UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Transportes
Área de Pós-graduação em Transportes

**CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DE QUALIDADE DE VIAGEM
E SUAS RELAÇÕES COM A DISTRIBUIÇÃO DE DEFEITOS
EM SEGMENTOS DE RODOVIAS**

Celio Daroncho

Dissertação apresentada à Área de Transportes do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte de requisitos para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Civil – Área de Transportes”.

Orientador: Professor Titular Doutor José Bernardes Felex

São Carlos

2001

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: **CELIO DARONCHO**

Título: **CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DE QUALIDADE DE VIAGENS E
SUAS RELAÇÕES COM A DISTRIBUIÇÃO DE DEFEITOS EM
SEGMENTOS DE RODOVIAS**

Dissertação defendida e aprovada em 18/12/2001 pela comissão julgadora:

Professor Titular Doutor **JOSÉ BERNARDES FELEX (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)

Professor Doutor Jairo Salin Pinheiro de Lima
(FEIS-Universidade Estadual Paulista – Ilha Solteira)

Professor Doutor Segundo Carlos Lopes
(Universidade Federal de São Carlos)

Professor Doutor **EDSON MARTINS AGUIAR**
Coordenador da Área de Transportes

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

À Meus pais e irmãos
por todo apoio e incentivo.

Agradecimentos

Ao Professor Titular Doutor José Bernardes Felex, pela orientação, incentivos fornecidos e compreensão durante a execução deste trabalho;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa e incentivo que propiciaram a execução deste trabalho;

Aos meus pais, que para minha educação e formação não pouparam sacrifícios, esforços e dedicação;

A minha irmã Maristela por todo apoio e incentivo na continuação de meus estudos;

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Transporte da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Sumário

<i>Lista de figuras.....</i>	<i>vi</i>
<i>Lista de tabelas.....</i>	<i>ix</i>
<i>Lista de abreviaturas e siglas.....</i>	<i>xi</i>
<i>Lista de símbolos.....</i>	<i>xii</i>
<i>Resumo.....</i>	<i>xiv</i>
<i>Abstract.....</i>	<i>xv</i>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 SOBRE CARACTERÍSTICAS DE DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS	6
2.1 Sobre a coleta de dados em campo	13
3 RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS E A QUALIDADE DE VIAGEM.....	16
3.1 Uso da análise de regressão linear múltipla.....	17
3.1.1. Existência de relações lineares múltiplas entre medidas ou contagens.....	20
3.1.2. Qualidade das estimativas.....	22
3.1.3. A regressão linear passo a passo	23
3.2 Escalas para medidas a partir de juízos emitidos por indivíduos.....	24
3.2.1. Comparação entre escalas para classificação.....	29

3.2.2. <i>Uso do processo para comparação entre escalas</i>	31
4 <i>ESTUDO DE CASO</i>	33
4.1 <i>Notas atribuídas aos segmentos por avaliadores treinados</i>	38
4.2 <i>Dados sobre os defeitos nos segmentos observados</i>	41
4.3 <i>O primeiro experimento: uso da regressão linear múltipla</i>	43
4.4 <i>Segundo experimento: uso de escalas de classificação</i>	47
5 <i>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</i>	51
5.1 <i>Conclusões</i>	51
5.2 <i>Sugestões</i>	53
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	54

Lista de figuras

<i>Figura 1 – Esquema de segmentos de vias observados (adaptado de PADULA, 1999)</i>	3
<i>Figura 2 – Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de afundamentos na trilha de roda.....</i>	14
<i>Figura 3 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de remendos, buracos, exsudação, desgaste, corrugação, polimento ou bombeamento</i>	14
<i>Figura 4 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de trincas de reflexão.....</i>	14
<i>Figura 5 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de trincas longitudinais</i>	15
<i>Figura 6 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de desnível entre faixa de tráfego e acostamento.....</i>	15
<i>Figura 7 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de trincas por fadiga, trincas em blocos, trincas de bordas e trincas transversais</i>	15
<i>Figura 8 – Primeira lustração sobre a estimativa da variável dependente Y em função da variável independente X</i>	21
<i>Figura 9 – Segunda ilustração sobre a estimativa da variável dependente Y em função da variável independente X</i>	21
<i>Figura 10 – Ilustração sobre a estimativa da variável dependente Y em função da variável independente X usando a regressão linear passo a passo</i>	24
<i>Figura 11 – Ilustração de processo para estimativa da variável normal estandardizada z.....</i>	28

<i>Figura 12 – Diagrama das operações para estimativa da variável normal estandardizada e definição de escalas conforme sugestões de LIKERT (1932), fonte PADULA (1999)</i>	<i>29</i>
<i>Figura 13 – Resumo de localização de segmentos observados.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 11.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 12.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 16 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 13.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 14.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 18 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 19.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 19 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 21.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 20 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 25.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 21 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 29.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 22 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 33.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 23 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 36.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 24 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 41.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 25 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 43.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 26 – Ilustração da aparência da superfície dos segmentos 46 e 47</i>	<i>38</i>
<i>Figura 27 - Ficha para anotação de notas e conceitos atribuídos aos segmentos observados.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 28 - Média das notas atribuídas ao nível para qualidade de viagem pelos segmentos em estudo.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 29 – Notas a partir dos defeitos nos segmentos analisados e intervalo de 95% de confiança das estimativas.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30 – Escala para medidas de nível para qualidade de viagens nos 37 segmentos, em função de notas atribuídas por observadores treinados...</i>	<i>47</i>

<i>Figura 31 –Escala para classificação de notas para qualidade de viagens em atribuídas por observadores treinados em função de estimativas de notas a partir de defeitos em superfície de pavimentos de rodovias</i>	<i>48</i>
<i>Figura 32 – Comparação entre escalas definidas para a qualidade de viagens nos segmentos observados.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33 – Resultados de teste de hipótese para comparação entre escalas</i>	<i>50</i>

Lista de tabelas

<i>Tabela 1 – Resumos de análises sobre o conteúdo de documentos que contêm definições e conceitos sobre rodovias, e relações entre suas características e a qualidade de viagem</i>	<i>4</i>
<i>Tabela 2 – Tipos de buracos e remendos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993).....</i>	<i>6</i>
<i>Tabela 3 – Tipos de trincas na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)</i>	<i>7</i>
<i>Tabela 4 – Tipos de defeitos físicos e deformações na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993).....</i>	<i>8</i>
<i>Tabela 5 – Outros defeitos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993).....</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 6 - Severidade de defeitos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)</i>	<i>9</i>
<i>Tabela 7 – Severidade de trincas e defeitos físicos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993).....</i>	<i>10</i>
<i>Tabela 8 – Localização, causas e possível evolução de defeitos em pavimentos, parte I (AUSTROADS, 1987).....</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 9 – Localização, causas e possível evolução de defeitos em pavimentos, parte II (AUSTROADS, 1987).....</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 10 - Análise de variância na regressão linear múltipla</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 11 – Definição de índice para comparação de escalas (Padula, 1999).....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 12 - Notação para o estudo, a partir de amostras, de parâmetros sobre médias.....</i>	<i>31</i>

<i>Tabela 13 – Resumo da estatística descritiva de notas atribuídas aos segmentos observados.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 14 – Classificação de defeitos adotada para levantamento de dados.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 15 – Contagem, classificação e medidas sobre variáveis características de defeitos.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 16 - Controle de qualidade da função de regressão linear múltipla para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores à qualidade de viagem pelos segmentos observados.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 17 - Qualidade de coeficientes da função para estimativa de notas</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 18 - Notação das variáveis para escrever a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos analisados.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 19 –Notas para qualidade de viagem em função de distribuição de defeitos</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 20 – Parâmetros para escala para medidas de nível para qualidade de viagens nos 37 segmentos de rodovias” em função de notas emitidas por avaliadores treinados</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 21 - Parâmetros para fixação de “escala para medidas de nível para qualidade de viagens pela nota estimada” em função de distribuições de defeitos estimadas por função de estimativa.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 22 - Escores z para as notas atribuídas pelos avaliadores aos 37 segmentos estudados, e nota estimada pela função de regressão para estimativa de notas atribuídas por observadores</i>	<i>49</i>

Lista de abreviaturas e siglas

AASHO - American Association of State Highway Officials

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

AUSTROADS – National Association of Road Transport and Authorities in
Australasia

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

ES – Especificação de Serviço

FHWA – Federal Highway Administration

HRB – Highway Research Board

HRR – Highway Research Record

IPC – Instituto Panamericano de Carreteras

PRO – Procedimento

SHRP – Strategic Highway Research Program

TRB - Transportation Research Board

TRR – Transportation Research Record

Lista de símbolos

(x,y,z)	Coordenadas cartesianas
z	Variável normal reduzida, variável normal estandardizada ou escore z (da distribuição normal de probabilidades)
p_l	Frequência relativa de ocorrência de juízos em um intervalo de classes de medidas l
l	Classe de medida
m	Número de intervalos de classes de medida l
$\sum_{k=1}^{l-1} p_k$	Somatória da frequência relativa de ocorrência de juízos dos intervalos de classes de medidas até a classe anterior à observada
$\sum_{k=1}^l p_k$	Somatória da frequência relativa de ocorrência de juízos dos intervalos de classes de medidas até a classe observada
$y_{1(l)}$	Ordenada do limite inferior de um intervalo de classe de medidas, na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada da classe l
$y_{2(l)}$	Ordenada do limite superior de um intervalo de classe de medidas, na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada da classe l
y	Ordenada de probabilidade na curva da distribuição normal
p	Frequência relativa de ocorrência de juízos em um intervalo de classes de medidas
z_l	Variável estandardizada normal
n	Modos possíveis e igualmente prováveis de acontecer um evento
n_i	Número de medidas efetuadas a partir de juízos em cada amostra de uma população
z_{pl}	Escore z da população na classe l
z_{al}	Escore z da amostra na classe l
n	Número de observações
Y	Variável dependente
k	Variável independente
a	Constante, conhecida por intercepto
$?_k$	Constante conhecida como coeficiente de regressão
u	Matriz dos resíduos de estimativa
u_i	Resíduo de estimativa da medida y_i
y_i	Medidas observadas
X	Matriz das medidas sobre as variáveis

B	Matriz dos coeficientes da função para estimativa da constante β_k
j, i	Índices
X_i	Matriz das variáveis independentes k
B^t, X^t, Y^t	Matrizes transpostas de B, X e Y
QMR_s	Quadrado médio da regressão
QMR	Quadrado médio dos resíduos
QT	Soma dos quadrados totais
R^2	Coefficiente de determinação
SQR	Soma dos quadrados da regressão
SQR_s	Soma dos quadrados dos resíduos
SQ	Soma dos quadrados
t	Estatística t de Student
$\bar{x}_1$	Médias de amostras
s_1^2	Variâncias na amostragem
σ_1^2	Variâncias na população
$\bar{d}$	Média das diferenças entre as médias na amostragem
S_d	Desvio padrão das diferenças entre médias nas amostras
σ_d	Diferença entre as medidas nas amostras
H_0	Hipótese nula
H_1	Hipótese alternativa
df	Graus de liberdade
Δ	Intervalo de confiança
$\sum_{i=1}^p n_i$	Número de observações da amostra sobre o universo
F	Estatística de controle F
OY	Diagonal do paralelogramo
OP e PY	Lados do paralelogramo $OP'YP$ e do paralelogramo $OT'YT$
OT e TY	
OP^2 e OT^2	Soma dos quadrados devido à regressão
OY^2	Soma total dos quadrados
YP^2 e YT^2	Soma dos quadrados dos resíduos
P'	Valores dos resíduos devido à regressão da variável Y em função de X
OX e OZ	Plano definido de três dimensões
OT	Perpendicular ao plano OXZ

Resumo

DARONCHO, Célio (2001). Contribuição à análise de qualidade de viagens e suas relações com a distribuição de defeitos em segmentos de rodovias. São Carlos, 2001, 73p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Relatam-se e discutem-se resultados obtidos em tentativa para mostrar que distribuições estatísticas de contagens ou medidas sobre características de variáveis que descrevem defeitos na superfície de pavimentos, quando associadas às distribuições de notas atribuídas às viagens em segmentos de rodovias, podem ser úteis para análise da qualidade de viagens, e fornecer informações que contribuem para facilitar estudos sobre prioridades de manutenção em rodovias, identificar e sugerir ações para melhorar a eficiência e eficácia na conservação de vias. Os dados usados foram coletados em rodovias vicinais próximas a Araraquara, estado de São Paulo, de janeiro a março de 2001. Foram observados 37 segmentos onde se contaram, mediram e classificaram defeitos, e coletaram-se notas atribuídas por observadores sobre o pavimento. O processamento de dados e o uso de métodos da estatística para investigar relações foram usados para verificar a existência de relações entre os resultados de medidas, contagens e notas, e obtenção de função para estimativa de notas atribuídas por observadores, mostrando que notas atribuídas a segmentos de rodovias podem ser estimadas. As conclusões relatadas atêm-se ao caso estudado, mas indicaram que o processo adotado pode ser usado em outros casos similares. Sugere-se o uso do processo desenvolvido para estabelecer prioridades de estudo de soluções técnicas para intervenção e melhoria de pavimentos.

Palavras-chave: Rodovias, defeitos em pavimentos, avaliação, qualidade de viagem

Abstract

DARONCHO, Célio (2001). Contribution to the analysis of quality of trips and their relationships with the distribution of distress in segments of highways. São Carlos, 2001, 73p. Dissertation (Master Thesis) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

It was reported and discussed the results obtained in a attempt to show that the statistical distributions of measures on characteristics of variables that describe distress in the surface of pavements, when associated to the distributions of scores attributed to the trips in segments of highways should be useful for analysis of the quality of trips, and to supply information that contribute to facilitate studies about maintenance priorities in highways, to identify and to suggest actions to improve the efficiency and effectiveness in the conservation of roads. The used data were collected local highways near the city of Araraquara, state of São Paulo, from January to March of 2001. 37 segments were observed to obtain measures and classify distress or collect scores from observers on the pavement. The data processing and the use of methods of the statistics to investigate relationships were used to verify the existence of relationships among the results of measures and scores, and to obtain a function to estimate of scores from observers, it was shown that attributed scores to segments trips can be estimated. The conclusions told should be useful to the studied case, but they indicated that the adopted process can be used in other similar cases. This suggests the use of the process developed to establish priorities on studies of technical solutions for intervention and improvement of pavement surface.

Keywords: Highways, pavements distress, evaluation, quality of trips

1 Introdução

Quem viaja por rodovias deseja conforto, segurança e economia. *Trafegar pela superfície de vias – nas rodovias, o pavimento* – fornece uma das grandes parcelas de sensações de conforto e segurança que *definem a qualidade de viagens*. Isso equivale a dizer que pavimentos “prestam serviços” ao fornecer a superfície para movimento de automóveis, caminhões, ônibus, etc.

A superfície de pavimento deve ter a qualidade física que facilite o movimento de veículos e relações físicas para que a transmissão de esforços entre a superfície da via e pneus de veículos sejam coerentes com segurança e conforto de viagens, solicitações e resistência de componentes dos pavimentos.

Defeitos na superfície de pavimento são desarranjos que contribuem para aumentar ou gerar desconforto ao usuário da rodovia, ou ainda impedir o tráfego de veículos pela rodovia. *Defeito*, segundo a AUSTROADS (1987), é uma evidência visível de falhas ou descontinuidade de superfície que afeta a qualidade de movimento de veículos, a capacidade estrutural ou a aparência de pavimentos. Os defeitos podem ser visíveis a olho nu, ou detectados pela operação de equipamentos como os de topografia ou assemelhados.

O objetivo dessa dissertação é relatar e discutir resultados obtidos nas ações de uma tentativa para mostrar que distribuições de defeitos na superfície de pavimentos podem ser úteis para identificar e classificar relações entre itens que definem a qualidade de viagens por rodovias. Mostrou-se que a eficiência de uso de informações sobre ocorrências de tipos de defeitos pode ser obtida por associação às distribuições de notas atribuídas às viagens em segmentos de rodovias por avaliadores treinados.

Para conhecimento de motivos que justificam estudos com o objetivo proposto destacam-se os seguintes fatos e argumentos:

- a) A satisfação do usuário da rodovia, um ‘*cliente*’ e as especificações técnicas sobre os componentes da via são os dois principais elementos que orientam a análise da qualidade da superfície de pavimento;
- b) Diz MELO (1998) que: “a avaliação de nível para a qualidade do serviço prestado ao tráfego de veículos pela superfície de pavimento é complexa porque envolve o estudo da interação entre o veículo, o perfil longitudinal da superfície para tráfego da rodovia e as sensações de motoristas e passageiros”;
- c) A avaliação do desempenho de pavimentos envolve estudos sobre o comportamento de uma seção ou comprimento de pavimento do ponto de vista de motoristas e passageiros (HAAS, HUDSON & ZANIEWSKI, 1994).

Para estudo de caso, foi adotado um conjunto de segmentos de rodovias vicinais próximas a Araraquara, estado de São Paulo. Um total de 72,3km de vias que ligam Araraquara à Gavião Peixoto, Gavião Peixoto à Nova Paulicéia, Nova Paulicéia a Nova Europa, Nova Europa à entrada da ligação entre Gavião Peixoto com o segmento entre Nova Europa à Via Washington Luis foi estudado. A Figura 1, ilustra a localização desses segmentos.

O conjunto de segmentos de rodovias estudados está em uma importante região do interior do estado de São Paulo. Por estas rodovias circula um grande volume de produção de laranja e cana-de-açúcar, e faz-se a conexão entre diversas cidades e um importante eixo rodoviário, a rodovia Via Washington Luis (SP 310).

O conjunto de segmentos de vias analisado contém amostras de pavimentos com idade superior a vinte anos. Alguns desses segmentos encontravam-se em estado precário de conservação com grande deterioração. Para manutenção dessas vias usaram-se remendos e tapa-buraco com pré-misturado a frio – às vezes mais de uma vez por ano.

Figura 1 – Esquema de segmentos de vias observados (adaptado de PADULA, 1999)

Usaram-se neste trabalho definições e conceitos sobre rodovias, componentes e relações entre características e qualidade de viagem do ponto de vista dos que viajam provenientes de documentos como: CAREY & IRICK (1960), DNER (1974, 1977, 1978b, 1983a, 1994, 1999), HUDSON (1991), SHRP (1993), AASHTO (1994), GULEN et al (1994), IPC (1994), HAAS, HUDSON & ZANIEWSKI (1994), AUSTROADS (1991, 1993 E 1995), HAAS & HUDSON (1996), TRB (1997), RADA et al (1998), SMITH et al (1998), MELO (1998), FLINTSCH et al (1998), WEED (1998), PADULA (1999), FREITAS (2000), VASCONCELOS (2000), PALMA (2000) e BANDARA & GUNARATNE (2001). A Tabela 1 contém resumos de análises sobre o conteúdo de alguns destes documentos.

Tabela 1 – Resumos de análises sobre o conteúdo de documentos que contêm definições e conceitos sobre rodovias, e relações entre suas características e a qualidade de viagem

Autor	Resumo do conteúdo
<i>CAREY & IRICK (1960)</i>	Descreve um método, pioneiro na década dos 60, para avaliação de qualidade de viagem por pavimentos, baseado em um painel de usuários treinados que atribuem notas as viagens que serão convertidas, por análise regressão, a um índice de avaliação.
<i>DNER (1977, 1978b, 1983a, 1994, 1999)</i>	Descrevem procedimentos para a demarcação de segmentos de rodovias, avaliações da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos; sugerem a terminologia sobre defeitos nos pavimentos; definem itens sobre a geometria de rodovias.
<i>SHRP (1993)</i>	Descrevem-se os principais tipos de defeitos na superfície dos pavimentos, processos para contar, medir e classificar suas características.
<i>AASHTO (1994)</i>	Propõe usar resultados de análises sobre o meio no qual a rodovia estará ou está inserida para definir diretrizes de construção e manutenção. Sugere parâmetros para projeto geométrico da rodovia.
<i>MELO (1998)</i>	Identifica relações entre o grau de satisfação de usuários de rodovias e as características da estrutura e manutenção do pavimento. Faz comparação entre as notas atribuídas por avaliadores treinados e índices padronizados para exprimir a mesma escala de medida.
<i>PADULA (1999)</i>	Mostra que o uso dos conceitos das normas NBR ISO, série 10.000, podem contribuir para a orientação de análises referente ao comportamento de pavimentos. Identifica diretrizes para melhorar o nível para a qualidade de construção, manutenção ou reabilitação das rodovias.
<i>FREITAS (2000)</i>	Mostra que a associação entre a análise estatística do formato da seção transversal, resultados de medidas sobre variáveis que caracterizem o estado dos equipamentos para drenar e as notas atribuídas por usuários treinados, contribuem para explicar uma parcela do comportamento de pavimentos e qualidade de viagem em estradas vicinais.
<i>VASCONCELOS (2000)</i>	Mostra que a distribuição de notas as viagens nas rodovias por avaliadores treinados classificam a harmonia da geometria e que o processamento dos dados provenientes do levantamento da velocidade de veículos, características do formato das seções transversais e longitudinais é útil para orientar o estudo e explicar os conceitos sobre a harmonia na geometria de rodovias vicinais.
<i>PALMA (2000)</i>	Mostra que existem relações entre notas atribuídas às viagens pelas rodovias por avaliadores treinados, o formato da seção transversal e medidas sobre as variáveis que caracterizam o estado ou o funcionamento dos equipamentos para drenar água superficial da rodovia quanto à classificação e identificação de informações que contribuam na manutenção ou construção de componentes de vias.
<i>HAAS; HUDSON & ZANIEWSKI (1994);</i>	Resumem métodos e processos para avaliação, planejamento e programação, construção, manutenção e visando fornecer a utilização de informações e operar sobre critérios de decisão em construção e manutenção de pavimentos visando o melhor retorno possível de recursos aplicados.

A organização do relato pode ser resumida:

- a) Além dessa introdução, o capítulo 2 relata itens sobre características de defeitos na superfície de pavimentos;
- b) O capítulo 3 discute o estudo de relações entre características da superfície de pavimentos e a qualidade de viagem. Também são discutidos os conceitos de estatística utilizados;
- c) O capítulo 4 relata itens sobre o estudo de caso;
- d) O capítulo 5 relata conclusões e sugestões.

2 Sobre características de defeitos na superfície de pavimentos

Severidade de defeito em pavimento, ou simplesmente, *severidade*, é a dificuldade, ou o volume de dificuldades, que um tipo de defeito impõe ao movimento de veículos. É uma das medidas sobre as restrições impostas ao movimento de veículos. Na prática, a severidade pode ser classificada pela ocorrência de limites pré-definidos para ocorrências de medidas ou classificações sobre defeitos em campo. A classificação mais usual para a severidade é: *não aplicável, baixa, média ou alta*.

O manual SHRP (1993), expõe definições e conceitos sobre os principais tipos, severidades, métodos e processos para medir, contar e classificar defeitos. O guia AUSTROADS (1987) relaciona nomes, sinônimos, definições, atributos e possíveis causas de defeitos.

Nas Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5 resumem-se e descrevem-se conceitos sobre os principais defeitos de superfície de pavimentos conforme SHRP (1993).

Tabela 2 – Tipos de buracos e remendos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

Buracos e remendos	Descrição	Ilustração
<i>Remendos</i>	Parcela do pavimento maior que 10cm que foi removida, recolocada, ou recebeu adição de materiais.
<i>Buracos</i>	Cavidades (buracos) no pavimento maiores que 15cm.	

Tabela 3 – Tipos de trincas na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

Tipo de trincas	Descrição	Ilustração
<i>Por fadiga</i>	Trincas ligadas - 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.
<i>Em blocos</i>	Trincas ligadas, formando peças quase retangulares, com dimensões entre 0,1 a 10m².
<i>Longitudinais</i>	Trincas predominantemente paralelas ao eixo do pavimento.
<i>De bordas</i>	Trincas de abertura que se iniciam a aproximados 60cm da borda adjacente ao acostamento de vias com acostamentos não pavimentados e interceptam a borda. Incluem-se as trincas longitudinais a até 60cm da borda.
<i>De reflexão</i>	Trincas características de recapeamento de pavimentos de concreto com pavimentos betuminosos – ocorrem as juntas.
<i>Transversais</i>	Trincas predominantemente perpendiculares ao eixo, que não coincidem com juntas de pavimento de concreto.

Tabela 4 – Tipos de defeitos físicos e deformações na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

Defeitos físicos na superfície	Descrição	Ilustração
<i>Exsudação</i>	Excesso de betume na superfície de pavimento.
<i>Polimento de agregados</i>	Quando o revestimento superficial desaparece e o agregado graúdo fica exposto.
<i>Desgaste</i>	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 materiais.
Deformações na superfície	Descrição	Ilustração
<i>Afundamento na trilha das rodas</i>	Depressão longitudinal do pavimento, entre as trilhas das rodas
<i>Corrugações</i>	Deslocamento longitudinal de materiais da superfície de pavimentos. Pode ser associado a deslocamentos verticais.

Tabela 5 – Outros defeitos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

Outros defeitos	Descrição	Ilustração
<i>Degraus entre acostamento e faixa de rolamento</i>	Desnível entre a superfície para tráfego e o acostamento.
<i>Bombeamento e exsudação de água</i>	Percolação ou ejeção de água para superfície através de trincas. Em alguns casos detectáveis através de visualização de depósitos de material fino na superfície.

Nas Tabela 6 e Tabela 7 resume-se a classificação de severidade dos defeitos em superfícies de pavimentos (SHRP, 1993).

Tabela 6 - Severidade de defeitos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

Deformações da superfície		Sobre a Severidade
<i>Afundamento nas trilhas de rodas</i>		Não aplicável. A classificação de severidade não é aplicável a este defeito.
<i>Corrugação</i>		
Outros defeitos	Sobre a Severidade	
<i>Degraus no acostamento</i>		Não aplicável. A classificação da severidade não é aplicável a este defeito.
<i>Bombeamento e exsudação</i>		
Buracos e remendos	Severidade	Descrição
<i>Buracos</i>	Baixa	Buracos com profundidade de até 25mm;
	Média	Buracos com profundidade entre 25mm e 50mm;
	Alta	Buracos com profundidade maior que 50mm.
<i>Remendos</i>	Baixa	Remendos que não modificam a elevação do pavimento;
	Média	Remendos que modifiquem pouco a elevação do pavimento;
	Alta	Remendos que modifiquem bastante a elevação do pavimento.

Tabela 7 – Severidade de trincas e defeitos físicos na superfície de pavimentos flexíveis (SHRP, 1993)

Tipo de Trincas	Severidade	Descrição
<i>Por fadiga</i>	Baixa	Área de trincas não conectadas ou pouco conectadas;
	Média	Área de trincas interligadas formando uma peça;
	Alta	Área de trincas altamente interligadas formando peça maior.
<i>Em blocos</i>	Baixa	Trincas com largura inferior a 6mm;
	Média	Trincas com largura entre 6 e 19mm;
	Alta	Trincas com largura superior a 19mm.
<i>De borda</i>	Baixa	Trincas sem colapso ou perda de material;
	Média	Trincas com algum colapso e perda de material de até 10% do comprimento da área afetada;
	Alta	Trincas com considerável colapso e com perda de material superior a 10% do comprimento da área afetada.
<i>Longitudinais</i>	Baixa	Trincas com largura inferior a 6mm;
	Média	Trincas com largura entre 6 e 19mm;
	Alta	Trincas com largura superior a 19mm.
<i>De reflexão</i>	Baixa	Trincas com largura inferior a 6mm;
	Média	Trincas com largura entre 6 e 19mm;
	Alta	Trincas com largura superior a 19mm.
<i>Transversais</i>	Baixa	Trincas com largura inferior a 6mm;
	Média	Trincas com largura entre 6 e 19mm;
	Alta	Trincas com largura superior a 19mm.
Defeitos físicos	Severidade	Descrição
<i>Exsudação</i>	Baixa	Área de pavimento descolorida em relação ao restante;
	Média	Área de pavimento com textura diferente pelo excesso de asfalto;
	Alta	Excesso de asfalto cede brilho ao pavimento, o agregado fica obscuro pelo excesso de asfalto.
<i>Polimento de agregados</i>	Não aplicável. A classificação de severidade não é aplicável a este defeito.	
<i>Desgaste</i>	Baixa	O agregado e/ou binder desgastou, mas não significativamente, alguma perda de agregado fino;
	Média	O agregado e/ ou binder desgastou e a textura da superfície tornou-se rugosa e "esburacada";
	Alta	O agregado e/ou binder desgastou e a textura da superfície tornou-se muito rugosa e "esburacada", perda de agregado grosso.

Nas Tabela 8 e Tabela 9 resumem-se localizações, principais causas e possível evolução associada a tipos de defeitos (AUSTROADS, 1987).

Tabela 8 – Localização, causas e possível evolução de defeitos em pavimentos, parte I (AUSTROADS, 1987)

Buracos e remendos	Localização	Principais causas	Evolução
<i>Buracos</i>	Sem localização particular, aparecendo algumas vezes próximo a trincas, deformações ou perda de agregado.	Qualidade inadequada do material usado para a construção do pavimento; infiltração de água; desagregação do material sob a ação do tráfego; estágio final de desenvolvimento de uma desagregação ou de uma depressão.	Aumento progressivo do buraco e formação de novas panelas.
<i>Remendos</i>	Variável	Correção sobre buraco.	Provocar ondulações ou reaparecimento de buracos.
Deformações da superfície	Localização	Principais causas	Evolução
<i>Afundamento na trilha de roda</i>	Na trilha de roda dos veículos pela rodovia; outras áreas localizadas.	Resistência insuficiente do subleito ou do pavimento para o tráfego existente; estabilidade inadequada dos materiais betuminosos superficiais.	Crescimento rápido do tamanho dos sulcos e fendas do pavimento durante a estação chuvosa, se a água conseguir penetrar no corpo do pavimento.
<i>Corrugação</i>	Ondulação transversal na superfície de pavimento, localizada em locais que apresentam elevados esforços tangenciais.	Estabilidade inadequada da superfície de pavimento ou da base; compactação da base de forma ondulada.	Depende do caso.
Trincas	Localização	Principais causas	Evolução
<i>Longitudinais, transversais, por fadiga, em bloco, de borda e de reflexão</i>	Longitudinal ou de borda: paralela ao eixo da rodovia (muitas vezes ao longo das trilha de rodas ou ao longo das margens da pista).		
	Transversal ou de reflexão: perpendicular ao eixo da estrada (através de toda a pista ou de parte da seção transversal).	Material de má qualidade; mão-de-obra ruim; espessura insuficiente do pavimento para o tráfego existente; retração da base; idade do pavimento.	Destruição total ou parcial do pavimento.
	Em por fadiga ou em bloco: trincas em forma de malha, dividido a superfície de pavimento em elementos isolados de diferentes tamanhos.		

Tabela 9 – Localização, causas e possível evolução de defeitos em pavimentos, parte II (AUSTROADS, 1987)

Defeitos físicos na superfície	Localização	Principais causas	Evolução
<i>Exsudação</i>	Pode abranger uma parte ou todo o revestimento.	Ligante em excesso; ligante inadequado.	A superfície a rodovia torna-se escorregadia quando molhada; deforma, ocorrerá também a deformação e instabilidade da superfície de pavimento sob a ação do tráfego.
<i>Desgaste</i>	Pequenas áreas ou faixas da superfície da rodovia.	A perda dos agregados se dá devido à: quantidade insuficiente de ligante; agregado sujo na ocasião da colocação; penetração insuficiente do agregado; pré-misturado de má qualidade ou defeito de execução.	Desagregação ou desgaste superficial.
<i>Polimento dos agregados</i>	Variável	Resistência inadequada ao polimento da superfície dos agregados, particularmente em áreas com grande movimento de veículos ou onde há uma grande tensão entre a superfície de rolamento e o pneu; uso de agregado natural muito liso.	Comprometimento da segurança de tráfego por redução do coeficiente de atrito pneu-pavimento.
Outros defeitos	Localização	Principais causas	Evolução
<i>Desnível entre faixa de tráfego e acostamento</i>	Desnível encontrado entre o pavimento e o acostamento.	O tráfego pelo acostamento; erosão pela água; recalque do acostamento; recapeamento de faixa de tráfego.	Redução da capacidade de suporte lateral do pavimento; a água acumula-se; a borda do pavimento sofrerá quebras pela ação das rodas dos veículos sobre ele; aumento do perigo de acidentes.
<i>Bombeamento e exsudação de água</i>	Variável	Acumulo de água embaixo do pavimento a qual é trazida a superfície pela ação das cargas do tráfego.	Trincas e descontinuidade de estrutura do pavimento.

2.1 Sobre a coleta de dados em campo

Para coletar dados sobre amostras para estudos sobre distribuições de ocorrência e classificação dos defeitos, uma rodovia pode ser dividida em segmentos. Dentre os conteúdos de métodos que orientem essa atividade destacam-se:

- a) ES 128/83 (DNER, 1983a), que sugere segmentos de $100m$ de comprimento em segmentos rodoviários de no mínimo $300m$ e no máximo $20km$ de comprimento;
- b) SHRP (1993), que sugere demarcações de segmentos com $152,50m$ de comprimento, sendo feito demarcações em intervalos de $15,25m$ ($50ft$) até se atingir os $152,50m$ ($500ft$) do segmento, assim sendo, o segmento terá 10 demarcações de $15,25m$ ($50ft$) pela largura da rodovia;
- c) AUSTROADS (1987), que não sugere um tamanho específico de segmento para se fazer análises;
- d) PRO 008/94 (DNER, 1994), que sugere segmentos localizados a cada $20m$ alternados em relação ao eixo da pista de rolamento (40 em $40m$ em cada faixa de tráfego), para rodovias de pista simples, sendo a amostra demarcada $3m$ antes e $3m$ depois da estação considerada. Assim sendo tem-se segmentos de $6m$ de comprimento pela largura média para uma faixa de rolamento.

Para proceder à anotação de medidas e contagens de características referentes aos defeitos encontrados em segmentos de rodovia fez-se o uso de planilha, as mesmas foram elaboradas com referência ao manual SHRP (1993) e a AUSTROADS (1987) com adaptações feitas para o caso específico.

Nas Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7 ilustram-se as planilhas utilizadas para anotação de medidas e contagem de defeitos em campo.

Afundamento na trilha de roda (mm)																						
Rodovia:					Segmento:					Data:												
Defeito	Tipo																					
	No caminho										Fora do caminho											
(m)	0,00	12,25	30,50	45,75	61,00	76,25	91,50	106,75	122,00	137,25	152,50	0,00	12,25	30,50	45,75	61,00	76,25	91,50	106,75	122,00	137,25	152,50
1																						
2																						
3																						
4																						

Figura 2 – Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de afundamentos na trilha de roda

Remendos, buracos, exsudação, desgaste, corrugação, polimento ou bombeamento																
Rodovia:				Segmento:				Data:								
Defeito	Remendos (m²)			Buracos (m²)			Exsudação (m²)			Desgaste (m²)			Corrugação (m²)	Polimento (m²)	Bombemaneto (m²)	
	Sev.	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M				A
1																
2																
3																
4																

Figura 3 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de remendos, buracos, exsudação, desgaste, corrugação, polimento ou bombeamento

Trinca de reflexão												
Rodovia:				Segmento:				Data:				
Defeito	Tipo (m)											
	Transversal						Longitudinal					
	Normal			Selada			Normal			Selada		
Sev.	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
1												
2												
3												
4												

Figura 4 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de trincas de reflexão

Trincas longitudinais												
Rodovia:				Segmento:				Data:				
Defeito	Tipo (m)											
	No trilha de roda						Fora do trilha de roda					
	Normal			Selada			normal			Selada		
Sev.	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
1												
2												
3												
4												

Figura 5 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de trincas longitudinais

Desnível entre faixa de tráfego e acostamento (mm)												
Rodovia:				Segmento:				Data:				
Posição (m)	0,00	15,25	30,50	45,75	61,00	76,00	91,50	106,80	122,00	137,30	152,50	
1												
2												
3												
4												

Figura 6 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de desnível entre faixa de tráfego e acostamento

Trincas por fadiga, trincas em blocos, trincas de bordas e trincas transversais															
Rodovia:				Segmento:				Data:							
Trinca	Por fadiga (m2)			Em blocos (m2)			De bordas (m)			Transversal (m)					
										Normal			Selada		
Sev.	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
1															
2															
3															
4															

Figura 7 - Planilha para orientar a anotação sobre ocorrências de trincas por fadiga, trincas em blocos, trincas de bordas e trincas transversais

3 Relações entre características da superfície de pavimentos e a qualidade de viagem

Para identificar e estudar as relações entre as distribuições de medidas sobre características físicas do pavimento e o comportamento da superfície de pavimentos a AASHO (HRB, 1961) promoveu análises sobre resultados de observações de comportamento de pavimentos de uma pista experimental e distribuições de respostas obtidas em avaliações de qualidade de viagens efetuadas por grupos de observadores e ocorrências de medidas sobre características físicas de pavimentos. A partir daí, a estrutura teórica da qualidade de viagens usual para a análise de serviços prestados pelo pavimento passou a ser o que foi exposto por CAREY & IRICK (1960) e AASHO (1961). O processo para analisar a qualidade de viagens por rodovias pode ser resumido:

- a) Treinam-se observadores;
- b) Os observadores treinados atribuem notas à viagem pelo pavimento;
- c) Medem-se e classificam-se características de componentes da superfície e distribuições de defeitos em pavimentos;
- d) Usam-se métodos estatísticos, identificam-se relações entre os resultados de medidas e as notas que avaliadores atribuíram ao conforto de viagens.

O uso de notas para estimar índices que expressem o nível para a qualidade do tráfego de veículos sobre o pavimento foi proposto e aplicado por CAREY & IRICK (1960), e discutido ou estudado por vários autores, dentre eles, NAIR & HUDSON (1986); GARG *et al.* (1988); FWA & GAN (1989); GUALDA *et al.* (1992); AL-OMARI & DARTER (1994) e GULEN *et al.* (1994).

Estudos e análises sobre variáveis que definem relações entre notas atribuídas por motoristas e passageiros de rodovias ao nível de qualidade de viagens podem contribuir para identificar informações sobre as características de superfície de pavimentos e relações com a ocorrência de defeitos em pavimentos (FREITAS, 2000).

Para o tratamento de dados sobre qualidade de viagens podem-se adotar as propostas expostas em FELEX (1983 e 1990). Isso equivale a dizer que as rotinas para orientar raciocínios de manuseio dos dados podem ser:

- a) Observar distribuições de notas variáveis que caracterizem viagens por segmentos de rodovias;
- b) Evidenciar e identificar variáveis para descrição de ocorrências de relações entre notas atribuídas às viagens;
- c) Analisar e processar dados para identificar relações entre distribuições de ocorrência, utilizando técnicas da Estatística.

3.1 Uso da análise de regressão linear múltipla

Na primeira tentativa de investigação sobre as relações entre medidas, ou contagens simultâneas sobre ocorrências de defeitos em segmentos de rodovias e notas fornecidas por usuários treinados para qualidade de viagens verificaram-se duas questões básicas:

- a) A própria existência de relações entre as medidas, ou contagens, e notas em segmentos de vias;
- b) A existência e qualidade de expressão numérica para as relações observadas.

A análise de regressão - o estudo de expressão numérica de relações entre medidas e contagens – foi a principal das técnicas usadas para obter respostas às questões acima formuladas. *A análise de correlação* esteve entre as técnicas que auxiliaram o estudo da existência e do grau de relacionamento entre as medidas, ou contagens sobre defeitos em pavimentos.

A teoria usada para balizar o estudo sobre expressões de regressão está detalhada em HOFFMANN & VIEIRA (1977), páginas 107 a 132. Ali se expõe que para n observações, se, $j = 1, 2, \dots, k$, $i = 1, 2, \dots, n$, os valores de medidas sobre uma variável dependente $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ podem ser anotados sobre a forma matricial:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

Se, as k variáveis independentes são expressas pelas matrizes $X_i = \{x_{1i} \ x_{2i} \ \dots \ x_{ki}\}$, o modelo estatístico para uma regressão linear é uma função para estimar a variável dependente $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$:

$$y_i = a + x_{1i} + x_{2i} + \dots + x_{ki} + u_i$$

Onde: a é uma constante, conhecida por *intercepto*; x_k é outra constante, conhecida como *coeficiente de regressão*; u_i é conhecida como *resíduo de estimativa da medida* y_i .

Definindo a matriz das medidas sobre as variáveis, $X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix}$; a

matriz dos coeficientes da função para estimar, $B = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix}$; a matriz dos resíduos de

estimativa, $u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix}$; a função Y_j pode ser escrita com a notação matricial:

$$Y = X \cdot B + u$$

Se, X^T é a matriz transposta da matriz X , a matriz de coeficientes de regressão B pode ser obtida: $B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y$. E, se B^T , X^T , e Y^T são, respectivamente as matrizes transpostas de B , X , e Y , a obtenção das somas de quadrados de estimativas e resíduos pode ser resumida conforme exposto na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise de variância na regressão linear múltipla

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios
Regressão	k	$SQR = B^T \cdot X^T \cdot Y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}}$	$QMR = \frac{SQR}{k}$
Resíduos	$n - k - 1$	$SQR_s = Y^T \cdot Y - B^T \cdot X^T \cdot Y$	$QMR_s = \frac{SQR_s}{n - k - 1}$
Total	$n - 1$	$SQ = Y^T \cdot Y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}$	$QT = \frac{SQ}{n - 1}$

O quadrado médio dos resíduos, QMR_s , é uma estimativa não tendenciosa da variância dos resíduos nas estimativas sobre a variável dependente. O coeficiente de determinação múltipla é definido: $R^2 = \frac{SQR}{SQ}$, e exprime a parcela da soma total de quadrados dos erros que é “explicada” pela função de regressão linear múltipla.

3.1.1. Existência de relações lineares múltiplas entre medidas ou contagens

A existência de relações lineares (dependência) entre as medidas sobre a variável dependente e o conjunto de medidas observado pode ser verificada adotando-se o controle sobre o coeficiente de determinação múltipla estimado e coeficientes de determinação múltipla calculados como estatísticas para controle (que, por exemplo, podem ser obtidos em tabelas como exposto em CHASE & BOWN (1992), página A 22, tabela B.7).

A regressão linear múltipla pode ser ilustrada com auxílio de ilustrações sobre as estimativas que se efetuam durante o processo de obtenção de estimativas para as medidas sobre a variável dependente. Se nos fixarmos em três dimensões, com auxílio da Figura 8, DRAPER & SMITH (1981). Sejam os pontos $Y_{estimado} = (Y_{1estimado}, Y_{2estimado}, Y_{3estimado})$, $X = (X_1, X_2, X_3)$, $Z = (Z_1, Z_2, Z_3)$, do sistema de coordenadas de eixos nomeados 1, 2, 3;

- Para estimar $Y_{estimado} = Y$, traça-se a perpendicular YP sobre OX . As coordenadas do ponto P são $Y_{1estimado}, Y_{2estimado}, Y_{3estimado}$;
- OP^2 representa a soma dos quadrados devido a regressão, OY^2 é soma total dos quadrados e YP^2 é a soma dos quadrados dos resíduos. Assim, aplicando o teorema de Pitágoras, $OP^2 + YP^2 = OY^2$, que fornece as estimativas para análise de variância sobre a somas dos quadrados ();
- Se traçarmos o paralelogramo que tem OY como diagonal e OP e PY como lados, obtemos o paralelogramo $OP'YP$.
- As coordenadas de P' representam os valores dos resíduos devido à regressão da variável Y em função da variável X . Ou seja,

$$Y_{estimado} = (Y - Y_{estimado}) = Y_{estimado}$$

Figura 8 – Primeira lustração sobre a estimativa da variável dependente Y em função da variável independente X

Agora se a variável Y for uma função das variáveis X e Z , simultaneamente, com auxílio da Figura 9, DRAPER & SMITH (1981):

Figura 9 – Segunda ilustração sobre a estimativa da variável dependente Y em função da variável independente X

- As retas OX e OZ definem um plano em três dimensões;
- Se traçarmos a perpendicular OT a esse plano, as coordenadas do ponto T são $Y_{1\text{estimado}}, Y_{2\text{estimado}}, Y_{3\text{estimado}}$;
- OT^2 representa a soma dos quadrados devido a regressão, OY^2 é soma total dos quadrados e YT^2 é a soma dos quadrados dos resíduos. Assim, aplicando o teorema de Pitágoras, $OT^2 + YT^2 = OY^2$, que fornece as estimativas para análise de variância sobre a somas dos quadrados;

- d) Se traçarmos o paralelogramo que tem OY como diagonal e OT e TY como lados, obtemos o paralelogramo $OT'YT$;
- e) As coordenadas de T' representam os valores dos resíduos devido à regressão da variável Y em função da variável X ,

$$\begin{pmatrix} Y_1 - Y_{\text{estimado}} \\ Y_2 - Y_{\text{estimado}} \\ Y_3 - Y_{\text{estimado}} \end{pmatrix}, \text{ ou,}$$

$$Y_{\text{estimado}} - Y, Y_{\text{estimado}} - Y_{\text{estimado}}$$

- f) E, o exposto pode ser generalizado para n dimensões.

3.1.2. Qualidade das estimativas

A verificação da *qualidade das estimativas* se confunde com a verificação da qualidade ou significância dos coeficientes da função para estimar. O uso da hipótese de que os erros têm distribuição normal faz montar um teste de hipótese para os coeficientes de regressão quando $a, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são os coeficientes da regressão:

$$H_0: a = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: a \neq 0 \text{ ou } \beta_1 \neq 0 \text{ ou } \beta_2 \neq 0 \dots \text{ ou } \beta_k \neq 0$$

A existência dos coeficientes ou da função para estimar é verificada usando $F_{\text{estimado}} = \frac{QMR}{QMR_s}$, com k e $n - k - 1$ graus de liberdade e se:

$F_{\text{estimado}} > F_{\alpha, k, n - k - 1}$, rejeita-se a hipótese $H_0: a = \beta_1 = \beta_2 \dots = \beta_k = 0$ em favor da hipótese alternativa $H_1: a \neq 0$ ou $\beta_1 \neq 0$ ou $\beta_2 \neq 0 \dots$ ou $\beta_k \neq 0$, ao nível de significância adotado para estudos.

As estimativas de variâncias dos coeficientes a e β_j , $j = 0, 1, \dots, k$, $s^2(a)$ e $s^2(\beta_j)$, estão contidas na diagonal principal da matriz $(X^T \cdot X)^{-1}$. Para obter os desvios padrão basta extrair a raiz quadrada das variâncias.

Se a e b_j são os coeficientes da regressão sobre toda a população de onde provêm os pares (X_i, y_i) , e, t , o *t de Student*, os intervalos de confiança dos coeficientes b_j podem ser estimados: $b_j \pm t \frac{s}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - r_j^2}$.

Ou seja, usa-se a estatística “*t de Student*” para controle da significância estatística dos coeficientes da função para estimar as medidas sobre a variável dependente.

3.1.3. A regressão linear passo a passo

Para facilitar a escolha das medidas de variáveis cujas relações lineares com as medidas da variável dependente são significantes para estimativas da variável dependente existem processos denominados genericamente “*regressão passo a passo*”. Dentre estes métodos se destaca a denominada “*regressão passo a passo por acréscimo de variáveis*”:

- Inserir nas funções parciais para estimativa as medidas sobre variáveis, na ordem decrescente dos coeficientes de correlação parciais entre as variáveis independentes e a variável dependente;
- Testar a qualidade dessas funções em cada etapa.

Para visualizar a interpretação geométrica da regressão passo a passo usaremos o auxílio da Figura 10, DRAPER & SMITH (1981). Ali estão traçados três paralelogramos:

- $OP'YP$ da regressão de Y sobre X ;
- $OQ'ZQ$ da regressão de Z sobre X ;
- $OT'YT$ da regressão de Y sobre X e Z simultaneamente.

Assim:

- Os resíduos decorrentes das regressões Y sobre X e Z sobre X , quando tratados simultaneamente são obtidos traçando a perpendicular de P' a OQ' ;

- b) Se a intersecção é o ponto R , a reta que passa por O , paralela ao segmento RP' , será o vetor que mede os resíduos decorrentes de uma regressão em duas etapas de estimativa de Y em função de X e Z ;
- c) Como os pontos O, Q', Z, P, Q, X e T pertencem ao plano definido por OZ e OX , o mesmo ocorrerá com o ponto R ;
- d) Como $OP'YP$ é um paralelogramo, e $P'R$ e YT são perpendiculares ao plano definido por OZ e OX , $P'R = YT$;
- e) Como $PY = OT'$, segue-se que $OT' = RP'$;
- f) Mas, OT', RP' e TY são paralelas entre si e perpendiculares ao plano definido por OZ e OX , $OT'P'R$ é um paralelogramo que contém o vetor dos resíduos da regressão passo a passo, $\hat{OT}'$.

Figura 10 – Ilustração sobre a estimativa da variável dependente Y em função da variável independente X usando a regressão linear passo a passo

3.2 Escalas para medidas a partir de juízos emitidos por individuos

Uma segunda investigação sobre as relações entre medidas, ou contagens sobre ocorrências de defeitos em segmentos de rodovias e notas fornecidas por usuários treinados para qualidade de viagens é o uso de escalas para comparar conjuntos distintos de observações.

Define-se *escala para classificação a partir de opiniões de indivíduos* (ou simplesmente escala) a um valor de medida associada à distribuição de ocorrências de “classificações” obtidas ao acionar a escolha ou percepção sobre a ocorrência de características numéricas ou contagens sobre variáveis. A “escala” é um conceito de origem lógica para medidas.

O termo “característica abstrata” é aqui entendido como qualquer aspecto que identifique a diferença entre fatos ou objetos. Por exemplo, comprimento, peso, percepção visual de formas, dureza, dificuldade para escrever, simpatia política, qualidade de tráfego de veículos, qualidade de viagens, etc. As “escalas” podem ser usadas para associar “medidas” a *valor de característica abstrata* de sujeitos observados.

A “definição de escala” é processo de aplicação comum em estudos da Psicologia e da Educação – porque, nessas ciências “medem-se” expressões e julgamentos emitidos por indivíduos. Exemplos de aplicações podem ser classificações de: aprendizagem, memorização, captação, ou assemelhados. Ai é usual fixar um “valor padrão para referência”, e adotar medidas em função de números de valores padrão.

Juízo é uma faculdade intelectual do Homem que compara e julga. Os valores sobre coisas podem ser formados a partir de juízos emitidos por indivíduos. Um exemplo de aplicação de juízos pelo homem pode ser: “atribuir notas entre “0” e “5” para a qualidade ou variáveis que caracterizem uma viagem”.

Uma distribuição estatística de classificações obtidas por “juízos” pode se transformar em conjunto de medidas sobre variáveis. Isso pode ser aplicado para classificar sensações humanas – servem, por exemplo, para classificar resultados de experimentos da psicologia, observações sobre estética, verificação de características de pessoas ou resultados de ações de indivíduos. E, “nível para qualidade de produto ou serviço”, estado de conservação de pavimentos, ou seja, a qualidade de viagem por dado segmento de rodovia, etc.

E, “juízos” podem ser comparativos ou absolutos – inclusive a “inexistência de juízo” que pode ser absoluta ou produto de comparações. Para exemplos:

- a) “Esse pavimento tem mais buracos que aquele outro” é uma comparação;
- b) “Esse defeito do pavimento impede a viagem” é um juízo absoluto que contém uma comparação (existiria outro pavimento...).

Um “juízo” único, emitido por um único indivíduo, reflete uma “única posição de classificação”. E, pode não fornecer informação suficiente para obter uma classificação. Mas, um conjunto de “juízos” pode contribuir para classificar um sujeito observado. Por isso, opiniões emitidas por indivíduos podem ser úteis para “medir” dificuldades, qualidade, estética ou percepções, etc.

O juízo sobre características de pessoas ou coisas pode ser muitas vezes emitido através de classificação sobre um pequeno número de classes definidas e ordenadas.

Apesar de os limites da escala para classificação conterem intervalos de classes iguais, ou seja, equidistantes, a sua transformação em “medidas” pode ser mais bem efetuada assumindo-os como simples intervalos de classes sucessivas de uma escala. Isso porque no uso de intervalos sucessivos é latente a ordem de classificação. Juízos contêm a relação de ordem de classificação e a expressão de escalas internas de quem classifica uma característica de coisas

Descrever posições em uma escala pode ser um processo para fornecer medidas sobre um conjunto de ocorrência de uma variável. Ou seja, exprimir classificações ou ordenações de características de variáveis. E, há muitas aplicações para simples indicações da ordem de características de variáveis.

Mas as “escalas para medir” podem não se resumir à expressão de relações de ordem. De um lado há ordenação, de outro a classificação de diversos espécimes apenas semelhantes colocados em mesma categoria. Se o problema fosse apenas ordenar, seria necessário tratar da ordenação completa de inúmeros elementos classificados em mesma categoria.

Há processos para tratamento de dados que levam à “definição de escalas” partindo de juízos sobre coisas ou pessoas cujas características sejam enquadradas em um número definido de classes. Destaca-se o uso de características e propriedades da

distribuição normal de probabilidades conforme proposto por LIKERT (1932), que em resumo sugeriu:

- a) Assumir que a distribuição normal explicaria a ocorrência de juízos emitidos por indivíduos;
- b) Adotar freqüências relativas de ocorrência de respostas em intervalo de classe como estimativa das probabilidades de ocorrência da classe entre as respostas possíveis para uma característica classificada;
- c) Operar sobre a formulação teórica dos parâmetros da distribuição normal para estimar as ordenadas, ou seja, caracterizar a probabilidade de ocorrência de intervalo de classe;
- d) Estimar a variável normal estandardizada “z” a partir das ordenadas.

Para um número de classes m em um processo de definição de escalas, se: p_l = freqüência relativa de ocorrência de juízos em um intervalo de classe de medidas l ; $l = 1, \dots, m$:

- a) A freqüência relativa de ocorrência de juízos até o limite inferior para a primeira dessas classes medidas é “0” (zero), e estimada por $\sum_{k=1}^{l-1} p_k$ para a classe de ordem l ;
- b) Também, a freqüência relativa de ocorrência de juízos até o limite superior para a primeira das classe de medidas é p_1 , e estimada por $\sum_{k=1}^l p_k$ para a classe de ordem l .

E, a partir daí pode-se estimar:

- $y_{l(l)}$ = ordenada do limite inferior de um intervalo de classe de medidas, na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada da classe l ;

$y_{2(l)}$? ordenada do limite superior de um intervalo de classe de medidas, na curva que representa a função densidade de probabilidade normal estandardizada de classe l .

Os cálculos para estimativas das ordenadas características da distribuição normal são de difícil formulação matemática. Por isso, o mais usual é recorrer a resultados publicados em tabelas. Para facilitar as estimativas de ordenadas que caracterizam os limites das classes na curva que representa a distribuição normal, pode-se usar a análise de regressão sobre os dados contidos na tabela publicada em MORGAN (1950), páginas 606 a 608 para obter um polinômio de interpolação de valores dessas ordenadas:

$$y \approx 1,7244p^4 + 3,4489p^3 + 3,7098p^2 + 1,9854p + 0,0084$$

A variável estandardizada normal z_l pode ser estimada para cada classe l :

$$z_l \approx \frac{y_{1(l)} - y_{2(l)}}{p_l}$$

A Figura 11 ilustra o andamento do processo para estimativa da variável normal estandardizada z_l , que permite estimar dados sobre escalas conforme proposto por LIKERT (1932).

Figura 11 – Ilustração de processo para estimativa da variável normal estandardizada z

A Figura 12 contém um diagrama que resume os procedimentos para tornar práticas as estimativas sobre parâmetros característicos da distribuição normal de probabilidades, que sejam os dados usados para definir escalas para classificação, conforme a sugestão de LIKERT (1932).

Intervalo da classe "1", n_1 ocorrências	Intervalo da classe "2", n_2 ocorrências		Intervalo da classe "m-1", $m-1$ ocorrências	Intervalo da classe "m", m ocorrências
$p_1 \approx \frac{n_1}{n_j}$ $j=1$	$p_2 \approx \frac{n_2}{n_j}$ $j=1$		$p_{m-1} \approx \frac{n_{m-1}}{n_j}$ $j=1$	$p_m \approx \frac{n_m}{n_j}$ $j=1$
0	p_1		$p_i \approx \frac{m-2}{m-1}$ $i=1$	$p_i \approx \frac{m-1}{m}$ $i=1$
p_1	$p_1 \approx p_2$		$p_i \approx \frac{m-1}{m}$ $i=1$	$p_i \approx \frac{m}{m+1}$ $i=1$
$y_{2(1)} \approx f \cdot p_1$	$y_{2(2)} \approx f \cdot p_1 \approx p_2$		$y_{2(m-1)} \approx f \cdot \frac{m-1}{m} p_i$	$y_{2(m)} \approx f \cdot \frac{m}{m+1} p_i$
$y_{1(1)} \approx 0$	$y_{1(2)} \approx f \cdot p_1$		$y_{1(m-1)} \approx f \cdot \frac{m-2}{m-1} p_i$	$y_{1(m)} \approx f \cdot \frac{m-1}{m} p_i$
$z_1 \approx \frac{y_{1(1)} - y_{2(1)}}{p_1}$	$z_2 \approx \frac{y_{1(2)} - y_{2(2)}}{p_2}$		$z_{m-1} \approx \frac{y_{1(m-1)} - y_{2(m-1)}}{p_{m-1}}$	$z_m \approx \frac{y_{1(m)} - y_{2(m)}}{p_m}$

Figura 12 – Diagrama das operações para estimativa da variável normal estandardizada e definição de escalas conforme sugestões de LIKERT (1932), fonte PADULA (1999)

3.2.1. Comparação entre escalas para classificação

Se, $n_i \geq 30$, $i = 1, \dots, p$ indicar o número de medidas efetuadas a partir de juízos em cada uma de p amostras sobre uma população, a amostra total sobre o universo representado terá $\sum_{i=1}^p n_i$ observações. Para comparar escalas de medidas obtidas estudando distribuições de juízos emitidos por indivíduos pode-se:

- a) Usar os conceitos emitidos por LIKERT (1932) para estudar um conjunto de juízos sobre um conjunto de p amostras que possa ser admitido como capaz de fornecer a explicação do comportamento estatístico de medidas sobre uma população para definir a *escala de medidas para a população* que explique a distribuição de juízos sobre o universo estudado;
- b) Usando os conceitos emitidos por LIKERT (1932) para estudar um caso isolado pertencente à população analisada no item anterior pode-se definir a *escala de medidas para a amostra* que explique um processo ocorrido sobre a distribuição de juízos na *população* estudada – é o caso de uma observação particular sobre uma divisão da amostra sobre o universo;
- c) Para comparar escalas definidas nos itens “(a)” e “(b)” anteriores, deve-se ter em mente que as variáveis analisadas são as características de distribuições estatísticas das ocorrências de medidas, explicadas pela distribuição normal de probabilidades. Ou seja, o escore “ z ” é o parâmetro para definir comparações, ou “posição na curva da variável normal estandardizada”;
- d) Casos individuais podem ser comparados apenas verificando diferenças entre escores z entre a escala que explica o conjunto de amostras e o escore na escala obtida para a amostra verificada para o mesmo item;
- e) A comparação de todo um conjunto de intervalos em escalas é o mais adequado para orientar a comparação entre duas escalas – a relação de ordem contida na escala pode permitir a identificação de tendências e definição de índices que orientem a explicação dessas tendências. Por exemplo, foi sugerido por PADULA (1999) um procedimento para definir um índice de comparação de escalas de notas no intervalo de “0” a “5”, resumido e ilustrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Definição de índice para comparação de escalas (Padula, 1999)

Tipo de observação	Notas					Índice para comparação de escalas
	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	
Escore z da população	$z_{p(1)}$	$z_{p(2)}$	$z_{p(3)}$	$z_{p(4)}$	$z_{p(5)}$	$z_{p(i)}$
Escore z da amostra	$z_{a(1)}$	$z_{a(2)}$	$z_{a(3)}$	$z_{a(4)}$	$z_{a(5)}$	$z_{a(i)}$

3.2.2. Uso do processo para comparação entre escalas

Ao exposto por PADULA (1999) acresçamos alguns raciocínios que podem facilitar a interpretação de comparações entre escores conforme se segue.

Na maioria dos casos, os tipos de observação similares ao exposto na Tabela 11 classificam-se como “processos estatísticos” conforme exposto por WERKEMA (1996). Para comparar dois processos estatísticos usando medidas que podem ser admitidas como normalmente distribuídas, sugere aquela autora, o uso da diferença entre as médias de escores z . Então:

A média entre os escores z de cada linha exposta na Tabela 11 pode ser expressa por

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{p(i)}$, ou $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{a(i)}$, ou seja, a expressão contida na última coluna da Tabela 11

pode ser transformada para $\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{p(i)} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{a(i)}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{p(i)}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{p(i)}\right)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{a(i)}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{a(i)}\right)^2}}$, que fornece

$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{p(i)} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{a(i)}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{p(i)}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{p(i)}\right)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{a(i)}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{a(i)}\right)^2}}$, que é a expressão para a diferença entre as médias dos escores z

em cada linha da Tabela 11, ou processos observados..

Para testar a diferença de médias obtida pode usar o exposto em WERKEMA (1996), páginas 187 e 188. E, para orientar os próximos raciocínios, a notação que usaremos a partir desse item está resumida na Tabela 12.

Tabela 12 - Notação para o estudo, a partir de amostras, de parâmetros sobre médias

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

Para comparar as médias μ_1 e μ_2 provenientes dos processos 1 e 2, cujos dados são representados por x_1 e x_2 , pode-se usar a diferença das médias $d = x_1 - x_2$ e $\mu_d = \mu_1 - \mu_2$. O teste é:

$$\begin{aligned} H_o: \mu_d &= 0 \\ H_1: \mu_d &\neq 0 \end{aligned}$$

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:

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

4 Estudo de caso

PADULA (1999), FREITAS (2000), VASCONCELOS (2000) e PALMA (2000) levantaram dados e conduziram análises sobre as relações entre a qualidade de viagens, pavimentos, geometria e drenagem nos segmentos usados para o desenvolvimento desse trabalho (Figura 1 e Figura 13).

Dentre os usos que PADULA (1999), FREITAS (2000), VASCONCELOS (2000) e PALMA (2000) fizeram de informações obtidas por observações em campo, incluíam-se:

- a) identificar e explicar relações entre medidas sobre itens técnicos que caracterizaram a rodovia,
- b) e a qualidade de viagens do ponto de vista de sensações para conforto e segurança declarados por notas atribuídas por usuários de vias representados por avaliadores treinados previamente.

Para obtenção de amostras, as vias observadas (Figura 1) foram divididas em segmentos para observação com comprimentos de 600m. Resultaram 58 intervalos de 600m. Entre os segmentos sortearam-se 37 intervalos – um número de amostras que pode produzir resultados com distribuição normal. A Figura 13 resume a localização dos segmentos analisados a partir do início dos percursos efetuados.

Araraquara (origem) – Gavião Peixoto							
Início em relação à origem(km)	0	1,4	2,0	3,1	3,7	4,0	4,6
Segmentos		11		12		13	
Início em relação à origem(km)	6,4	7,0	13,6	14,2	15,1	15,7	15,8
Segmentos	14		15		16		17
Início em relação à origem(km)	16,4	19,4	20,0	20,6	21,2	21,8	22,0
Segmentos		18	19		20		21
Início em relação à origem(km)	22,6	22,7	23,4	23,8	24,4	24,8	25,4
Segmentos		22		23		24	
Início em relação à origem(km)	26,0	26,6	27,2	28,2	28,8	29,7	30,3
Segmentos	25	26		27		28	
Início em relação à	30,4	30,7	30,8	31,1			
Segmentos							
Gavião Peixoto – Nova Paulicéia							
Início em relação à	31,1	31,4	32,0	32,1	32,7	33,7	34,3
Segmentos		29		30		31	
Início em relação à origem(km)	34,6	34,7					
Segmentos							
Nova Paulicéia – Nova Europa							
Início em relação à origem(km)	34,7	35,3	35,9	36,1	36,7	37,8	38,4
Segmentos	32	33		34		35	
Início em relação à origem(km)	38,5	39,1	39,2	39,8	41,7	42,0	
Segmentos	36		37				
Nova Europa – Trevo Rodovia Araraquara a Ibitinga							
Início em relação à origem(km)	42,0	43,0	43,6	45,0	45,6		
Segmentos		38					
Trevo Rodovia Araraquara a Ibitinga - Trevo Ibitinga							
Início em relação à origem(km)	45,6	46,2	49,0	49,6	54,4	55,0	57,8
Segmentos	39		40		41		42
Início em relação à origem(km)	58,4	58,7					
Segmentos							
Trevo Rodovia Araraquara a Ibitinga – Gavião Peixoto							
Início em relação à origem(km)	58,7	60,7	61,3	63,7	64,3	65,0	65,6
Segmentos		43		44		45	
Distância(km)	68,4	69,0	69,5	70,1	72,0	72,3	
Segmentos	46		47				

Figura 13 – Resumo de localização de segmentos observados

Na tentativa de ampliar o entendimento sobre a diversidade dos defeitos nos intervalos de vias estudados, as Figura 23 até à Figura 26 ilustram a aparência da superfície de vários dos segmentos observados.

Figura 14 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 11

Figura 15 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 12

Figura 16 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 13

Figura 17 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 14

Figura 18 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 19

Figura 19 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 21

Figura 20 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 25

Figura 21 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 29

Figura 22 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 33

Figura 23 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 36

Figura 24 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 41

Figura 25 – Ilustração da aparência da superfície do segmento 43

Figura 26 – Ilustração da aparência da superfície dos segmentos 46 e 47

4.1 Notas atribuídas aos segmentos por avaliadores treinados

PADULA (1999), FREITAS (2000), PALMA (2000) e VASCONCELOS (2000) usaram critérios para amostragem sobre segmentos observados similares ao que se expôs no procedimento PRO 07/78 (DNER, 1978b) para avaliação de qualidade de viagens através de notas por observadores treinados.

O conjunto de avaliadores foi composto por trinta e dois indivíduos. As características dos observadores quanto a origem geográfica podem ser resumidas:

- a) Um boliviano e dois peruanos;
- b) Sete provenientes dos Estados do Norte do País;
- c) Cinco provenientes dos Estados do Nordeste do Brasil;
- d) Quatro provenientes dos Estados do Centro-Oeste do Brasil;
- e) Treze provenientes dos Estados do Sudeste do Brasil.

Dentre os indivíduos que participaram das avaliações, vinte e um não possuíam qualquer experiência anterior em avaliação de pavimentos e viagens, e onze possuíam experiência em observação de comportamento de pavimentos.

Conforme sugerido em DNER (1978b), observadores foram treinados em seminários onde foram expostos critérios e processos utilizados para avaliar a viagem e informações sobre os segmentos a observar. Em seguida, efetuaram-se as avaliações de treinamento sobre dez segmentos de via.

Para a atribuição de notas foram feitas viagens individuais com os usuários pelos segmentos com um automóvel de passeio que circulou à velocidade aproximada de 60km/h, que é a velocidade declarada para projeto das rodovias vicinais observadas.

Os segmentos foram percorridos nos sentidos de Araraquara para Nova Europa, e depois de Nova Europa sentido Araraquara até Gavião Peixoto. Em cada segmento, cada avaliador usava uma ficha para anotar os juízos sobre a viagem realizada, conforme ilustrado na Figura 27,

Se você viajasse durante 8 horas em rodovia igual ao segmento que percorremos, que nota você daria a sua viagem?

Sua opinião sobre a viagem	Péssima	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Nota	1	2	3	4	5

Você viajaria sem reclamar por uma rodovia igual ao segmento que percorremos?

Sim	Não	Não sei
------------	------------	----------------

Número: **Data:** **Segmento:**

Figura 27 - Ficha para anotação de notas e conceitos atribuídos aos segmentos observados

Foram obtidas 1184 notas. A Tabela 13 contém o resumo da estatística descritiva sobre as notas obtidas. O conjunto completo das notas atribuídas às amostras adotadas foi publicado em PADULA (1999), páginas 59 a 61, e VASCONCELOS (2000), páginas 46 a 48.

A Figura 28 ilustra a distribuição da média de notas atribuídas ao nível para qualidade da viagem pelos segmentos estudados.

Tabela 13 – Resumo da estatística descritiva de notas atribuídas aos segmentos observados

Segmentos	Respostas dos avaliadores		Segmentos	Respostas dos avaliadores	
	Média	Desvio		Média	Desvio
11	2,38	0,55	29	3,00	0,80
12	1,97	0,65	30	2,06	0,67
13	1,91	0,73	31	2,81	1,06
14	1,72	0,77	32	2,88	0,91
15	2,00	0,88	33	3,22	0,87
16	1,28	0,52	34	3,50	0,72
17	2,75	0,72	35	3,59	0,91
18	2,84	0,68	36	3,63	0,75
19	3,22	0,75	37	3,75	0,80
20	2,78	0,87	38	3,28	0,89
21	2,59	0,80	39	4,03	0,74
22	2,59	0,76	40	4,09	0,73
23	3,41	0,87	41	3,56	0,84
24	1,41	0,56	42	4,09	0,69
25	2,72	0,73	43	4,31	0,74
26	2,25	0,76	44	4,06	0,80
27	2,13	0,71	45	3,97	0,74
28	2,16	0,81	46	3,91	0,89
			47	3,91	0,59

Figura 28 - Média das notas atribuídas ao nível para qualidade de viagem pelos segmentos em estudo

4.2 Dados sobre os defeitos nos segmentos observados

Para obter dados e estudar uma parcela complementar de variáveis que definiriam a qualidade de viagens efetuaram-se diversas visitas aos segmentos amostrados durante os meses de janeiro a março de 2001: contaram-se, classificaram-se e mediram-se características e distribuições de defeitos na superfície de pavimento dos 37 segmentos amostrados.

Tabela 14 – Classificação de defeitos adotada para levantamento de dados

Tabela 14 – Classificação de defeitos adotada para levantamento de dados			
Tipo de defeito	Classificação	Severidade	Quantidade de variáveis
Deformação na superfície	afundamento nas trilhas de rodas corrugação	não aplicável	1
			1
Buracos e Remendos	buraco	baixa	1
		média	1
		alta	1
	remendo	baixa	1
		média	1
		alta	1
Trincas	por fadiga	baixa	1
		média	1
		alta	1
	em bloco	baixa	1
		média	1
		alta	1
	de borda	baixa	1
		média	1
		alta	1
	longitudinais	baixa	1
		média	1
		alta	1
transversais	baixa	1	
	média	1	
	alta	1	
Defeitos físicos na superfície	exsudação	baixa	1
		média	1
		alta	1
	desgaste	baixa	1
		média	1
		alta	1
Outros defeitos	desnível	não aplicável	1
	bombeamento e exsudação		1
Total de variáveis utilizadas para estudo			31

Os tipos de defeitos e severidade definiram trinta e uma variáveis para estudos. A Tabela 14 resume as informações sobre classificação de defeitos adotada.

O procedimento adotado para contar, medir e classificar defeitos em segmentos de pavimento foi o descrito em SHRP (1993), complementado com o que se propôs em AUSTROADS (1987). A Tabela 15 contém uma síntese de informações obtidas por observação em campo sobre os defeitos e suas ocorrências nos segmentos analisados.

Tabela 15 – Contagem, classificação e medidas sobre variáveis características de defeitos

Segmentos	Degrau no acostamento (mm)	Remendos (m²)		Desgaste (m²)	Trinca		De bordas (m)	
					Por fadiga (m²)			
					Severidades			
		Média	Alta	Média	Baixa	Média	Baixa	Alta
11	35	207	150	100	-	-	-	450
12	100	315	-	1200	600	300	-	300
13	75	125	600	400	-	900	-	550
14	-	500	800	450	-	400	-	-
15	75	200	600	50	-	900	-	-
16	50	750	945	-	300	300	-	300
17	95	90	-	1050	-	-	600	-
18	-	475	-	-	-	900	-	-
19	-	-	-	-	-	600	-	-
20	-	150	-	-	400	-	600	-
21	25	-	1300	200	-	500	-	300
22	15	200	500	1000	500	-	-	-
23	200	300	-	-	-	1200	-	-
24	30	300	-	1500	-	1200	400	-
25	-	250	-	800	-	-	300	-
26	100	1200	-	-	600	-	-	600
27	-	1300	-	-	-	-	-	600
28	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	600	-
31	-	-	-	-	-	-	600	-
32	-	-	-	-	600	-	600	-
33	50	-	600	-	-	-	-	300
34	-	-	-	-	-	-	600	-
35	-	-	-	-	-	-	300	-
36	50	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-
38	70	-	-	-	-	-	-	-
39	90	-	-	300	-	-	-	-
40	50	-	-	-	100	-	400	-
41	100	-	-	-	1200	-	-	-
42	150	-	-	-	-	-	-	-
43	50	-	-	-	-	-	-	-
44	50	-	-	-	-	-	200	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-
46	40	-	-	-	-	-	-	-
47	40	-	-	-	-	-	-	-

Convém observar que os tipos de defeitos denominados “remendo com severidade baixa”, “buracos”, “desgaste com severidade alta”, “desgaste com severidade baixa”, “exsudação”, “trincas longitudinais”; “trincas por fadiga com severidade alta”, “trinca em bloco”, “trinca de bordas com severidade média”, “trinca transversal”, “afundamento na trilha de roda”, “corrugação” ou “bombeamento” não ocorreram nos segmentos estudados.

4.3 O primeiro experimento: uso da regressão linear múltipla

Usando as informações expostas nas Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 efetuou-se a análise de regressão linear múltipla passo a passo que adotou como variável dependente a média das notas atribuídas pelos avaliadores treinados à viagem pelos 37 segmentos observados, e como variáveis independentes as contagens ou medidas sobre ocorrências de defeitos observadas em campo.

O programa para processamento de dados em computador usado foi o STATISTICA’99 (MATHSOFT, 1999). A Tabela 16 resume os principais dados para controle de qualidade da função de estimativa das notas fornecidas pelos avaliadores à qualidade de viagem pelos segmentos observados.

Tabela 16 - Controle de qualidade da função de regressão linear múltipla para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores à qualidade de viagem pelos segmentos observados

Estatística	Interpretação
	$R(37; 0,05) = 0,327$ [CHASE & BOWN (1992), página A-22]
$R = 0,8416$ $R^2 = 0,7083$ $R^2_{\text{ajustado}} = 0,6249$	Como $R^2 = 0,7083 > R(37;0,05) = 0,327$, existem relações lineares entre as medidas sobre o conjunto de características de defeitos observados e as médias das notas atribuídas pelos avaliadores.
	$F(8; 28; 0,05) = 2,29$ [DRAPER & SMITH (1981), página 533]
$F(8; 28)_{\text{estimado}} = 8,4982$	Como $F(8;28)_{\text{estimado}} = 8,4982 > F(8;28;0,05) = 2,29$, existem relações lineares entre as médias das notas atribuídas pelos avaliadores e o conjunto de variáveis cujas contagens e medidas forneceram os coeficientes para a função de estimativa obtida por análise de regressão “passo a passo”.

A Tabela 17 resume os coeficientes de regressão obtidos e resultados da verificação da significância desses parâmetros por comparação de estimativas de *t de Student* para os coeficientes da função de regressão e o *t de Student*, $t(28) = 1,701$, publicado em CHASE & BOWN (1992), página A16.

Tabela 17 - Qualidade de coeficientes da função para estimativa de notas

Variável	Coeficiente	$t(28)_{\text{estimado}}$	Qualidade do coeficiente
Intercepto	3,51144	21,7050	Significativos
Remendo com severidade média	-0,00079	-2,0802	
Desgaste com severidade média	-0,00058	-2,4855	
Remendo com severidade alta	-0,00071	-2,2578	
Trinca de fadiga com severidade média	-0,00073	-2,5857	
Degrau no acostamento	0,00473	2,3040	Não significativos
Trinca de borda com severidade baixa	-0,00073	-1,6222	
Trinca de borda com severidade alta	-0,00104	-1,5697	
Trinca por fadiga com severidade baixa	-0,00039	-1,1110	

Para escrever a função de estimativa de notas atribuídas pelos avaliadores usamos um estilo de notação adaptada de FREITAS (2000), resumida na Tabela 18.

Tabela 18 - Notação das variáveis para escrever a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos analisados

Variável	Notação
Média das notas atribuídas pelos avaliadores	Y_1
Intercepto	b
Remendo com severidade média	X_1
Desgaste com severidade média	X_2
Remendo com severidade alta	X_3
Trinca de fadiga com severidade média	X_4
Degrau no acostamento	X_5
Trinca de borda com severidade baixa	X_6
Trinca de borda com severidade alta	X_7
Trinca por fadiga com severidade baixa	X_8

Assim, usando os coeficientes significativos expostos na Tabela 17, a função para estimativa de notas atribuídas para a qualidade de viagem por observadores treinados em função das distribuições de defeitos nos segmentos de rodovia observados por inspeções físicas sobre a superfície de pavimento pode ser escrita:

$$Y_I = 3,51144 - 0,00079X_1 - 0,00058X_2 - 0,00071X_3 - 0,00073X_4 + 0,00473X_5$$

Assim, o uso da análise de regressão no estudo de relações entre notas atribuídas por avaliadores à qualidade de viagem por segmentos de rodovias e distribuições de medidas ou contagens sobre características de variáveis que descrevem os defeitos de superfície de pavimentos permitiu:

- a) Comprovar a existência de relações entre notas atribuídas por avaliadores à qualidade de viagem por segmentos de rodovias e distribuições de medidas ou contagens sobre características de variáveis que descrevem os defeitos (Tabela 16);
- b) Mostrar que existe, e tem coeficientes significantes, uma função para estimativa de notas atribuídas por avaliadores à qualidade de viagem por segmentos de vias (Tabela 17);
- c) Obter uma expressão numérica de estimativa das notas para qualidade de viagem em função de medidas ou contagens sobre ocorrências de defeitos na superfície de pavimentos.

Substituir na função para estimativa de notas atribuídas por avaliadores à qualidade de viagem por segmentos de vias os dados sobre contagens e medidas de características de defeitos em superfície de pavimentos descritos na Tabela 15 fornece as estimativas para notas para qualidade de viagem a partir da distribuição de defeitos exposta na Tabela 19.

Tabela 19 – Notas para qualidade de viagem em função de distribuição de defeitos

Segmentos	Nota		Segmentos	Nota	
	Atribuída	Estimada		Atribuída	Estimada
11	2,38	3,35	30	2,06	3,51
12	1,97	2,82	31	2,81	3,51
13	1,91	2,45	32	2,88	3,51
14	1,72	1,99	33	3,22	3,32
15	2,00	2,60	34	3,50	3,51
16	1,28	2,27	35	3,59	3,51
17	2,75	3,28	36	3,63	3,75
18	2,84	2,48	37	3,75	3,51
19	3,22	3,07	38	3,28	3,84
20	2,78	3,39	39	4,03	3,76
21	2,59	2,23	40	4,09	3,75
22	2,59	2,49	41	3,56	3,98
23	3,41	3,34	42	4,09	4,22
24	1,41	1,66	43	4,31	3,75
25	2,72	2,85	44	4,06	3,75
26	2,25	3,04	45	3,97	3,51
27	2,13	2,49	46	3,91	3,70
28	2,16	3,51	47	3,91	3,70
29	3,00	3,51			

Para ilustrar o exposto na Tabela 19, na Figura 29 expõem-se a função para estimativa (traço contínuo, vermelho) e o intervalo de 95% de confiança (tracejado vermelho) das notas obtidas a partir dos defeitos observados nos segmentos analisados (bolotas azuis).

Figura 29 – Notas a partir dos defeitos nos segmentos analisados e intervalo de 95% de confiança das estimativas

4.4 Segundo experimento: uso de escalas de classificação

Usando as informações expostas nas Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 e o programa para processamento de dados em computador EXCEL 2000 (MICROSOFT, 1999) processaram-se dados para definir escalas para classificação de nível para qualidade de viagens pelos segmentos estudados a partir das notas ou juízos emitidos pelos avaliadores usando a rotina exposta no item 3.2.1.

A Tabela 20 resume os parâmetros usados para fixação de “escala para medidas de nível para qualidade de viagens no conjunto de 37 segmentos de rodovias” em função das *notas emitidas pelos avaliadores treinados*.

Tabela 20 – Parâmetros para escala para medidas de nível para qualidade de viagens nos 37 segmentos de rodovias” em função de notas emitidas por avaliadores treinados

Conceito sobre a viagem	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Intervalo de notas	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5
Frequência de ocorrência	135	274	360	326	89
Frequência relativa	0,1140	0,2314	0,3041	0,2753	0,0752
Frequência relativa antes	0,0000	0,1140	0,3454	0,6495	0,9248
Frequência relativa até	0,1140	0,3454	0,6495	0,9248	1,0000
Ordenada do extremo superior	0,0000	0,1914	0,3692	0,3710	0,1382
Ordenada do extremo inferior	0,1914	0,3692	0,3710	0,1382	0,0000
Estimativa da variável normal estandardizada	-1,6784	-0,7683	-0,0062	0,8458	1,8381

A Figura 30 ilustra as relações entre probabilidade de ocorrência das classes de notas e escala de medida com utilização da distribuição normal estandardizada para o nível de qualidade de viagens estimados pelas notas atribuídas por observadores treinados para o conjunto de 37 segmentos observados, e , a escala para medidas de nível para qualidade de viagens no conjunto de 37 segmentos observados.

Figura 30 – Escala para medidas de nível para qualidade de viagens nos 37 segmentos, em função de notas atribuídas por observadores treinados

A Tabela 21 resume os parâmetros usados para obter a “escala para medidas de nível para qualidade de viagens no conjunto de 37 segmentos de rodovias” em *função das distribuições de defeitos* nos segmentos observados, e outra em função das variáveis independentes *notas estimadas por função de estimativas* (Tabela 19).

Tabela 21 - Parâmetros para fixação de “escala para medidas de nível para qualidade de viagens pela nota estimada” em função de distribuições de defeitos estimadas por função de estimativa

Conceito sobre a viagem	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo
Intervalo de notas	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5
Frequência de ocorrência	0	2	9	25	1
Frequência relativa	0,0000	0,0541	0,2432	0,6757	0,0270
Frequência relativa antes	0,0000	0,0000	0,0541	0,2973	0,9730
Frequência relativa até	0,0000	0,0541	0,2973	0,9730	1,0000
Ordenada do extremo superior	0,0000	0,0084	0,1054	0,3479	0,0595
Ordenada do extremo inferior	0,0084	0,1054	0,3479	0,0595	0,0000
Estimativa da variável normal estandardizada	0,0000	-1,7947	-0,9970	0,4268	2,2018

A Figura 31 ilustra as relações entre probabilidade de ocorrência das classes de notas obtida com utilização da distribuição normal estandardizada para classificar o nível de qualidade de viagens estimado a partir de distribuições de defeitos usada para definir a escala para medidas de nível para qualidade de viagens nos segmentos observados, a própria escala obtida.

Figura 31 –Escala para classificação de notas para qualidade de viagens em atribuídas por observadores treinados em função de estimativas de notas a partir de defeitos em superfície de pavimentos de rodovias

A Figura 32 ilustra a comparação entre os dois tipos de escalas que se construiu anteriormente.

Figura 32 – Comparação entre escalas definidas para a qualidade de viagens nos segmentos observados

Para maior clareza, comparar-se-á os escores “z” das distribuições normais obtidas a partir das notas atribuídas por observadores com os escores obtidos usando as notas estimadas pela função de regressão. Tabela 22 resume as estimativas efetuadas.

Tabela 22 - Escores z para as notas atribuídas pelos avaliadores aos 37 segmentos estudados, e nota estimada pela função de regressão para estimativa de notas atribuídas por observadores

Nível de qualidade para viagem	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Ótimo	Diferença entre escores
Escore z obtido para o conjunto de notas atribuídas pelos observadores	-1,6784	-0,7683	-0,0062	0,8458	1,8381	0,3941
Escore z obtido para nota estimada usando função de regressão	0,0000	-1,7947	-0,9970	0,4268	2,2018	

Para efetuar o teste de hipótese e verificar se os dois conjuntos têm a mesma média, ou seja, a diferença entre essas médias é aproximadamente zero, as hipóteses formuladas serão:

$$H_o : \mu_d = 0$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0$$

Utilizando-se nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), estima-se $\bar{d} = 0,0788$ e $S_d = 1,1323$, e, o *t de Student*, $t_{estimado} = 0,1556$.

Em CHASE & BOWN (1992), página A-16, $t(4 \text{ graus de liberdade}; 0,05) = 2,132$.

Ou seja, $t(4; 0,05) = -2,132 < t_{\text{estimado}} = 0,1556 < t(4; 0,05) = 2,132$, ficando compreendido na região de aceitação da hipótese nula ($H_0: \mu_d = 0$), ou, fora da região crítica que aceita a hipótese alternativa ($H_1: \mu_d \neq 0$). A observação sobre a Figura 33 ilustra as afirmativas acima.

Figura 33 – Resultados de teste de hipótese para comparação entre escalas

Ou seja, $t = 0,1556$ encontra-se na região de aceitação, a diferença entre as médias pode ser aceita como aproximadamente zero, e as duas escalas representam, com 95% de confiança, um mesmo processo de classificação ou medidas.

Convém comentar que, apesar de aparentemente diferentes, as escalas comparadas na Figura 33 representam um mesmo processo. Mas, nas estimativas de notas atribuídas por observadores treinados (nível para qualidade de viagem do ponto de vista de motoristas e passageiros) em função da distribuição de defeitos a classe correspondente ao nível “péssimo” não participa da escala para classificação.

5 Conclusões e sugestões

5.1 Conclusões

O uso da análise estatística sobre as relações entre a distribuição de defeitos em superfície de pavimentos contribui para explicar uma parcela do comportamento de pavimentos e qualidade de viagens em rodovias, quando associado à distribuição de notas atribuídas por um grupo de avaliadores treinados a viagens por segmentos de rodovias.

Resultados obtidos em um estudo de caso e observações sobre um conjunto de segmentos de rodovias vicinais próximo à Araraquara, estado de São Paulo indicam que a análise de regressão linear múltipla passo a passo é uma técnica útil para estudo das relações entre variáveis características da distribuição de defeitos em superfície de pavimentos e notas atribuídas às viagens por segmentos de rodovias, ou seja, a expressão da distribuição de qualidade de viagem pela rodovia do ponto de vista dos que a usam.

O uso da análise de regressão “passo a passo” para estudo de relações numéricas lineares entre notas atribuídas por avaliadores à qualidade de viagem e distribuições de defeitos na superfície de pavimentos de segmentos observados permitiu:

- a) Verificar que há dependência linear entre as medidas e contagens efetuadas em campo e o conjunto de notas;
- b) Identificar função de regressão para estimativas sobre notas atribuídas à qualidade de viagem em rodovias em função da distribuição de defeitos;
- c) Explicações mais acuradas para as relações entre notas e distribuições de defeitos na superfície de pavimentos.

Também, o uso de escalas para classificação, obtidas através de análises sobre parâmetros da distribuição normal permitiu comparar escalas obtidas a partir de notas atribuídas por observadores treinados (nível para qualidade de viagem do ponto de vista de motoristas e passageiros) e notas estimadas em função da distribuição de defeitos por função obtida por análise de regressão.

Para as estimativas de notas atribuídas por observadores treinados (nível para qualidade de viagem do ponto de vista de motoristas e passageiros) em função da distribuição de defeitos a classe correspondente ao nível “péssimo” não participa da escala para classificação. Mas, isto não levou à eliminação das escalas de classificação dentre os processos de estudos das classificações relativas entre segmento (no que diz respeito à influência dos defeitos na qualidade de viagens do ponto de vista de usuários).

Mais uma vez, a estrutura teórica que resultou de estudos sobre o comportamento de pavimentos da Pista Experimental da American Association of State Highway Officials, exposta por CAREY & IRICK (1960) e AASHO (1962), introduziu na tecnologia a estimativa de índices para medir a qualidade de viagens por segmentos de rodovias.

O que se mostrou é que, nas rodovias, a distribuição dos defeitos é percebida pelos motoristas e passageiros e contribui com elementos para explicar as sensações de conforto e segurança dos que usam as vias porque eles esperam que sejam atendidas suas necessidades e expectativas.

A análise estatística sobre distribuições de medidas sobre características desses componentes da via é um instrumento para explicar relações entre características de pavimentos e notas que avaliadores de pavimento atribuiriam ao conforto e segurança de viagem para explicar o comportamento de pavimentos porque fornece respostas a questões básicas como a existência das próprias relações e funções para estimar medidas sobre a qualidade de viagens ou pavimentos.

Identificar variáveis através de consultas a grupo de indivíduos em painéis para discussão do comportamento do processo de qualidade de viagens, e operar sobre as distribuições de tais variáveis mostrou-se um conjunto de processos prático para estimar parâmetros das distribuições de ocorrência de medidas sobre as variáveis que caracterizem o estado da superfície de pavimentos.

5.2 Sugestões

O detalhamento e ampliação da discussão de aplicações da análise estatística de dados e relações entre opiniões de motoristas e passageiros para explicar parcelas do comportamento de pavimentos e qualidade de viagens em estradas vicinais é útil para ampliar a base de conhecimentos sobre as relações com a distribuição de notas atribuídas por um grupo de avaliadores treinados a viagens por segmentos de rodovias, e são uma sugestão que sempre vai constar de todo e qualquer trabalho que discuta esse assunto e seus correlatos.

Mas, em particular, sugere-se:

- a) Ampliar a coleta de dados, ou seja, o número e tipo de segmentos observados para obter mais informações que ampliem o banco de dados e de aplicações da estatística aos estudos sobre pavimentos e qualidade de viagens;
- b) Discutir e analisar a eficiência de métodos e critérios para adoção das informações fornecidas por clientes das vias às especificações, métodos e critérios para a construção, manutenção e operação dos entes físicos que compõem a seção transversal e os defeitos na superfície de pavimentos;
- c) Investir para desenvolver métodos e processos que facilitem o uso de escalas de medidas para auxiliar a especificação de serviços com critérios de avaliação sobre o comportamento das estruturas dos meios para transportes. Inclusive para orientar remuneração e procedimentos para garantir a durabilidade de características de qualidade de vias e fixar prioridades para investimentos.

Referências bibliográficas

- AL-OMARI, B.; DARTER, M. I. (1994). *Relationships between international roughness index and present serviceability rating*. Transportation Research Record, n.1435, p. 130 - 136. Washington D.C.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1994). *A Policy on Geometric Design of Highway and streets*. Washington D.C.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS (1962). *"The AASHO roads test: report 5 - pavement research"* - HRB Special Report 61 E - Washington, D. C.
- AUSTROADS (1987). *A Guide to the Visual Assessment of Pavement Condition*. Report. Sydney. Sydney.
- AUSTROADS (1991). *Roads maintenance practice*. Sydney.
- AUSTROADS (1993). *Roads maintenance practice*. Sydney.
- AUSTROADS (1995). *Strategy for Pavement Research and Development*. Sydney.
- BALBO, J. T. (1997). *Pavimentos Asfálticos: Patologias e Manutenção*. Plêiade, São Paulo.
- BANDARA, N.; GUNARATNE, M.; (2001). *Current and future pavement maintenance prioritization based on rapid visual condition evaluation*. Journal of Transportation Engineering, n. 127 (2), p. 116 - 123. Washington D.C.
- CAREY, W. N.; IRICK, P. E. (1960). *The pavement serviceability - performance concept*. Highway Research Board, 250. p. 40 - 58.
- CHASE, W. & BOWN, F. (1992). *General Statistics*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- DALEIDEN, J. F.; SIMPSON, A. L. (1998). *"Off-the-wall" pavement distress variability study*. Transportation Research Record, n.1643, p. 62 - 70. Washington D.C.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1974). *Manual de Conservação Rodoviária*. DNER. Rio de Janeiro.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1977). *Primeiro esboço de Normas para o projeto geométrico de rodovias*. DNER, Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978b). *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos*. Procedimento. DNER - PRO 007-78. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1983a). *Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos-testemunha de Rodovias de Pavimento Flexível ou Semi-rígido para Gerência de Pavimento à Nível de Rede*. Especificação. DNER - ES 128-83. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994). *Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos*. Procedimento. DNER - PRO 008-94. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1999). *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. DNER, Rio de Janeiro.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. (1981). *Applied Regression Analysis*, 2.ed. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- ELTAHAN, A. A.; DALEIDEN, J. F.; SIMPSON, A. L. (1999). *Effectiveness of maintenance treatments of flexible pavements*. Transportation Research Record, n.1680, p. 18 - 25. Washington D.C.
- FELEX, J. B. (1983). *O usuário: um instrumento de avaliação*. São Carlos. 203p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FELEX, J. B. (1990). *Regiões, habitantes e transportes*. São Carlos. 66p Tese (Livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FLINTSCH, G. W.; ZANIEWSKI, J. P.; & MEDINA, A. (1998). *Development of a knowledge-based formula to prioritize pavement rehabilitation projects*. Transportation Research Record, n.1643, p. 54 - 61. Washington D.C.
- FREITAS, R. R. (2000). *Seção transversal de rodovias vicinais, qualidade de viagens e comportamento de pavimentos*. São Carlos. 61p. Dissertação (Mestrado) - 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. Washington D.C.
- GARG, A.; HOROWITZ, A.; ROSS, F. (1988). *Establishing relationships between pavement roughness and perception of acceptability*. Transport Research Record, n.1196, p. 276-285. Washington D.C.

- GUALDA, N. D. F.; BALBO, J. T.; BERNUCCI, L. B.; TONDO, C. M.; TALLARICO, L. C. (1992). *Planejamento da manutenção de pavimento 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 rating with international roughness index*. Transportation Research Record, n. 1435, p. 27 - 37. Washington D.C.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R. (1996). *Defining and serving clients for pavements*. Transportation Research Board, n. 1524, p. 1 - 9. Washington D.C.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern pavement management*. Malabar / Florida, Krieger Publishing Company. Cap. 10, p. 131 - 153.
- HOFFMANN, R. & VIEIRA, S. (1977). *Análise de regressão. Uma introdução à econometria*. EDUSP. São Paulo.
- HUDSON, W. R. (1991). *Are pavements built for the user?* ASTM Standardization News. v. 19, n. 2, p. 42 - 51. Washington D.C.
- IPC – INSTITUTO PANAMERICANO DE CARRETERAS BRASIL (1994). *Manual internacional de manutenção rodoviária – AIPCR/PIARC*.
- LIKERT, R. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. Archives of Psychology, n.140.
- MATHSOFT (1999). *STATISTICA 99*. Programa para computador.
- MELO, R. A. (1998). *Avaliadores, notas e qualidade de pavimentos*. São Carlos. 107p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MICROSOFT (1999). “EXCEL 2000”. Programa para processamento de dados em computador.
- MORGAN, C.T. (1950). *Fundamental Statistics in Psychology and Education*. McGraw-Hill Publications in Psychology, Second Edition, New York.
- 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. Washington D.C.
- PADULA, F. R. G. (1999). *Qualidade de pavimentos e auditoria*. São Carlos. 73p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PALMA, J. (2000). *Da avaliação de equipamentos para drenar à qualidade de viagens em rodovias*. São Carlos. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RADA, G. R.; WU, C. L.; ELKINS, G. E.; BHANDARI, R. K. (1998). *Update of long-term pavement performance manual distress data variability*. Transportation Research Record, n.1643, p. 71 – 79. Washington D.C.

- SHEKHARAN, A. R. (2000). *Solution of pavement deterioration equation by genetic algorithms*. Transportation Research Record, n.1699, p. 101 - 106. Washington D.C.
- SMITH, R. E.; FREEMAN, T. J.; PENDLETON, O. J. (1998). *Contracting for pavement distress data collection*. Transportation Research Record, n.1643, p. 80 - 85. Washington D.C.
- 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.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1997). *Developing long-lasting, lower-maintenance highway pavement*. Research and Technology Coordinating Committee (FHWA). Washington, DC.
- VASCONCELOS, R. E. (2000). *Harmonia na Geometria, Seção Transversal, Perfil Longitudinal e Velocidades em Rodovias*. São Carlos. 66p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- WERKEMA, MARIA C.C. (1996) *Como estabelecer conclusões com confiança; entendendo inferência estatística*. Volume 4. Fundação Christiano Ottoni. Belo Horizonte, MG.
- WEED. R. M. (1998). *A rational method for relating as-built quality to pavement performance and value*. Transportation Research Record, n.1632, p. 32 - 39. Washington D.C.