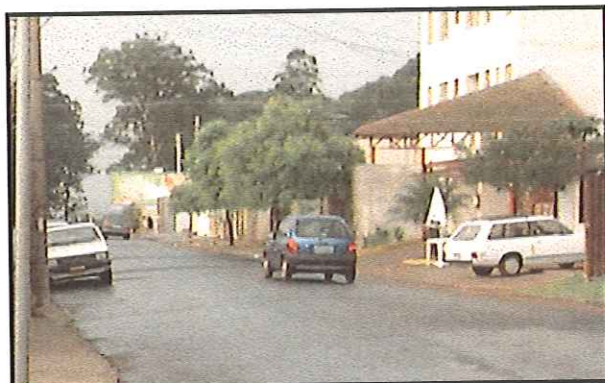


Figura 26 - Vista da Rua Prof. José F. Camargo (segmento 13). São Carlos, SP. Setembro 1997.

A figura 26 ilustra a *Rua Prof. José F. Camargo* (Segmento 13) – entre as Ruas *Rotary Club* e *Sérgio Fernando Paranhos Fleury* - 8,9m de largura, 129,0m de comprimento, área a estudar com 1148,1m².

Os trechos estudados foram designados por número, logradouro, dimensões (largura e comprimento) e ruas transversais limites. A tabela 15 resume os trechos observados.

TABELA 15 – Trechos de rua selecionados para avaliações por notas à qualidade de tráfego de veículos e caracterização de defeitos. São Carlos, SP. Setembro/Octubro 1997.

SEGMENTO DE RUA	Dimensões (m)		RUAS TRANSVERSAIS	
	Nome	Largura	Comprimento	Início
Av. São Carlos	11,6	89	Rua 28 de Setembro	Av. Dr. Carlos Botelho
Rua XV de Novembro	7,8	90	Rua Episcopal	Rua 9 de Julho
Rua Cons. João Alfredo	8,5	99	Rua Paulino B de A Sampaio	Rua Victor M. de Souza Lima
Rua Paulino Botelho de A Sampaio	7,7	78	Av. Miguel Petroni	Rua Prof. Alice J D'anna Juliano
Av. Marginal	8,7	240	Saída da EESC-USP	Rua Carlos de Camargo Salles
Rua Luiz Vaz Toledo Pizza	8,4	68	Rua Miguel Alves Margarido	Rua Alameda das Crisândalias
Rua Luiz Vaz Toledo Pizza	8,4	60	Rua Miguel Alves Margarido	Av. Marginal
Rua Antonio Blanco	7,8	90	Rua D. Alexandrina	Rua São Joaquim
Rua Antonio Blanco	7,7	45	Rua São Joaquim	Rua Emílio Moro
Alameda dos Crisântemos	8,6	105	Rua Aldino Del Nero	Av. Marginal
Rua Miguel Petroni	8,8	240	'Rotatória'	'Bifurcação' (Conj. S. Carlos IV)
Av. João de Guzzi	8,1	150	Rua Luiz P. de Araújo Ferraz	'Rotatória'
Rua Prof. José F. Camargo	8,9	129	Rua Rotary Club	Rua Sérgio F Paranhos Fleury

5.2 Avaliadores e notas

Os avaliadores que atribuíram notas aos trechos de estudo foram 40 indivíduos. A origem geográfica dos avaliadores foi:

- a) Sete nascidos e de formação na cidade de São Carlos;
- b) Onze provenientes de outras cidades do estado de São Paulo diferentes de São Carlos;
- c) Dez provenientes de estados brasileiros situados fora do Norte e do Nordeste do País;
- d) Dez provenientes de estados do Norte e Nordeste do Brasil;
- e) Um dinamarquês e um peruano.

Dos avaliadores, 27 (vinte e sete) não possuíam experiência em avaliação de pavimentos, e 13 (treze) poderiam ser considerados especialistas em trabalhos com pavimentos, ou seja, possuíam uma razoável experiência anterior nos assuntos relativos aos pavimentos.

Dentre os 40 avaliadores, 10 indivíduos atribuíram notas ao nível para qualidade de superfícies dos pavimentos aos segmentos avaliados pelo menos 3 vezes. Foram atribuídas um total de 68 notas para cada segmento de rua nos meses de Setembro e Outubro de 1997.

Para *treinamento de avaliadores*, os roteiros para avaliação foram expostos em seminários, além disso, os avaliadores foram informados sobre os tipos de defeitos que podem ocorrer nos pavimentos urbanos, bem como os níveis de severidade que a eles estão associados.

Durante o *treinamento de avaliadores*, disseminaram-se os conceitos recomendados pelo procedimento DNER PRO 07/78 (DNER, 1978b). Os avaliadores foram treinados para conhecer o processo de serviço da superfície de pavimentos. Acrescentaram-se informações sobre condições

específicas para atribuir as notas. Porém, para que o estudo de caso foram efetuadas algumas modificações nas especificações de treinamento de avaliadores, visando introduzir os seguintes itens:

- a) O avaliador deve observar apenas o estado atual da superfície de pavimento;
- b) O avaliador deve ignorar o projeto geométrico do segmento avaliado;
- c) O avaliador não deve levar em consideração as notas anteriores;
- d) Cada trecho deve ser avaliado independentemente;
- e) O avaliador não deve comentar sua avaliação com outro. Nem procurar auxílio para decidir sobre estado de pavimento;
- f) A nota deve ser uma resposta à questão: *Como se comportaria este trecho ao atender o tráfego de veículos durante um período de 24 horas por dia?*
- g) E também à questão: *Qual a sensação de conforto durante o tráfego, e como se sentiria dirigindo um veículo por esse segmento de pavimento?*

No campo, o *material usado pelos avaliadores foi*: caneta, fichas para avaliação (CAREY & IRICK, 1960), lista para lembrar as especificações de avaliação e uma tabela que relacionava a Serventia com tipos de defeitos estado de conservação do pavimento e as necessidades de manutenção conforme sugerido por AL-OMARI & DARTER (1994).

Os segmentos de rua estudados foram percorridos de automóvel, e ao final de cada trecho, os avaliadores faziam o percurso a pé e atribuíam uma nota ao nível para qualidade de superfície para aquele trecho. Os grupos de indivíduos atribuíram as notas após inspeção visual do segmento. A figura 27 ilustra visita a um dos segmentos de rua estudados.

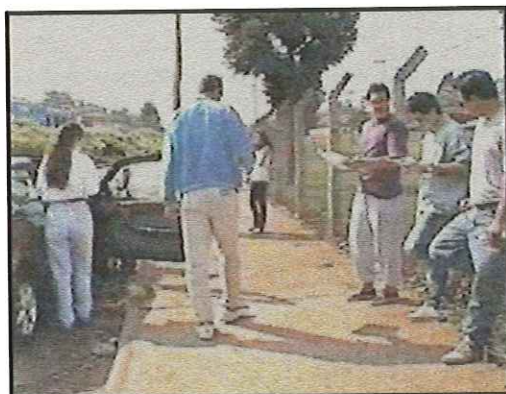


Figura 27 – Grupo de avaliadores atribuindo nota para nível de qualidade de superfície de pavimento urbano (segmento 5 – Av. Marginal). São Carlos, SP. Setembro, 1997.

Foram efetuadas 8 visitas aos segmentos de rua estudados, durante os meses de setembro e outubro de 1997, nos períodos de manhã e tarde. Essas visitas foram feitas em boas condições climáticas conforme sugerido pela norma DNER PRO 07/78 (DNER, 1978b). Também, os avaliadores atribuíram o seu conceito sobre “aceitar”, ou “não aceitar” o segmento avaliado (tabela 16).

Tabela 16 – Aceitação da qualidade de viagem pela superfície de pavimento de segmentos de rua estudados. São Carlos, SP. Setembro 1997.

SEGMENTO DE RUA	Todos os avaliadores			Avaliadores sem experiência anterior			Avaliadores com experiência anterior		
	Aceito	Não aceito	Indecisos	Aceito	Não aceito	Indecisos	Aceito	Não aceito	Indecisos
1. Av. São Carlos	60	6	2	27	4	2	33	2	0
2. Rua XV de Novembro	59	8	1	27	5	1	32	3	0
3. Rua Cons. João Alfredo	50	15	3	19	11	3	31	4	0
4. Rua Paulino B. A. Sampaio	60	8	0	28	5	0	32	3	0
5. Av. Marginal	50	15	3	19	12	2	31	3	1
6a. Rua Luiz V. Toledo Pizza	5	20	2	1	7	1	4	13	1
7a. Rua Luiz V. Toledo Pizza	18	7	2	4	3	2	14	4	0
6b. Rua Luiz V. Toledo Pizza	28	10	3	15	7	2	13	3	1
7b. Rua Luiz V. Toledo Pizza	34	6	1	19	4	1	15	2	0
8. Rua Antonio Blanco	68	0	0	33	0	0	35	0	0
9. Rua Antonio Blanco	68	0	0	33	0	0	35	0	0
10. Alameda dos Crisântemos	46	17	5	16	13	4	29	5	1
11. Rua Miguel Petroni	67	1	0	32	1	0	35	0	0
12. Av. João de Guzzi	63	3	2	29	2	2	34	1	0
13. Rua Prof J. F. Camargo	64	3	1	30	0	3	34	0	1

(6ª, 7a): Antes de tapa-buraco (12/09/97); (6b, 7b): Após tapa-buraco (23/09/97).

Ao todo, os avaliadores atribuíram 884 notas aos segmentos observados. Os avaliadores sem experiência anterior atribuíram 429 notas. Os avaliadores com experiência prévia atribuíram 455 notas.

Quando se trata de processos para avaliar segmentos de rua é necessário sintetizar os resultados em parâmetros estatísticos que representem as amostras (os próprios segmentos) de superfície de pavimento utilizados para estudos: as *médias e desvios padrões por segmento de rua*. A tabela 17 resume médias e desvios padrão das notas atribuídas pelos avaliadores. As figuras 28 e 29 ilustram o conteúdo da tabela 17.

Convém comentar que outros parâmetros estatísticos poderão ser usados para análises – os correspondentes a “todos os avaliadores”; “aos avaliadores sem experiência” ou “aos avaliadores com experiência”. Entretanto esses valores serão estimados quando necessário.

Tabela 17 – Resumo de médias e desvios padrão das notas atribuídas a nível para qualidade de superfícies dos segmentos de rua. São Carlos, SP. Setembro 1997

SEGMENTO DE RUA	Todos os avaliadores		Avaliadores com experiência anterior		Avaliadores sem experiência anterior	
	Média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
1. Av. São Carlos	3,27	0,75	3,51	0,72	3,14	0,70
2. Rua XV de Novembro	2,66	0,47	2,69	0,35	2,67	0,54
3. Rua Cons. João Alfredo	2,24	0,65	2,41	0,69	2,20	0,62
4. Rua Paulino B. A. Sampaio	2,54	0,66	2,59	0,68	2,57	0,62
5. Av. Marginal	2,34	0,58	2,47	0,51	2,27	0,60
6a. Rua Luiz V. Toledo Pizza	1,48	0,43	1,53	0,35	1,39	0,57
7a. Rua Luiz V. Toledo Pizza	2,28	0,68	2,31	0,70	2,22	0,68
6b. Rua Luiz V. Toledo Pizza	2,23	0,56	2,18	0,49	2,27	0,62
7b. Rua Luiz V. Toledo Pizza	2,50	0,45	2,52	0,41	2,48	0,48
8. Rua Antonio Blanco	3,53	0,56	3,69	0,53	3,48	0,57
9. Rua Antonio Blanco	3,76	0,60	3,97	0,53	3,66	0,60
10. Alameda dos Crisântemos	2,10	0,64	2,22	0,61	2,09	0,65
11. Rua Miguel Petroni	3,90	0,48	4,05	0,42	3,86	0,52
12. Av. João de Guzzi	2,89	0,67	2,98	0,66	2,87	0,65
13. Rua Prof J. F. Camargo	2,90	0,53	2,99	0,44	2,89	0,58

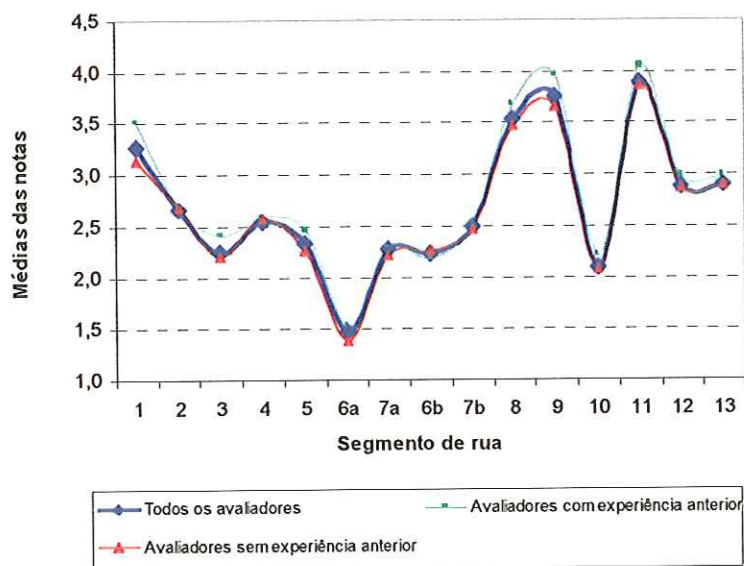


Figura 28 – Médias das notas atribuídas ao nível para qualidade das superfícies dos segmentos de rua estudados. São Carlos, SP. Setembro, 1997

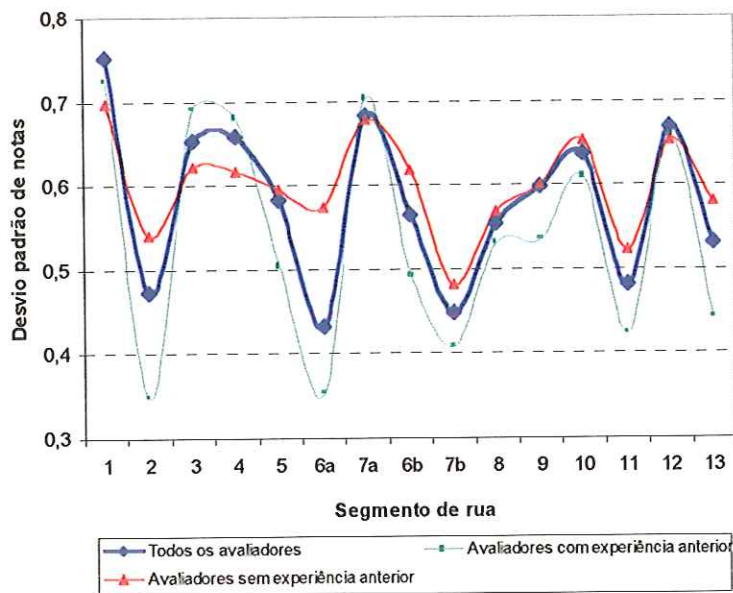


Figura 29 – Desvios padrão de notas atribuídas ao nível para qualidade das superfícies dos segmentos de rua estudados. São Carlos, SP. Setembro, 1997

5.3 Classificação de defeitos de superfície dos pavimentos dos segmentos estudados

Para mapear os defeitos em cada segmento de rua, o método usado foi o sugerido pelo manual de identificação de defeitos SHRP (1993):

- a) Mediram-se as dimensões (largura e comprimento) de cada segmento de rua com o uso de trena. Cada segmento foi dividido em sub-trechos, medindo 15m de comprimento cada um. Veja a figura 30.

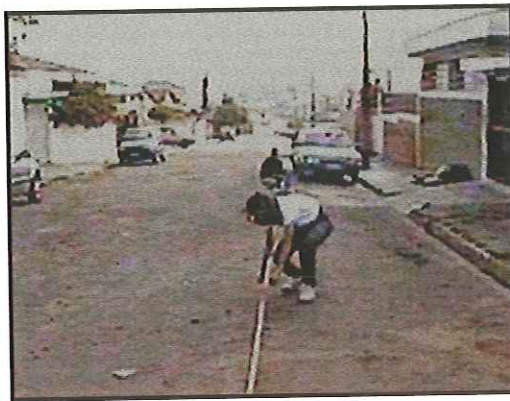


Figura 30 – Demarcação de segmento de rua para classificação de defeitos. Segmento 3 – Rua Cons. João Alfredo. São Carlos, SP. Setembro 1997

Para demarcar os segmentos usou-se trena e giz. As marcas foram feitas ao longo do comprimento do segmento, de metro em metro. Os limites dos defeitos foram preliminarmente identificados com uso de giz. A figura 31 é uma ilustração da demarcação de defeitos em pavimentos.



Figura 31 – Demarcação de limites de defeitos em superfície de pavimento. Segmento 3 – Rua Cons. João Alfredo. São Carlos, SP. Setembro 1997

- b) Por inspeção visual identificaram-se o tipo e o grau de severidade dos defeitos existentes nos trechos de acordo com o manual SHRP (1993);
- c) Registraram-se os defeitos em *Planilha de Levantamento de Defeitos*. Os símbolos usados são sugeridos pelo manual de defeitos SHRP (1993). As tabelas 18 a 30 resumem a classificação de defeitos, segundo classificação SHRP (1993), nos 13 segmentos de rua estudados.

**Tabela 18 – Resumo de classificação de defeitos no segmento 1
Av. São Carlos. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	43,5	37,9	0,0
3	trinca na borda	m	38,0	0,0	0,0
7	remendo	número	1	0	0
		m ²	0,5	0,0	0,0
10	corrugação	número	*	*	1
		m ²	*	*	400,5

**Tabela 19 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 2
Rua XV de Novembro. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	115,8	36,5	*
7	Remendo	número	4	10	*
		m ²	30,6	169,4	*
13	Desgaste	m ²	*	7,5	*

**Tabela 20 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 3
Rua Cons. João Alfredo. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	*	31,1	*
7	remendo	número	5	7	3
		m ²	14,0	29,3	20,4
8	panela	número	6	1	*
		m ²	1,6	1,5	*
13	desgaste	m ²	306,8	110,0	5,0

**Tabela 21 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 4
Rua Paulino de A. Botelho. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	28,5	165,2	6,9
7	remendo	número	4	3	*
		m ²	10,9	64,5	*
11	esxudação	m ²	*	5,3	*

**Tabela 22 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 5
Av. Marginal. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	246,3	441,3	6,9
6	trinca transversal	número	*	1	*
		m	*	4,5	*
7	remendo	número	39	24	3
		m ²	194,8	170,0	38,7
8	panela	número	1	1	*
		m ²	0,3	0,4	*

**Tabela 23 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 6
Rua Luiz Vaz Toledo Pizza. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	8,5	142,7	7,5
8	panela	Número	10	7	*
		m ²	94,2	108,0	*

**Tabela 24 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 7
Rua Luiz Vaz de Toledo Pizza. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	13,8	66,3	8,0
7	remendo	número	4	6	*
		m ²	253,4	60,5	*
10	corrugação	número	*	*	2
		m ²	*	*	13,5

**Tabela 25 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 8
Rua Antonio Blanco. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	*	2,1	*
6	trinca transversal	número	1	*	*
		m	2,0	*	*
7	remendo	número	1	3	*
		m ²	8,4	28,7	*
8	panela	número	1	*	*
		m ²	0,3	*	*
10	corrugação	número	*	*	2
		m ²	*	*	7,0
13	desgaste	m ²	25,8	*	*

**Tabela 26 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 9
Rua Antonio Blanco. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	1,9	*	*
3	trinca na borda	m	0,3	*	*
7	remendo	número	*	3	*
		m ²	*	9,7	*

**Tabela 27 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 10
Alameda dos Crisântemos. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	74,8	166,7	2,0
2	trinca em bloco	m ²	*	23,3	*
3	trinca na borda	m	37,3	29,3	9,0
7	remendo	número	12	14	2
		m ²	64,2	93,6	32,3
8	panela	número	4	*	*
		m ²	1,5	*	*

**Tabela 28 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 11
Rua Miguel Petroni. São Carlos, SP. Setembro 1997.**

Tipo de defeito			Severidade		
Número	Nome	Unidade	Baixa	Média	Alta
4	trinca longitudinal	m	1,5	*	*
6	trinca transversal	número	1	*	*
		m	2,0	*	*
7	remendo	número	1	1	*
		m ²	1,4	2,2	*
8	panela	número	2	*	*
		m ²	0,8	*	*
13	desgaste	m ²	1140,0	*	*

**Tabela 29 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 12
Av. João de Guzzi, São Carlos, SP, Setembro 1997.**

Número	Tipo de defeito	Unidade	Severidade		
			Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	198,0	89,8	*
7	remendo	número	15	5	*
		m ²	96,6	102,0	*
8	panela	número	6	1	3
		m ²	1,4	0,5	2,3

**Tabela 30 - Resumo de classificação de defeitos no segmento 13
Rua Prof José F. Camargo, São Carlos, SP, Setembro 1997.**

Número	Tipo de defeito	Unidade	Severidade		
			Baixa	Média	Alta
1	trinca por fadiga	m ²	13,3	8,5	3,0
7	remendo	número	8	8	1
		m ²	61,9	83,4	6,7

A tabela 31 resume as estimativas de índices para avaliação de estado de superfície de pavimentos propostos por DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997).

**Tabela 31 - Índices para classificação do estado de superfície de pavimentos.
São Carlos, SP, Setembro 1997.**

Segmento de Rua	Autor					
	DNER (1978c)	SHAHIN & KOHN (1979)	ASPHALT INSTITUTE (1989)	CHEN <i>et al.</i> (1993)	KHEDR & EL DIMEERY (1994)	BERTOLLO (1997)
1. Av. São Carlos	185	27	87	96	57	94
2. Rua XV de Novembro	130	45	86	85	73	61
3. Rua Cons. João Alfredo	115	52	85	63	73	51
4. Rua Paulino B A Sampaio	130	24	84	79	70	64
5. Av. Marginal	170	32	82	80	70	60
6. Rua Luiz V Toledo Pizza	150	21	84	58	61	48
7. Rua Luiz V Toledo Pizza	120	31	82	83	65	41
8. Rua Antonio Blanco	60	75	88	97	95	93
9. Rua Antonio Blanco	25	77	88	99	98	97
10. Alameda Crisântemos	175	32	72	81	69	62
11. Rua Miguel Petroni	40	86	92	68	84	59
12. Av. João de Guzzi	135	42	83	87	81	70
13. Rua Prof. J. F. Camargo	65	55	88	97	92	88

6 PADRONIZAÇÃO DE ÍNDICES E TESTES ESTATÍSTICOS

Nesse capítulo descreve-se e relata-se a padronização de índices para avaliação de superfície de pavimentos a uma mesma escala, e um conjunto de testes de hipótese que se constituiu no arcabouço básico para as análises que levaram às conclusões do presente trabalho.

6.1 *Padronização de escalas para os índices de condição de pavimentos*

Os índices para avaliação de superfície de pavimentos do ponto de vista de conforto e segurança do tráfego de veículos propostos por HRB (1961), DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997), são expressos por diferentes escalas de medida. Dessa forma, para compararmos tais variáveis, é necessário *padronizar as escalas dos elementos para estimá-los, ou, padronizar os índices.*

O ASPHALT INSTITUTE (1989, p. 393) propõe, por exemplo, que para padronizar o seu índice, que varia de 0 a 100, ao exposto pelo HRB (1961), use-se a divisão por 20. *Isso se deve à clareza que reinou entre os técnicos do ASPHALT INSTITUTE ao tentar usar os padrões fixados pelo estudo dos resultados obtidos na Pista Experimental da AASHO.*

Para atribuição de notas adotou-se a escala de 0 a 5 proposta pelo HRB (1961). Assim, para comparar os diferentes métodos com os resultados obtidos, deve-se padronizar os índices de diversas expressões do *PCI* a esse tipo de escala. A tabela 32 resume as transformações necessários para isso.

Tabela 32 - Transformações matemáticas para padronização de escala de índices para medida de condição de superfície de pavimento

Autor	Índice	Intervalo de variação	Novo Índice	Transformação
DNER (1978c)	IGG	500 a 0	PCI'	$PCI' = \frac{500 - IGG}{100}$
SHAHIN & KOHN (1979)	PCI	0 a 100	PCI'	$PCI' = \frac{PCI}{20}$
ASPHALT INSTITUTE (1989)	PCI	0 a 100	PCI'	$PCI' = \frac{PCI}{20}$
CHEN <i>et al.</i> (1993)	PCI	0 a 100	PCI'	$PCI' = \frac{PCI}{20}$
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	PCI	0 a 100	PCI'	$PCI' = \frac{PCI}{20}$
BERTOLLO (1997)	ICP	0 a 100	PCI'	$PCI' = \frac{ICP}{20}$

Transformando-se os índices descritos na tabela 31, obtidos a partir das estimativas propostas por DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997), obtêm-se os índices padronizados para a escala de 0 a 5 do HRB (1961) para os segmentos de rua estudados expostos na tabela 33.

Tabela 33 – Índices padronizados para a escala de notas de 0 a 5 proposta pelo HRB (1961). São Carlos, SP. Setembro 1997

Segmento de Rua	Autor					
	DNER (1978c)	SHAHIN & KOHN (1979)	ASPHALT INSTITUTE (1989)	CHEN <i>et al.</i> (1993)	KHEDR & EL DIMEERY (1994)	BERTOLLO (1997)
Av. São Carlos	3,16	1,37	4,37	4,81	2,85	4,70
Rua XV de Novembro	3,70	2,25	4,30	4,27	3,67	3,05
Rua Cons. João Alfredo	3,83	2,58	4,23	3,17	3,64	2,57
Rua Paulino B de A Sampaio	3,72	1,22	4,18	3,94	3,50	3,19
Av. Marginal	3,30	1,58	4,11	3,99	3,52	2,98
Rua Luiz Vaz Toledo Pizza	3,51	1,05	4,18	2,92	3,04	2,42
Rua Luiz Vaz Toledo Pizza	3,82	1,53	4,08	4,15	3,23	2,07
Rua Antonio Blanco	4,39	3,75	4,40	4,84	4,75	4,64
Rua Antonio Blanco	4,77	3,85	4,40	4,97	4,91	4,87
Alameda dos Crisântemos	3,26	1,58	3,58	4,04	3,44	3,12
Rua Miguel Petroni	4,62	4,28	4,59	3,38	4,18	2,97
Av. João de Guzzi	3,66	2,10	4,15	4,34	4,03	3,50
Rua Prof. José F. Camargo	4,33	2,76	4,39	4,86	4,61	4,41

Com os padrões propostos pelo HRB (1961), tem-se a classificação de estado de superfície de pavimentos resumida na tabela 34.

Tabela 34 - Classificação de superfície de pavimentos dos trechos estudados, pelos critérios e após padronização de índices para a escala do HRB (1961). São Carlos, SP. Setembro 1997

Segmento de Rua	Autor					
	DNER (1978c)	SHAHIN & KOHN (1979)	ASPHALT INSTITUTE (1989)	CHEN <i>et al.</i> (1993)	KHEDR & EL DIMEERY (1994)	BERTOLLO (1997)
Av. São Carlos	Bom	Ruim	Ótimo	Ótimo	Regular	Ótimo
Rua XV de Novembro	Bom	Regular	Ótimo	Ótimo	Bom	Bom
Rua Cons. João Alfredo	Bom	Regular	Ótimo	Bom	Bom	Regular
Rua Paulino B de A Sampaio	Bom	Ruim	Ótimo	Bom	Bom	Bom
Av. Marginal	Bom	Ruim	Ótimo	Bom	Bom	Regular
Rua Luiz Vaz Toledo Pizza	Bom	Ruim	Ótimo	Regular	Bom	Regular
Rua Luiz Vaz Toledo Pizza	Bom	Ruim	Ótimo	Ótimo	Bom	Regular
Rua Antonio Blanco	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Rua Antonio Blanco	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Alameda dos Crisântemos	Bom	Ruim	Bom	Ótimo	Bom	Bom
Rua Miguel Petroni	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo	Regular
Av. João de Guzzi	Bom	Regular	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom
Rua Prof. José F. Camargo	Ótimo	Regular	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo

Convém observar, partindo dos resultados expostos na tabela 34, após padronização para a escala do HRB (1961):

- a) Exceto os índices padronizados a partir do exposto por SHAHIN & KOHN (1979), e BERTOLLO (1997), os outros de pouco serviriam para *separar em classes os segmentos de rua estudados*.
- b) DNER (1978c) e ASPHALT INSTITUTE (1989) classificam os trechos de "bom" a "ótimo";
- c) CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) separam pouco os trechos em classes.

Ou seja, há que se sugerir que, no mínimo, seria um risco recomendar os índices propostos por DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997) para a separação em classes de estado de superfícies de pavimentos nos trechos de rua estudados.

Entretanto, estorço científico, ou resultados de pesquisa tecnológica, não podem ser simplesmente perdidos porque há risco em usá-los. Pode ser que a continuidade de discussões possa levar à identificação de novos postulados que orientem o estudo do sujeito que analisamos, o comportamento da superfície de pavimento dos pontos de vista de conforto e segurança ao tráfego e conforme opiniões expressas por clientes da via através de notas. Isso justifica o conjunto de tentativas de obtenção de informações através de alguns testes da estatística que se relata a seguir.

6.2 A igualdade entre médias de notas atribuídas pelos avaliadores

Os principais critérios para análise dos resultados de estimativa de índice e atribuição de notas ao comportamento de superfície de pavimentos dos trechos avaliados do ponto de vista de conforto e segurança ao tráfego serão a igualdade e a diferença entre médias de notas ou índices. O padrão de comparação tem a escala de 0 a 5, proposta em HRB (1961).

O procedimento e roteiro utilizado será o de teste de hipótese:

- a) Identificar a hipótese nula, H_0 ,
- b) O nível de significância adotado é $\alpha = 0,05$;
- c) Escolher o teste estatístico e estimar seu valor a partir das notas;
- d) Determinar a região crítica;
- e) Testar a hipótese

As tabelas 35 a 37 resumem resultados de testes estatísticos sobre a igualdade de médias entre os índices padronizados conforme a escala HRB (1961) e os diversos grupos de avaliadores que atribuíram notas aos segmentos de rua estudados.

Tabela 35 - Igualdade entre “médias de índices padronizados para a escala HRB (1961)” com a “média de notas de todos os avaliadores”.
 $H_0 = \text{AS MÉDIAS SÃO IGUAIS}$, $t_{\text{crítico}}(t) = |2.18|$

Autor			Conclusão
DNER (1978c)	t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	-8,70 1,68.10 ⁻⁶	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
SHAHIN & KOHN (1979)	t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,75 0,02	
ASPHALT INSTITUTE (1989)	t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	-11,18 1,06.10 ⁻⁷	
CHEN <i>et al.</i> (1993)	t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	-7,15 1,16.10 ⁻⁵	
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	-6,40 3,41.10 ⁻⁵	
BERTOLLO (1997)	t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	-3,02 0,01	

As informações contidas na tabela 35 indicam que as “médias de índices às hipóteses fixados pelo HRB (1961)” provavelmente *não são iguais às médias de notas de todo o conjunto de avaliadores*.

Mais à frente testaremos a hipótese sobre a condição “poderá existir uma diferença constante entre o par de médias correspondentes ao dois conjuntos de dados distintos de observação sobre o estado da superfície dos segmentos analisados”.

Analisando-se os dados expostos na tabela 35 pode-se concluir que: após padronização à escala HRB (1961), os índices propostos por DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997) são associados, com grande probabilidade, à hipótese de que as médias de notas atribuídas pelo total de avaliadores e os índices estimados e padronizados são diferentes.

Tabela 36 – Testes sobre a igualdade entre “médias de índices padronizados para a escala HRB (1961)” e “médias de notas de avaliadores com experiência prévia em avaliação de pavimentos”. $H_0 = AS\ MÉDIAS\ SÃO\ IGUAIS$

Autor			Conclusão
DNER (1978c)	t crítico (t)	2,06	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	3,90	
	P(T<=t) bi-caudal	$7,15 \cdot 10^{-4}$	
SHAHIN & KOHN (1979)	t crítico (t)	2,08	Aceita-se a hipótese de que as médias são iguais. Mas, a probabilidade de que isso seja verdade é 8%
	t estimado (T)	-1,84	
	P(T<=t) bi-caudal	0,08	
ASPHALT INSTITUTE (1989)	t crítico (t)	2,13	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	6,63	
	P(T<=t) bi-caudal	$8,04 \cdot 10^{-6}$	
CHEN <i>et al.</i> (1993)	t crítico (t)	2,06	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	4,58	
	P(T<=t) bi-caudal	$1,20 \cdot 10^{-4}$	
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	t crítico (t)	2,06	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	3,32	
	P(T<=t) bi-caudal	$2,84 \cdot 10^{-4}$	
BERTOLLO (1997)	t crítico (t)	2,07	Aceita-se a hipótese de que as médias são iguais. Mas, a probabilidade de que isso seja verdade é 14%.
	t estimado (T)	1,51	
	P(T<=t) bi-caudal	0,14	

Analisando-se os dados expostos na tabela 36 pode-se concluir que: após padronização à escala HRB (1961), os índices propostos por DNER (1978c), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), e KHEDR & EL DIMEERY (1994) são associados, com grande probabilidade, à hipótese de que as médias de notas atribuídas pelos avaliadores com experiência anterior no estudo de pavimentos e índices padronizados são diferentes.

Mas, os índices padronizados à escala HRB (1961) provenientes de aplicações de conceitos de SHAHIN & KOHN (1979) ou BERTOLLO (1997), com pequena probabilidade, são associáveis à hipótese de que as médias de notas atribuídas pelos avaliadores com experiência anterior no estudo de pavimentos e índices padronizados podem ser estatisticamente iguais.

Tabela 37 – Testes sobre a igualdade entre “médias de índices padronizados para a escala HRB (1961)” e “médias de notas de avaliadores sem experiência em avaliar pavimentos”.
 $H_0 = \text{AS MÉDIAS SÃO IGUAIS}$

Autor			Conclusão
DNER (1978c)	t crítico (t)	2,06	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	4,84	
	P(T<=t) bi-caudal	$6,27 \cdot 10^{-5}$	
SHAHIN & KOHN (1979)	t crítico (t)	2,10	Aceita-se a hipótese de que as médias são iguais. Mas, a probabilidade de que isso seja verdade é 16%.
	t estimado (T)	-1,48	
	P(T<=t) bi-caudal	0,16	
ASPHALT INSTITUTE (1989)	t crítico (t)	2,12	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	8,16	
	P(T<=t) bi-caudal	$4,29 \cdot 10^{-7}$	
CHEN et al. (1993)	t crítico (t)	2,06	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	5,42	
	P(T<=t) bi-caudal	$1,43 \cdot 10^{-5}$	
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	t crítico (t)	2,06	Rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	4,10	
	P(T<=t) bi-caudal	$4,09 \cdot 10^{-4}$	
BERTOLLO (1997)	t crítico (t)	2,09	Aceita-se a hipótese de que as médias são iguais. Mas, a probabilidade de que isso seja verdade é 6%.
	t estimado (T)	2,03	
	P(T<=t) bi-caudal	0,06	

Analisando-se os dados expostos na tabela 37 pode-se concluir que: após padronização à escala HRB (1961), os índices propostos por DNER (1978c), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), e KHEDR & EL DIMEERY (1994) são associados, com grande probabilidade, à hipótese de que as médias de notas atribuídas pelos avaliadores sem experiência anterior em avaliação de pavimentos e índices padronizados são diferentes.

Mas, os índices padronizados à escala HRB (1961) provenientes de aplicações de conceitos de SHAHIN & KOHN (1979) ou BERTOLLO (1997), com pequena probabilidade, são associáveis à hipótese de que as médias de notas atribuídas pelos avaliadores sem experiência anterior em estudo de pavimentos e índices padronizados podem ser estatisticamente iguais.

6.3 Análise estatística de diferenças entre médias

A análise das hipóteses sobre existir *diferenças entre médias de dados para avaliação de superfície de pavimento* usou processos clássicos na estatística:

- Estima-se a diferença entre as médias de pares de amostras dos índices ou notas analisados,
- E, submete-se o conjunto de dados correspondentes às duas amostras analisadas ao teste t para hipóteses sobre as médias (maiores detalhes no item 4.6) - no caso tratado, são treze os segmentos de rua que fornecem as médias para cada elemento do par a estudar;
- O critério usado foi adotar como "*diferença entre médias*" dos conjuntos estudados a *estimativa da diferença entre as médias estimadas para amostras verificadas*. A tabela 38 resume estimativas dessas diferenças para índices padronizados e notas atribuídas pelos avaliadores. A tabela 39, idem, entre grupos de avaliadores.

Tabela 38 – Diferenças entre “médias de índices padronizados para a escala HRB (1961)” e “médias de notas de avaliadores”

Autor	Todos os avaliadores	Avaliadores sem experiência anterior	Avaliadores com experiência anterior
DNER (1978c)	1,02	0,91	1,05
SHAHIN & KOHN (1979)	-0,54	-0,64	-0,50
ASPHALT INSTITUTE (1989)	1,39	1,28	1,42
CHEN et al. (1993)	1,29	1,19	1,33
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	0,96	0,85	0,99
BERTOLLO (1997)	0,59	0,48	0,62

Tabela 39 - Diferença entre médias de notas de grupos de avaliadores

	Avaliadores sem experiência anterior	Avaliadores com experiência anterior
Todos os avaliadores	0,03	0,11
Avaliadores com experiência anterior	0,14	

As tabelas 40 a 42 resumem os resultados de testes sobre as diferenças de médias entre os índices padronizados para a escala HRB (1961) e as notas atribuídas pelos avaliadores à superfície dos segmentos de rua estudados.

Tabela 40 – Testes sobre as diferenças entre as “médias de índices padronizados para a escala HRB (1961)” e a “médias de notas de todos os avaliadores”.
 $H_0 = A$ DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS TEM VALOR CONHECIDO, IGUAL À DIFERENÇA ENTRE AS ESTIMATIVAS DE MÉDIAS, E, É ESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTE

Autor				Conclusão
DNER (1978c)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,07 -0,02 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por DNER (1978c), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas do conjunto de avaliadores tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.	
SHAHIN & KOHN (1979)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,09 -3,13 $5,48 \cdot 10^{-3}$	Rejeita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por SHAHIN & KOHN (1979), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas do conjunto de avaliadores tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.	
ASPHALT INSTITUTE (1989)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,12 0,01 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por ASPHALT INSTITUTE (1989), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas do conjunto de avaliadores tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.	
CHEN et al. (1993)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,06 0,02 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por CHEN et al. (1993), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas do conjunto de avaliadores tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.	
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,06 0,01 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por KHEDR & EL DIMEERY (1994), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas do conjunto de avaliadores tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.	
BERTOLLO (1997)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,07 -0,01 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por BERTOLLO (1997), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas do conjunto de avaliadores tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.	

Tabela 41 – Teste sobre as diferenças entre as “médias de índices padronizados para a escala HRB (1961)” e “médias de notas de avaliadores com experiência anterior”.

$H_0 =$ A DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS TEM VALOR CONHECIDO, IGUAL À DIFERENÇA ENTRE AS ESTIMATIVAS DE MÉDIAS, E É ESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTE

Autor			Conclusão
DNER (1978c)	t crítico (t)	2,06	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por DNER (1978c), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores com experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.
	t estimado (T)	-0,01	
	P(T<=t) bi-caudal	0,99	
SHAHIN & KOHN (1979)	t crítico (t)	2,09	Rejeita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por SHAHIN & KOHN (1979), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores com experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
	t estimado (T)	-3,67	
	P(T<=t) bi-caudal	1,53.10 ⁻³	
ASPHALT INSTITUTE (1989)	t crítico (t)	2,13	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por ASPHALT INSTITUTE (1989), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores com experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 98%.
	t estimado (T)	0,02	
	P(T<=t) bi-caudal	0,98	
CHEN et al. (1993)	t crítico (t)	2,06	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por CHEN et al. (1993), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores com experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.
	t estimado (T)	-0,02	
	P(T<=t) bi-caudal	0,99	
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	t crítico (t)	2,06	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por KHEDR & EL DIMEERY (1994), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores com experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.
	t estimado (T)	0,01	
	P(T<=t) bi-caudal	0,99	
BERTOLLO (1997)	t crítico (t)	2,07	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por BERTOLLO (1997), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores com experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.
	t estimado (T)	-4,87.10 ⁻³	
	P(T<=t) bi-caudal	0,99	

Tabela 42 – Teste sobre as diferenças entre as “médias de índices padronizados para a escala HRB (1961)” e “médias de notas de avaliadores sem experiência anterior”.

$H_0 =$ A DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS TEM VALOR CONHECIDO, IGUAL À DIFERENÇA ENTRE AS ESTIMATIVAS DE MÉDIAS, E É ESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTE

Autor			Conclusão
DNER (1978c)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,06 -0,01 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por DNER (1978c), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores sem experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.
SHAHIN & KOHN (1979)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,10 -2,95 $8,52 \cdot 10^{-3}$	Rejeita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por SHAHIN & KOHN (1979), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores sem experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, é muito pequena a probabilidade de que isso não seja verdade.
ASPHALT INSTITUTE (1989)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,12 0,02 0,98	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por ASPHALT INSTITUTE (1989), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores sem experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 98%.
CHEN et al. (1993)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,06 -0,02 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por CHEN et al. (1993), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores sem experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.
KHEDR & EL DIMEERY (1994)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,06 0,02 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por KHEDR & EL DIMEERY (1994), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores sem experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.
BERTOLLO (1997)	t crítico (t) t estimado (T) P(T<=t) bi-caudal	2,09 $-5,05 \cdot 10^{-3}$ 0,99	Aceita-se a hipótese de que a diferença entre as médias de índices estimados por BERTOLLO (1997), padronizados à escala HRB (1961), e a média de notas de avaliadores sem experiência anterior tem valor conhecido, igual à diferença entre as estimativas de médias dessas notas. E, a probabilidade de que isso seja verdade é 99%.

Analisando-se os dados expostos nas tabelas 40 a 42 pode-se concluir que: após padronização à escala HRB (1961), os índices propostos por DNER (1978c), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997) podem ser associados, com probabilidade entre 98 e 99%, à hipótese de que as diferenças entre as médias de notas atribuídas pelos avaliadores têm valor igual à diferença entre as estimativas para os índices padronizados e as estimativas para médias dos avaliadores dos segmentos de rua estudados nesse trabalho.

Mas, o índice proposto por SHAHIN & KOHN (1979), com pequena probabilidade, pode ser associado à hipótese de que a diferença entre as médias de notas atribuídas pelo conjunto de avaliadores não tem valor igual à diferença entre as estimativas das médias para os índices padronizados e as estimativas para médias de avaliadores dos segmentos de rua estudados.

6.4 Análises estatísticas sobre distribuição de aceitação pelos avaliadores dos segmentos estudados para o tráfego de veículos

A análise estatística sobre as diferenças entre dados sobre aceitação de superfície de pavimento dos segmentos estudados para o tráfego de veículos entre os grupos de avaliadores foi efetuada através de uso de procedimentos clássicos na estatística. A principal hipótese adotada foi "a porcentagem de ocorrência de "sim" ou "não" (obtidos através dos dados relatados na tabela 16) nas respostas sobre aceitação de segmentos de rua analisados é uma estimativa para a média de porcentagens de ocorrência da aceitação de trechos de superfície de pavimentos". Assim:

- a) Estimaram-se médias e desvios padrão de porcentagens de ocorrência de “aceito” ou “não aceito” para tráfego dos treze segmentos de rua analisados,
- b) E, submeteu-se esse conjunto de dados a testes de hipóteses para verificar igualdade entre porcentagens - o teste t sobre as médias mais uma vez foi o processo usado (maiores detalhes no item 4.6);
- c) O critério usado em estudos sobre “*diferença entre médias*” foi, mais uma vez, adotar a *estimativa da diferença entre as médias estimadas para amostras* como parâmetro para controle.
- d) O tamanho de amostras (n) por tipo de resposta (“aceitam” ou “não aceitam”) é igual a 13. O nível de significância α foi adotado igual a 0,05.

A tabela 43 resume as porcentagens de aceitação para os segmentos de rua estudados, os dados foram estimados a partir das informações na tabela 16.

Tabela 43 – Diferenças entre porcentagens de ocorrência de aceitação de superfície de segmentos de rua estudados

GRUPOS	Avaliadores sem experiência anterior		Avaliadores com experiência anterior	
	Aceitam	Não Aceitam	Aceitam	Não Aceitam
Todos os avaliadores	40,0%	4,41%	32,7%	7,5%
Avaliadores com experiência anterior	7,4%	3,0%		

A tabela 44 resume os resultados de testes estatísticos sobre a igualdade estatística das ocorrências de porcentagens de “aceitação” da superfície de segmentos de rua estudados para o tráfego de veículos.

Tabela 44 – Testes sobre a igualdade estatística entre porcentagens de ocorrência de “ACEITO” sobre segmentos de rua para o tráfego de veículos entre os avaliadores.
 $H_0 =$ AS PORCENTAGENS DOS QUE ACEITAM OS SEGMENTOS PODEM SER IGUAIS

GRUPOS	Todos os avaliadores	Avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos
Avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,09 t estimado (T) 6,13 P(T<=t) bi-caudal 6,69.10 ⁻⁶	
	Ou seja, rejeita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais entre o conjunto de avaliadores e o grupo “com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso não ocorra é muito pequena.	
Avaliadores sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,10 t estimado (T) 7,48 P(T<=t) bi-caudal 6,44.10 ⁻⁷	t crítico (t) bi-caudal 2,06 t estimado (T) 1,74 P(T<=t) bi-caudal 0,09
	Ou seja, rejeita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais entre o conjunto de avaliadores e o grupo “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso não ocorra é muito pequena.	Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais entre avaliadores “com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos” e os “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. Mas, a probabilidade de que isso ocorra é muito pequena (9%).

Analisando as informações contidas na tabela 44 verifica-se que existem evidências de que poderá ocorrer a concordância estatística entre a classificação “aceito o segmento de superfície de pavimento para o tráfego confortável e seguro de veículos” proveniente de avaliadores “com” e “sem” experiência prévia em análise de pavimentos.

Entretanto isso poderá não ser verdade num conjunto mais amplo de avaliadores onde os resultados de “aceitação” misturarem respostas vindas de tais tipos de indivíduos. Ou, entre o conjunto de avaliadores sem experiência prévia em avaliações de superfície de pavimentos.

A tabela 45 resume os resultados de testes estatísticos sobre a igualdade estatística das ocorrências de porcentagens de “não aceitação” da superfície de segmentos de rua estudados para o tráfego de veículos.

Tabela 45 – Testes sobre a igualdade estatística entre porcentagens de ocorrência de “NÃO ACEITO” sobre segmentos de rua para o tráfego de veículos entre os avaliadores.

$H_0 =$ AS PORCENTAGENS DOS QUE NÃO ACEITAM OS SEGMENTOS PODEM SER IGUAIS

GRUPOS	Todos os avaliadores	Avaliadores com conhecimento de avaliação de pavimentos
Avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,14 t estimado (T) 3,02 P(T<=t) bi-caudal 9,18.10 ⁻³	
	Ou seja, rejeita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “não aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais entre o conjunto de avaliadores e o grupo “com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso não ocorra é muito pequena.	
Avaliadores sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,07 t estimado (T) 1,05 P(T<=t) bi-caudal 0,31	t crítico (t) bi-caudal 2,13 t estimado (T) -2,10 P(T<=t) bi-caudal 4,85.10 ⁻²
	Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “não aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais entre o conjunto de avaliadores e o grupo “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. Mas, a probabilidade de que isso ocorra é de 31%.	Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “não aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais entre avaliadores “com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos” e os “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. Mas, a probabilidade de que isso ocorra é pequena.

Analisando as informações contidas na tabela 45 verifica-se que existem evidências de que poderá ocorrer a concordância estatística entre a classificação “não aceito o segmento de superfície de pavimento para o tráfego confortável e seguro de veículos” proveniente de avaliadores “com” e “sem” experiência prévia em análise de pavimentos, entre si, ou com o conjunto de todos os avaliadores.

Entretanto isso poderá não ser verdade num conjunto onde resultados de “não aceitação” misturarem respostas de todos avaliadores e a concordância for testada com respostas de avaliadores “com experiência prévia”.

A tabela 46 resume os resultados de testes estatísticos sobre a igualdade estatística de diferenças de porcentagens de “aceitação”.

Tabela 46 – Testes sobre a igualdade estatística entre diferenças de porcentagens de “ACEITO” sobre segmentos de rua para o tráfego de veículos entre os avaliadores.
 $H_0 = AS DIFERENÇAS ENTRE PORCENTAGENS DE “ACEITO” PODEM SER IGUAIS ÀS DIFERENÇAS ENTRE AS MÉDIAS$

GRUPOS	Todos os avaliadores	Avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos
Avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,08 t estimado (T) $3,5 \cdot 10^{-3}$ P(T<=t) bi-caudal 0,99 Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais à diferença entre as médias do conjunto de avaliadores e os “com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso ocorra é 99%	
Avaliadores sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,08 t estimado (T) $-6,6E-16$ P(T<=t) bi-caudal 0,50 Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais à diferença entre as médias do conjunto de avaliadores e os “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso ocorra é 50%.	t crítico (t) bi-caudal 2,05 t estimado (T) $5,41 \cdot 10^{-3}$ P(T<=t) bi-caudal 0,50 Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais à diferença entre as médias dos “avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos” e os “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso ocorra é 50%.

Ou seja, pode existir significância estatística na ocorrência de diferenças entre porcentagens de aceitação de segmentos para o tráfego de veículos provenientes das respostas do conjunto de avaliadores, e dos grupos “com” ou “sem” experiência anterior com avaliação de pavimentos se o parâmetro para controle for a diferença entre médias dos grupos para atribuir notas.

A tabela 47 resume os resultados de testes estatísticos sobre a igualdade estatística das ocorrências de porcentagens de “não aceitação” da superfície de segmentos de rua estudados para o tráfego de veículos.

Tabela 47 – Testes sobre a igualdade estatística entre diferenças de porcentagens de “NÃO ACEITO” sobre segmentos de rua para o tráfego de veículos entre avaliadores.
 $H_0 =$ AS DIFERENÇAS ENTRE PORCENTAGENS DE “NÃO ACEITO” PODEM SER IGUAIS À DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS

GRUPOS	Todos os avaliadores	Avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos
Avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,08 t estimado (T) $3,62 \cdot 10^{-3}$ P(T<=t) bi-caudal 0,99 Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “não aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais à diferença entre as médias do conjunto de avaliadores e os “com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso ocorra é 99%	
Avaliadores sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos	t crítico (t) bi-caudal 2,06 t estimado (T) $6,05 \cdot 10^{-3}$ P(T<=t) bi-caudal 0,99 Ou seja, aceita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “não aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais à diferença entre as médias do conjunto de avaliadores e os “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso ocorra é 99%.	t crítico (t) bi-caudal 2,06 t estimado (T) -2,96 P(T<=t) bi-caudal $6,54 \cdot 10^{-3}$ Ou seja, rejeita-se a hipótese de que as porcentagens de ocorrências de “não aceitação” dos pavimentos dos segmentos estudados sejam iguais à diferença entre as médias dos “avaliadores com conhecimento prévio de avaliação de pavimentos” e o grupo “sem conhecimento prévio de avaliação de pavimentos”. E, a probabilidade de que isso não seja verdade é muito pequena.

Analisando-se as informações contidas na tabela 47, para mesmos segmentos de rua, as respostas do tipo “não aceito” para os grupos de avaliadores “com” e “sem” experiência provavelmente não têm diferenças estatísticas. Isso é concordante com os resultados expostos na tabela 45.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Nesse capítulo resumem-se algumas conclusões e sugestões que podem ser obtidas a partir do exposto nos capítulos 1 a 6.

7.1 *Padronização de índices e testes de hipótese*

No capítulo 6, após padronização de índices para avaliação de superfície de pavimentos à escala usada em HRB (1961), e um conjunto de testes de hipótese pode-se inferir que:

A transformação de índices, resumida na tabela 31 a partir das estimativas propostas por DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997) para a escala de 0 a 5 do HRB (1961), tabela 33, leva à sugestão de que: *no mínimo, seria um risco recomendar os índices propostos por DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN et al. (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997) para a separação em classes de estado de superfícies de pavimentos nos trechos de rua estudados.*

A sugestão do parágrafo anterior não é uma negação dos processos propostos, mas uma advertência: deve-se evitar a translação pura e simples de processos para classificação de estado de superfície de pavimentos. Isso porque em cada localidade os motoristas e passageiros poderão reagir de maneira diferente às distribuições de defeitos na superfície de pavimento e poderão ter diferentes sensações de conforto e segurança em viagem.

Negação, haveria sim a qualquer tentativa de translação de processos para classificação independentes da análise através de notas por motoristas e passageiros da comunidade que vai utilizar o conjunto de vias cujo pavimento é avaliado. Isso porque os primeiros autores a escrever sobre o assunto (CAREY & IRICK, 1960) já ressaltavam a idéia de que *a nota atribuída pelos que vão usar a via é a variável fundamental na classificação de estado de superfície de pavimentos para o tráfego de veículos.*

Apesar de não declarado explicitamente pelo órgão, sugerimos observar que o DNER (DNER, 1978b) propõe o “grupo de avaliação” como elemento fundamental para classificar pavimentos, dever-se-ia ler “serviços prestados pela superfície de pavimentos ao tráfego de veículos, do ponto de vista de motoristas e passageiros” – mas, o que está ruim na proposta do DNER é a delegação a um grupo de cinco técnicos a atividade de expressar as opiniões dos motoristas e passageiros. *A questão a ser respondida pelas notas ao estado de superfície de pavimento é “qual a sensação de conforto e segurança na viagem, serviço prestado pela superfície de pavimento”* – as respostas poderão ser diferentes das opiniões expressas por técnicos, ou aplicação de “modelos” que em alguma hora foram calibrados, em algum lugar, a partir de notas atribuídas por algum grupo de avaliadores nas suas relações com os defeitos de superfície de pavimento.

7.2 Sobre igualdade de médias de índices padronizados e notas de avaliadores

Testes estatísticos sobre a igualdade de médias entre os índices padronizados conforme a escala HRB (1961), resumidos na tabela 35, indicam que as “médias de índices padronizados às hipóteses fixados pelo HRB (1961)” provavelmente *não são iguais às médias de notas atribuídas por todo o conjunto de avaliadores que atribuíram notas ao serviço prestado ao tráfego pela superfície de pavimento dos segmentos estudados.*

Ou, levam à conjectura de que, após padronização à escala HRB (1961), os índices propostos por DNER (1978c), SHAHIN & KOHN (1979), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997) são associados, com grande probabilidade, à hipótese de que as médias de notas atribuídas pelo total de avaliadores e os índices estimados e padronizados à escala HRB (1961) são diferentes.

Testes estatísticos sobre a igualdade de médias entre os índices padronizados conforme a escala HRB (1961), expostos na tabela 36 levam à a concluir que: após padronização à escala HRB (1961), os índices propostos por DNER (1978c), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), e KHEDR & EL DIMEERY (1994) são associados, com grande probabilidade, à hipótese de que as médias de notas atribuídas pelos grupos de avaliadores classificados em “com” ou “sem” experiência anterior no estudo de pavimentos, e índices padronizados à escala HRB (1961) são diferentes.

Mas, as diferenças entre médias sugeridas nas tabelas 35, 36 e 37 não devem ser usadas para negar, ou aprovar métodos. Essas conjecturas apenas servem para ressaltar a idéia de que cada conjunto de processos de avaliadores pode identificar valores da comunidade que vai usar o pavimento estudado, porque as notas às superfícies de pavimento refletem a cultura local sobre viagens. Ou seja, num local com toda uma rede de pavimentos deteriorados classifica-se de “mais deteriorados” a “menos deteriorados”. Em outra, com pavimentos com melhor superfície, de “menos melhor” a “mais melhor” - desculpem o português. A classificação é sempre relativa e interna à rede que se analisa.

Mas, os mesmos testes levam à conjectura de que os índices padronizados à escala HRB (1961) provenientes de aplicações de conceitos expostos por SHAHIN & KOHN (1979) ou BERTOLLO (1997), com pequena probabilidade, são associáveis à hipótese de que as médias de notas

atribuídas pelos grupos de avaliadores classificados em “com” ou “sem” experiência anterior no estudo de pavimentos e índices padronizados podem ser estatisticamente iguais.

Sem querer comparar a qualidade do exposto em SHAHIN & KOHN (1979) ou BERTOLLO (1997) com o relatado em DNER (1978c), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN et al. (1993), e KHEDR & EL DIMEERY (1994), há que se ressaltar que uma a conjectura obtida a partir desse resultados pode ser: *mantidos os processos expostos por SHAHIN & KOHN (1979) é provável que melhores e maior volume de estudos sobre as relações entre as notas atribuídas por motoristas e passageiros poderão melhorar a capacidade de classificação de serviços prestados por superfície de pavimentos.*

7.3 Análise estatística de diferenças entre médias

Os resultados de testes sobre as diferenças de médias entre os índices padronizados para a escala HRB (1961) e as notas atribuídas pelos avaliadores à superfície dos segmentos de rua estudados, expostos nas tabelas de 40 a 42, mostram que os índices propostos por DNER (1978c), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN et al. (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997) podem ser associados, com probabilidade entre 98 e 99%, à hipótese de que as diferenças entre as médias de notas atribuídas pelos avaliadores têm valor igual à diferença entre as estimativas para os índices padronizados à escala HRB (1961) e as estimativas para médias de notas atribuídas por avaliadores dos segmentos de rua estudados nesse trabalho.

A conjectura acima pode levar à hipótese de que, ao tentar expressar as distribuições de notas atribuídas por usuários, as distribuições de índices estimados para avaliar superfície de pavimentos dos segmentos estudados poderiam ser “curvas paralelas”, ou seja, os valores dessas variáveis difeririam por constantes iguais às diferenças entre médias de índices

estimados pelos métodos propostos por DNER (1978c), ASPHALT INSTITUTE (1989), CHEN *et al.* (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e BERTOLLO (1997). Ou seja, na sua essência, os processos são equivalentes ao proposto pelo HRB (1961), e, *considerando que essa afirmativa vai diretamente à comprovação de que existiu o uso de notas atribuídas pela comunidade que trafegue pela superfície do pavimento, poderá ser estratégico observar que os processos expostos dependeram, em algum momento, de notas atribuídas por avaliadores.*

O parágrafo acima deixa no ar a questão: *porque não trabalhar sempre com notas à superfície de segmentos de vias em uma rede?* Hoje isso pode ser barato, grupos de avaliadores podem diferir, o processamento de dados em computadores é fácil, a estatística evolui e pode ser utilizada para padronizar dados que orientem de maneira eficiente e eficaz os que necessitem fornecer informações para decisões sobre investimentos em pavimentos.

Alguém poderia até dizer que os *índices discutidos nesse trabalho são dispensáveis porque são resultados de tentativas para expressar indiretamente as notas atribuídas por avaliadores ao serviço.*

Mas, o índice proposto por SHAHIN & KOHN (1979), com pequena probabilidade, pode ser associado à *hipótese de que a diferença entre as médias de notas atribuídas pelo conjunto de avaliadores não tem valor igual à diferença entre as estimativas das médias para os índices padronizados à escala HRB (1961) e as estimativas para médias de notas atribuídas por avaliadores dos segmentos de rua estudados.*

A conjectura exposta no parágrafo acima pode ser usada para sugerir que a aplicação dos procedimentos de SHAHIN & KOHN (1979) levou, no experimento efetuado, a diferenças entre médias diversas, e não relacionáveis à média de notas atribuídas pelos avaliadores dos segmentos estudados. Nada mais.

7.4 Análises estatísticas sobre distribuição de aceitação pelos avaliadores dos segmentos estudados para o tráfego de veículos

O teste da hipótese “a porcentagem de ocorrência de ‘sim’ ou ‘não’ (obtidos através dos dados relatados na tabela 16) nas respostas sobre aceitação de segmentos de rua analisados é uma estimativa para a média de porcentagens de ocorrência da aceitação de trechos de superfície de pavimentos” levou às conjecturas expostas abaixo:

- a) Poderá ocorrer a concordância estatística entre a classificação “aceito o segmento de superfície de pavimento para o tráfego confortável e seguro de veículos” proveniente de avaliadores “com” e “sem” experiência prévia em análise de pavimentos.
- b) Isso poderá não ser verdade no conjunto de todos os avaliadores onde os resultados de “aceitação” misturarem respostas vindas de tais tipos de indivíduos. Ou, o conjunto de avaliadores sem experiência prévia em avaliações de superfície de pavimentos.
- c) Poderá ocorrer a concordância estatística entre a classificação “não aceito o segmento de superfície de pavimento para o tráfego confortável e seguro de veículos” proveniente de avaliadores “com” e “sem” experiência prévia em análise de pavimentos, entre si, ou com o conjunto de todos os avaliadores. E, isso poderá não ser verdade num conjunto onde resultados de “não aceitação” misturarem respostas de todos avaliadores e a concordância for testada entre respostas de avaliadores “com experiência prévia”.

Em resumo: poderá ocorrer a diferença estatística entre as médias de ocorrência de respostas sobre a aceitação de superfície de pavimentos entre os diversos grupos de avaliadores dos segmentos de rua analisados.

Os resultados expostos na tabela levam à conjectura de que pode existir significância estatística na ocorrência de diferenças entre porcentagens de aceitação, para as respostas “aceito” segmentos para o tráfego de veículos, provenientes das respostas do conjunto de avaliadores, e dos grupos “com”



ou “sem” experiência anterior com avaliação de pavimentos se o parâmetro para controle for a diferença entre médias dos grupos para atribuir notas.

O exposto no parágrafo acima é equivalente a indicar que a resposta “*aceito*” *é uma variável que pode ser usada para classificação de segmentos de pavimentos durante tomada de decisões.*

A tabela 47 resume os resultados de testes estatísticos sobre a igualdade estatística das ocorrências de porcentagens de “não aceitação” da superfície de segmentos de rua estudados para o tráfego de veículos.

As informações expostas na tabela 47 para mesmos segmentos de rua, as respostas do tipo “não aceito” para os grupos de avaliadores “com” e “sem” experiência provavelmente podem não ser acompanhadas da significância entre as diferenças estatísticas das ocorrências de respostas nos dois grupos. Isso chama atenção para um fato: *os avaliadores com experiência anterior poderão incluir informações que não fazem parte da cultura da comunidade que vai usar a via dentre as notas que atribuirão.*

7.5 Conclusões finais

O exposto *mostrou que notas atribuídas por motoristas e passageiros podem ser usadas como dados de avaliação de comportamento da superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos.* Também, recordou que essas variáveis podem contribuir para identificar relações entre o grau de satisfação de quem usa rodovias e características da estrutura e manutenção de pavimentos, os defeitos de superfície.

Ressaltou-se a idéia de avaliadores treinados podem fornecer informações que podem contribuir durante a tomada de decisões sobre classificações de serviços prestados pela superfície de pavimentos. Mas também que o tipo de formação do grupo de avaliadores poderá ou não refletir a cultura de uma

comunidade ao usar e sentir o conforto e segurança que a via coloca disponível ao tráfego de veículos.

Ninguém quer afirmar que avaliadores possam fazer o projeto de ações sobre o pavimento. Mas, *o exposto nesse trabalho sugere que índices e procedimentos para classificar pavimentos poderiam ser perfeitamente substituídos por notas atribuídas pelos usuários*. Basta treinar e compor o grupo de avaliadores corretamente.

7.6 Sugestões

Os resultados expostos sugerem que os avaliadores treinados podem fornecer informações para a classificação de serviços fornecidos pela superfície de pavimentos ao tráfego de veículos.

A principal sugestão decorrente é ampliar o uso de avaliadores durante processos para classificação de necessidade de investimentos em pavimentos. Aceitar que avaliadores podem expressar a cultura da comunidade é equivalente à compor-se com a hipótese de que os recursos em pavimentos devem ser aplicados para melhorar o atendimento das necessidades de conforto e segurança durante o tráfego pela via.

Também há que se sugerir que, durante o uso de conceitos e índices tradicionais sobre a classificação de serviços prestados por pavimentos não se deve perder de vista que tais “modelos” foram calibrados em condições diferentes daqueles onde estão sendo usados.

Os avaliadores poderiam ser objeto de estudos que desenvolvessem a capacidade de planejamento contínuo sobre redes de pavimentos – hoje o uso de computadores poderia, por exemplo, manter atualizado qualquer banco de dados sobre estado de pavimentos em uma cidade. E, avaliadores podem fornecer notas a todo o instante.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, K.; BRADFORD, L.J. (1992). *Serviços com Qualidade: A Vantagem Competitiva*. MAKRON Books. São Paulo, SP.
- AL-OMARI, B.; DARTER, M.I. (1994). Relationships between international roughness index and present serviceability rating. *Transportation Research Record*, n.1435, p.130-136.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1985). *Proposed AASHTO guide for design of pavement structures*. NCHRP Report 20-7/24. Washington.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1991). *Pavement Management Implementation*. HOLT/GRAMLING, editors. STP 1121.
- ASPHALT INSTITUTE (1989). *The Asphalt Handbook*. MS-4, p.392-399.
- BERTOLLO, S.A.M. (1997). *Considerações sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede*. 194p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CAREY, W.N.; IRICK, P.E. (1960). The pavement serviceability - performance concept. *Highway Research Board*, n.250, p.40-58.
- CHASE, W.; BOWN, F. (1992). *General Statistics*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978a). *DNER TER 01/78 – Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos. Terminologia*. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978b). *DNER PRO 07/78 - Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos. Procedimentos*. Rio de Janeiro, RJ.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978c).
DNER PRO 08/78 – Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1979).
DNER PRO 10/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1983a).
DNER ES 128/83 - Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos-testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-rígido para Gerência de Pavimentos a Nível de Rede. Especificação. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1985).
DNER ES 159/85 – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi- Rígidos. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1986).
DNER ES 173/86 - Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo-resposta. Especificação. Rio de Janeiro, RJ.
- FELEX, J.B. (1984). *O Usuário, um Instrumento para Avaliação.* São Carlos. 203p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FWA, T.F.; GAN, K.T. (1989). Bus-ride panel rating of pavement serviceability. *Journal of Transportation Engineering*, n.115(2), p.171-191.
- FWA, T.F.; SINHA, K.T. (1991). Quantification of agency and user values of pavement performance. *Journal of Transportation Engineering*, n.118(1), p.84-98.
- GARG, A.; HOROWITZ, A.; ROSS, F. (1988). Establishing relationships between pavement roughness and perceptions of acceptability. *Transportation Research Record*, n.1196, p.276-285.

- GILLESPIE, T.D. *et. al* (1980). Calibration of response-type road roughness measuring systems. NCHRP Report 228.
- GUALDA, N.D.F.; BALBO, J.T.; BERNUCCI, L.B.; TONDO, C.M.; TALLARICO, L.C. (1992). Planejamento da Manutenção de Pavimentos na Cidade de São Paulo. In: VI CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, Rio de Janeiro, 1992. *Anais*. Rio de Janeiro, ANPET. V.I, p.442-450.
- GULEN, S.; WOODS, R.; WEAVER, J.; ANDERSON, V.L. (1994). Correlation of present serviceability ratings with international roughness index. *Transportation Research Record*, n.1435, p.27-37.
- HAAS, R.; HUDSON, W.R. (1996). Defining and serving clients for pavements. *Transportation Research Record*, n.1524, p.1-9.
- HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Malabar/Florida, Krieger Publishing Company. Cap. 10, p.131-153.
- HIGHWAY RESEARCH BOARD (1961). The Pavement Serviceability - Performance Concept. *Special Report 61E, "The AASHO Road Test", Report 5, Pavement Research*. HIGHWAY RESEARCH BOARD.
- HUDSON *et. al*. (1984). *Pavement performance model development. V.4: Roughness measurement & calibration guidelines*. FHWA-RD-84-106. Federal Highway Administration. Washington, D.C.
- HUDSON, W.R. (1991). Are pavements built for the user? *ASTM Standardization News*. V.19, n.22, p.42-51. Feb.
- HUTCHINSON, B.G. (1966). *Analysis of road roughness records by power spectral density techniques*. Research, Report 101. Department of Highways of Ontario.
- JANOFF, M.S. (1986). Methodology for computing pavement ride quality from pavement roughness measurements. *Transportation Research Record*, n. 1084, p. 9-17.

- JANOFF, M.S. (1988). *Pavement Roughness and Rideability Field Evaluation*. National Cooperative Highway Research Program – Report 308. Washington, D.C.. Transportation Research Board.
- JURAN, J.M. (1992) *A Qualidade desde o Projeto*. Livraria Pioneira Editora. São Paulo, SP. Cap. 5, p.117 - 159.
- MACKENZIE, D.H.; HUDSON, W.R. (1982). *Road profile evaluation for compatible pavement evaluation*. 61º Annual Meeting of the Transportation Research Board. *Anais*. Washington, D. C..
- MACKENZIE, D. H.; SRINARAWAT, M. (1978). *Root mean square vertical acceleration as a basis for Maysmeter calibration*. Project technical memorandum BR-23. Center for Transportation Research, The University of Texas. Austin.
- NAIR, S.K.; HUDSON, W.R. (1986). Serviceability prediction from user-based evaluations of pavement ride quality. *Transportation Research Record*, n.1084, p.66-75.
- QUEIROZ, C.A.V. (1984). *Modelos de Previsão de Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil no Brasil*. GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Brasília, DF.
- SHAHIN, M.Y.; KOHN, S.D. (1979). *Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets and Parking Lots. Volume I: Condition Rating Procedure*. Report CERL-TR-M-268. U. S. Army Engineering Research Laboratory – CERL.
- SRINARAWAT, M. (1982). *A method to calibrate and correlate road roughness devices using road profiles*. PHD Thesis. University of Texas. Austin
- STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (1993) *Distress Identification Manual For The Long-Term Pavement Performance Project*. Publication SHRP-P-338. National Research Council. Washington, D.C.
- YODER, E.; WITZACK, M. (1975). *Principles of Pavement Design*. John Wiley & Sons, Inc.. New York, USA.

9 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- AASHO (1962) The AASHO Road Test. Report 5: Pavement Research. SR 61E. Washington, D.C.
- BOZZA, J.L. (1996). *Qualidade, Construção, Operação e Manutenção de Rodovias*. São Carlos. 110p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1972). *Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária*. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1983b). *Guia de Referência de Pavimentos*. Rio de Janeiro, RJ.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1996). *Long-Term Pavement Performance Information Management System Data User's Reference Manual*. Turner-Fairbank Highway Research Center. FHWA-RD-96.
- MARTINS, M.C. (1996). *Desempenho de Pavimento em Faixas de Tráfego Distintas de Rodovias*. São Carlos. 111p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PAVEMENT SURFACE EVALUATION AND RATING (1992). *ASPHALT – PASER Manual*. Transportation Information Center. University of Wisconsin. Madison.
- PONTES, G.F. (1994). *Avaliação de um Trecho Rodoviário Experimental com Base de Macadame Seco*. São Carlos. Dissertação (Mestrado). 143p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA FILHO, S.F. (1984). *Procedimento para Avaliação da Serventia de Pavimentos Flexíveis*. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.