Campus de São Carlos

*DA AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA DRENAR
À QUALIDADE DE VIAGENS POR RODOVIAS*

JOSIANE PALMA

ORIENTADOR: PROF. TITULAR JOSÉ BERNARDES FELEX

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**Departamento de Transportes
Área de Pós-graduação em Transportes**

**DA AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA DRENAR
A QUALIDADE DE VIAGENS POR RODOVIAS**

Josiane Palma

DEDALUS - Acervo - EESC

31100017058

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

Orientador: Professor Titular Doutor José Bernardes Felex

São Carlos

2000

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 28 / 12 / 00

Ass:

Assinatura

Class.	TESE-EEEC
Cutt.	(4362)
Tombo	020/01

st 11 27722

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Pl71a Palma, Josiane
Da avaliação de equipamentos para drenar a
qualidade de viagens por rodovias / Josiane Palma. --
São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Transportes.
Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex.

1. Rodovias. 2. Qualidade de viagem. 3. Drenagem.
I. Título.

Aos meus pais

Silvio Palma e Ivoni I. Altermann Palma.

Aos meus irmãos

Evandro Palma e Janine Palma.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Titular Doutor José Bernardes Felex, pela orientação;

Aos professores e funcionários do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos pelo incentivo;

Ao CNPq pela bolsa e incentivo;

A Universidade de São Paulo e Escola de Engenharia de São Carlos;

Ao meu namorado Renato da Silva Lima;

Aos amigos e colegas do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos;

A todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

<i>1</i>	<i>INTRODUÇÃO.....</i>	<i>1</i>
<i>2</i>	<i>BIBLIOGRAFIA SOBRE QUALIDADE DE VIAGENS.....</i>	<i>4</i>
2.1	Pavimentos e qualidade de viagens.....	6
2.2	Qualidade de viagem do ponto de vista do usuário.....	9
2.3	Equipamentos para drenar na qualidade de viagens.....	11
2.4	Manuseio de medidas sobre variáveis para caracterização do comportamento de equipamentos para drenar	12
<i>3</i>	<i>FUNÇÕES DO FORMATO DE VIAS.....</i>	<i>14</i>
<i>4</i>	<i>CARACTERÍSTICAS DE CANAIS PARA DRENAR.....</i>	<i>18</i>
4.1	Sobre a hidráulica dos canais para drenar.....	20
4.2	Sobre a hidrologia aplicada aos canais para drenar	25
4.3	Estimativa da intensidade de chuva na região de Araraquara.....	30
<i>5</i>	<i>RESUMO SOBRE ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA</i>	<i>37</i>

6	<i>ESTUDO DE CASO PARA DESENVOLVER O TRABALHO.....</i>	46
6.1	O primeiro conjunto de dados	47
6.2	A classificação do estado de equipamentos para drenar em vias	51
6.3	Estudos sobre notas atribuídas às viagens ou a qualidade de viagens	56
6.4	Resumo de resultados e conclusões expostas em FREITAS (2000)	59
7	<i>COMPLEMENTOS AO LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO</i>	64
8	<i>ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS.....</i>	74
9	<i>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</i>	84
10	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	86

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Proposta de roteiro para dirigir o trabalho [adaptado de FELEX (1983 e 1990)]</i>	13
<i>Figura 2 – Perspectiva de um segmento de rodovia [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	15
<i>Figura 3 – Imagem básica de uma seção transversal de rodovias [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	16
<i>Figura 4 – Esquema da geometria de canais</i>	20
<i>Figura 5 - Relações entre tipos de movimento da água e energia em canais</i>	24
<i>Figura 6 – Ilustração do conceito de bacia hidrográfica [PEIXOTO JR. & FELEX, 1997]</i>	26
<i>Figura 7 – Ilustração do conceito de tempo de concentração [PEIXOTO JR. & FELEX, 1997]</i>	28
<i>Figura 8 – Série histórica de alturas máximas de chuva em Chibarro, no papel de GUMBEL. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	35
<i>Figura 9 – Interpretação geométrica da estimativa de Y em função de X</i>	40
<i>Figura 10 – Interpretação geométrica da estimativa de Y em função de X e Z</i>	42
<i>Figura 11 – A regressão múltipla de Y em função de X e Z em dois passos</i>	43

<i>Figura 12 – Esquema de segmentos de rodovias observados [Fonte: PADULA (1999)]</i>	46
<i>Figura 13 – Esquema de segmentos observados [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	48
<i>Figura 14 - Média das notas atribuídas pelos avaliadores ao nível para qualidade de viagem [Fonte: PADULA (1999) e FREITAS (2000)]</i>	58
<i>Figura 15 - Desvio padrão das notas atribuídas pelos avaliadores ao nível para qualidade de viagem [Fonte: PADULA (1999) e FREITAS (2000)]</i>	58
<i>Figura 16 – Fotos que ilustram segmentos avaliados para coleta de dados</i>	59
<i>Figura 17 – O processo de drenagem nas rodovias vicinais</i>	64
<i>Figura 18 – Esquema de canal longitudinal hipotético</i>	71
<i>Figura 19 – Fotos que ilustram a necessidade de intervenção nas declividades laterais</i>	81
<i>Figura 20 – Fotos que ilustram que canal e acostamento à direita provocam sensação de desconforto nas rodovias estudadas</i>	82
<i>Figura 21 - Fotos que ilustram que revestimento e acúmulo de água contribuem para sensação de desconforto e há necessidade de interferência</i>	82
<i>Figura 22 - Foto que ilustra erosão nos segmentos observados</i>	83

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Componentes de via representados na seção transversal</i>	15
<i>Tabela 2 – Coeficiente de rugosidade de Manning. [Fonte: DNER, 1990]</i>	22
<i>Tabela 3 – Velocidades máximas da água antes do processo de erosão [Fonte: DNER (1980)]</i>	23
<i>Tabela 4 – Critérios para classificar o movimento de água em canais</i>	25
<i>Tabela 5 – Coeficiente de escoamento superficial [Fonte: DNER, 1990]</i>	29
<i>Tabela 6 – Multiplicador entre as alturas de chuvas máximas de “1dia” e “24 horas” para a cidade de São Paulo. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	30
<i>Tabela 7 – Multiplicadores para estimativa de alturas de chuva no Brasil. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	31
<i>Tabela 8 – Máximas alturas de chuva em Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	32
<i>Tabela 9 – Análise de frequência da série histórica de alturas de chuva em Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	32
<i>Tabela 10 – Alturas de chuva máxima diária estimadas pelo método de Gumbel para Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	34
<i>Tabela 11 – Alturas de chuva (mm) estimadas para Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	35
<i>Tabela 12 – Intensidade de chuva estimada em Chibarro (mm/min). [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	36
<i>Tabela 13 – Análise de variância na regressão linear múltipla</i>	39
<i>Tabela 14 – Estudos sobre características de componentes físicos de rodovias e relações com a qualidade de viagens ou de pavimentos</i>	47

<i>Tabela 15 – Médias de declividades nos segmentos observados (%) (convenção: sinal positivo, elemento para cima do plano horizontal)</i>	49
<i>Tabela 16 – Médias de larguras nos segmentos observados (m)</i>	50
<i>Tabela 17– Classificação do estado de elementos para drenar (WALKER & SCHERER, 1972)</i>	51
<i>Tabela 18 - Variáveis selecionadas para estudos sobre o estado de equipamentos para drenar [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	53
<i>Tabela 19 - Critérios para atribuição de notas a estado de equipamentos para drenar [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	53
<i>Tabela 20 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar (parte 1) [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	54
<i>Tabela 21 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar (parte 2) [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	55
<i>Tabela 22 – Controle de qualidade da função de regressão linear múltipla para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores aos segmentos observados, segundo FREITAS (2000)</i>	59
<i>Tabela 23 - Qualidade dos coeficientes de função para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores, segundo FREITAS (2000).</i>	60
<i>Tabela 24 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos</i>	60
<i>Tabela 25 - Ordem numérica de coeficientes associados às variáveis que mais participam da função de estimativa das notas e indicações sobre explicações sobre qualidade de viagem</i>	62
<i>Tabela 26 - Áreas estimadas de contribuição à vazão na seção extrema dos canais longitudinais</i>	65
<i>Tabela 27 – Coeficientes de escoamento superficial avaliados em campo</i>	67
<i>Tabela 28 – Coeficientes de escoamento médios nos segmentos observados nos segmentos</i>	68
<i>Tabela 29 – Vazões solicitantes da seção extrema de canais longitudinais para drenar</i>	69
<i>Tabela 30 – Declividades longitudinais do eixo de segmentos estudados [Fonte: VASCONCELOS (2000)]</i>	69

<i>Tabela 31 – Coeficientes de rugosidade de Manning avaliados em campo</i>	70
<i>Tabela 32 – “n” de Manning médio para os componentes da seção transversal que contribuem para a vazão longitudinal</i>	71
<i>Tabela 33 – Capacidade e características de fluxo nos canais longitudinais de segmentos, lado esquerdo da via, observador no sentido Araraquara Gavião Peixoto</i>	72
<i>Tabela 34 – Capacidade e características de fluxo nos canais longitudinais, lado direito da via, observador no sentido Araraquara Gavião Peixoto</i>	73
<i>Tabela 35 – Medidas sobre variáveis características de equipamentos para drenar e propriedades da seção transversal de rodovia para análise de regressão [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	74
<i>Tabela 36 – Medidas sobre variáveis características de equipamentos para drenar e propriedades do movimento de água pela rodovia acrescentadas à análise de regressão</i>	75
<i>Tabela 37 – Referências sobre localização de dados de medidas características de equipamentos para drenar e propriedades da seção transversal de rodovia para análise de regressão quando a fonte foi FREITAS (2000)</i>	76
<i>Tabela 38 – Medidas sobre variáveis características de equipamentos para drenar e propriedades do movimento de água pela rodovia acrescentadas à análise de regressão</i>	76
<i>Tabela 39 - Controle de qualidade da função de regressão linear múltipla para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores aos segmentos observados</i>	77
<i>Tabela 40 - Qualidade de coeficientes da função para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores</i>	78
<i>Tabela 41 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos</i>	79
<i>Tabela 42 - Ordem numérica de coeficientes associados às variáveis que mais participam da função de estimativa das notas e indicações sobre explicações sobre qualidade de viagem</i>	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO - American Association of State Highway Officials

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CDT – California Department of Transportation

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

FHWA – Federal Highway Administration

FIPAI – Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial

HRB – Highway Research Board

TRB – Transportation Research Board

LISTA DE SÍMBOLOS

α - Nível de significância	L - Comprimento da bacia
β - Coeficiente de regressão da população	m - conjunto de medidas máximas
β_k - Coeficiente de regressão	n - Coeficiente de rugosidade de Manning
σ - Desvio padrão	n - Número de observações
ω - Área contribuinte	P - Altura de chuva
A - Área da bacia	p - Perímetro molhado
a ou b - intercepto	Q - Capacidade hidráulica
a, β_i - Coeficientes de regressão	Q - Vazão solicitante
B - Matriz dos coeficientes da função para estimativa da constante β_k	QMR - Quadrado médio de regressão
B^T, X^T, Y^T - Matrizes transpostas de B, X e Y .	$QMRs$ - Quadrado médio dos resíduos
c - Coeficiente de escoamento superficial	R^2 - Coeficiente de correlação linear múltiplo
D - Profundidade hidráulica	r^2 - Coeficiente de determinação
E - Energia	$\bar{r}$ - Raio hidráulico
F - Distribuição do número de graus de liberdade	SQ - Soma total dos quadrados dos erros
F - Estatística F	SQR - Soma dos quadrados para regressão
F - Frequência	$SQRs$ - Soma dos quadrados dos resíduos
F - Número de Froude	t - Distribuição de Student
F_p - Estatística F parcial	t_c - Tempo de concentração
g - Aceleração da gravidade	T_r - Período de retorno
H - Máxima diferença de cotas	u_i - Resíduo de estimativa de medida
I - declividade longitudinal	V - Velocidade média
i - intensidade de chuva	X - Matriz das medidas sobre as variáveis
j, i - índices	X_i - Matriz das variáveis independentes K
K - fator de frequência	y - Profundidade
k - Número de variáveis independentes	Y - Variável dependente
K - Variável independente	y_i - medidas observadas

RESUMO

PALMA, J. (2000). *Da avaliação de equipamentos para drenar à qualidade de viagens em rodovias*. São Carlos, 2000. 90p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho relata e discute resultados obtidos em tentativa para mostrar que a distribuição de notas atribuídas às viagens por segmentos de rodovias, o formato da seção transversal e medidas sobre variáveis que classifiquem o estado ou funcionamento de equipamentos para drenar água de chuva, podem classificar e identificar informações que contribuam na manutenção ou construção de componentes de vias. Estas informações podem tornar possíveis melhorias nos serviços prestados pela superfície de pavimentos ao tráfego de veículos, e, por conseqüência, na qualidade de viagens por rodovias. O processo usado foi identificar e quantificar índices que expressam medidas de solicitação em equipamentos para drenar. O manuseio e análise de dados adotaram métodos estatísticos para obter parâmetros de conseqüências de obras ou assemelhados que alterem a condução de água. O estudo de caso, usado para obtenção de argumentos que orientaram o trabalho, adotou um conjunto de rodovias vicinais, localizado próximo à Araraquara, estado de São Paulo, onde um grupo de pesquisadores levantou dados e analisou qualidade de viagens, pavimentos, geometria e drenagem.

Palavras-chave: Rodovias, qualidade de viagem, drenagem.

ABSTRACT

PALMA, J. (2000). *From drainage equipments to trip quality in rural highways*. São Carlos, 2000. 90p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

It is related and discussed the results from actions in an attempt to show that the scores to trips on highways, the format of the cross section of highways and surveys on variables that classify drainage equipments can be used to classify information that contributes to maintenance and construction decisions. Measures on variables to explain the state of drainage equipments was taking into account. The variable used to explain the behavior of pavements and quality of trips was the distribution of scores attributed to the highway segments trips by a group of trained appraisers. The statistical technique used to analyze the data was the multiple linear step-by-step regressions. It is told the application results to a case study on a set of local highway segments near the city of Araraquara, State of Sao Paulo.

Keywords: highways, trip quality, pavement performance

1 INTRODUÇÃO

Transportation Research Board (TRB, 1991) resume um relato onde consta que “as agências de transportes nos Estados Unidos eram conservadoras ao elaborar contratos para construção de rodovias. Isso fornecia pouco incentivo ao aperfeiçoamento das indústrias. Itens especificados nos contratos, não incluíam controles sobre o comportamento de pavimentos ou características de qualidade de serviços prestados ao transporte – e, sentiu-se a necessidade de inclusão de descrição do comportamento dessas variáveis para explicar ocorrências sobre as características de qualidade de serviço prestado por pavimentos e rodovias”.

No Brasil, o interesse por análises sobre características da qualidade de viagens e suas relações com características técnicas de vias, ampliou-se porque empresas privadas vêm assumindo a operação de rodovias. O controle da qualidade dos serviços fornecidos pelas empresas depende de informações sobre características das estradas de rodagem e aceitação daqueles que usam os meios de transporte e seus equipamentos.

Estradas de rodagem são “vias destinadas ao tráfego de veículos autônomos sobre rodas”. Em particular, *rodovia vicinal* é a estrada de rodagem para atender ao tráfego de pequeno volume de veículos, e ligar origens e destinos pouco distantes entre si. *Formato* é a forma, levando-se em conta as dimensões.

A rodovia vicinal é, na maioria das vezes, o primeiro acesso ao transporte fornecido a pequenas comunidades. Esse tipo de via influencia a qualidade de relações sociais, econômicas e culturais entre regiões, porque são os primeiros tipos de via para transporte de bens e pessoas que partem de áreas agrícolas e de extração de recursos naturais. Entretanto, a estrutura básica por sobre onde se implantam as rodovias vicinais, são caminhos sem forma geométrica definida e, pouco se investe em equipamentos ou materiais para drenar ou revestir a superfície desse tipo de vias.

A construção, manutenção e orientação de decisões sobre investimentos na maioria das rodovias vicinais se dão com pouco, ou nenhum, apoio técnico. Por isso, construção e manutenção de rodovias vicinais:

- a) Usam geometria, materiais e processos com características apenas compatíveis com o volume e tipo de veículos, ou motoristas e passageiros;
- b) Têm grande demanda pela evolução de processos para avaliação e orientação sobre decisões e investimentos que aumente a eficácia e eficiência do uso de recursos, e com isso melhorar a qualidade de serviços prestado ao transporte colocado disponível por essas vias.

Este trabalho relata e discute resultados, obtidos em tentativa para mostrar que a distribuição de notas atribuídas às viagens por segmentos de rodovias, o formato da seção transversal e medidas sobre variáveis que classifiquem o estado ou funcionamento de equipamentos para drenar água superficial, podem classificar e identificar informações que contribuam na manutenção ou construção de componentes de vias. Estas informações podem tornar possíveis melhorias nos serviços prestados pela superfície de pavimentos ao tráfego de veículos, e, por consequência, na qualidade de viagens por rodovias.

As atividades para identificar os argumentos que permitiriam cumprir o objetivo especificado podem ser resumidas em:

- a) Detalhar os conceitos contidos na bibliografia adotada.
- b) Tornar operacionais e documentados métodos para processamento de dados;
- c) Estudar dados sobre as características das seções transversais e suas relações com a capacidade de equipamentos para drenar;
- d) Identificar o regime de chuvas na região onde se encontram as rodovias vicinais analisadas para obter dados sobre vazões solicitantes. Relacionar esses dados com os componentes das seções transversais de vias;
- e) Estudar e processar dados, obtidos ao estimar medidas sobre variáveis que caracterizam o funcionamento de equipamentos para drenar nos segmentos observados e analisar os resultados segundo os conceitos expostos em FELEX (1983, 1990), análise estatística multidimensional;

- f) Identificar relações entre distribuições de notas às viagens pelos segmentos, o estado dos equipamentos para drenar e medidas sobre variáveis que caracterizem o fluxo de água pelas superfícies das rodovias.

A técnica estatística usada para análise dos dados foi a regressão linear múltipla passo a passo. Para fixação de raciocínios e produtos relata-se também resultados de aplicação das propostas a um estudo de caso sobre um conjunto de rodovias vicinais próximo à Araraquara, estado de São Paulo.

Além dessa introdução, o *relato está assim organizado*:

- a) No capítulo 2, relata-se tópicos obtidos por consulta a bibliografia sobre qualidade de viagem,
- b) No capítulo 3, expõem-se tópicos sobre o formato de vias, componentes da seção transversal e equipamentos para drenar água de rodovias;
- c) No capítulo 4, expõem-se notas sobre hidráulica, hidrologia e estimativa de intensidade de chuva em Araraquara;
- d) No capítulo 5, expõem-se notas sobre análise de regressão linear múltipla.
- e) No capítulo 6, descreve-se o caso estudado e dados obtidos por pesquisa bibliográfica;
- f) No capítulo 7, complementação de levantamento de dados em campo;
- g) No capítulo 8, a análise estatística dos dados;
- h) No capítulo 9, conclusões e sugestões.

Métodos, processos e conclusões expostas em FREITAS (2000) foram uma parcela de dados para entrada em métodos estatísticos que contribuíram para identificar e quantificar índices que expressem medidas sobre a solicitação em equipamentos para drenar. Também, podem ser incluídas entre as informações usadas as explicações sobre conseqüências de obras que alterem movimento de água, que acrescentaram novas informações para, partindo de distribuições de notas às viagens por segmentos de vias, usar a capacidade de escoamento de água pela seção transversal e identificar informações que orientem decisões sobre necessidades de interferência na própria seção ou, em equipamentos para drenar.

2 BIBLIOGRAFIA SOBRE QUALIDADE DE VIAGENS

Motoristas, passageiros e outros interessados no tráfego de veículos por rodovias esperam que sejam atendidas suas necessidades e expectativas sobre conforto, segurança e economia, somadas ao conforto ambiental nas viagens – pouca poluição sonora, etc. Nas vias, isso é obtido pela qualidade da superfície de pavimentos durante o tráfego de veículos – o serviço prestado pela superfície às viagens. Na prática, o que é sentido, são vibrações e ações que pneus e pavimento transmitem para os veículos.

Se o pavimento fosse assumido como um produto oferecido por uma empresa, ou seja, atender corretamente as necessidades, expectativas e desejos de motoristas e passageiros através de prestação de serviços, seria um “negócio bem sucedido da rodovia” quando o tráfego de veículos fosse confortável e seguro do ponto de vista de seus usuários.

O uso de propostas de métodos ou processos para estudos sobre qualidade de viagens como aqui relatados e discutidos, foram motivados pelo uso de uma parcela das informações expostas em BARROW (1993): “organizações podem aprender quando se discute o conjunto de atividades para análise da qualidade de produtos e serviços”. Essa motivação cresce quando se verifica que o *Transportation Research Board* (TRB, 1991) vem testando o uso de especificações, para construção e manutenção, que contêm diretrizes para auditoria sobre o comportamento de obras em contratos de empreiteiros ou prestadores de serviços nos Estados Unidos. Este item, em 1995, tornou-se objeto de um “projeto para especificações” (CHAMBERLIN, 1995).

Para facilitar a compreensão do que se expõe, a definição adotada para “qualidade” será a especificada no texto NBR ISO 8402 (ABNT, 1994): “qualidade é adequação ao uso”. Qualidade nunca é um acidente, é sempre produto de forte intenção, esforço

sincero, direção inteligente e hábil para executar ações que levem às melhores características de um produto ou serviço.

“Nível de qualidade” [NBR ISO 8402, ABNT (1994)] é termo quantitativo empregado, por exemplo, para controle de aceitação de valores medidos por amostragem ou avaliação técnica. Muitas vezes, esse termo será aqui escrito “nível para qualidade” e usado para expressar o aceite por clientes de características de produto ou serviço.

“Aperfeiçoar produtos ou serviços” é um conjunto de ações aqui nomeado “controle do nível para qualidade”. Ressalta-se a diferença entre a medida de “nível para qualidade” proposta pela NBR ISO 8402 (ABNT, 1994) e o conceito “nível para qualidade” aqui definido, que se refere a conjunto de ações sobre produtos, processos e serviços.

Há dois principais pontos de vista para análise do “nível para qualidade de pavimentos” - a “especificação técnica” e “a satisfação do cliente”. Mas poderá não existir relação entre especificação técnica e a satisfação dos clientes. A ação de controle sobre requisitos fixados por especificação técnica ocorre antes do pavimento estar pronto e, a satisfação do cliente, após o pavimento já estar pronto.

Os jargões “ter alto nível de qualidade” técnica, ou “alta qualidade” são usados para tentar expressar que pavimento atende a um dado conjunto de especificações. Ter alto “nível de qualidade” do ponto de vista de clientes, ou “grande qualidade”, podem ser jargões úteis para expressar o volume de atendimento às expectativas de clientes.

Para rodovias “prestarem serviços” com qualidade aos usuários, o tráfego de veículos pelos pavimentos, deve contribuir para que motoristas e passageiros tenham sensações de conforto e segurança ao viajar. O pavimento é superfície para tráfego, que tem dentre suas finalidades: contribuir para o conforto e segurança de viagens, suportar e transmitir cargas estáticas e dinâmicas recebidas dos veículos que trafegam pela via. Assim, para classificar a qualidade de segmentos de rodovia, deve-se adotar informações que caracterizem, do ponto de vista de usuários, a qualidade de tráfego de veículos pela via.

“Cliente” é termo usado com a definição “destinatário de um produto ou serviço provido por fornecedor”. Convém lembrar que o cliente é quem define a qualidade de um produto ou serviço, é dele a palavra final. Nas rodovias, os clientes são principalmente motoristas, passageiros ou embarcadores.

Apesar de os principais clientes de rodovias poderem ser motoristas e passageiros, existem outros, como moradores de vizinhança, empresários, políticos etc. Mas, “motoristas e passageiros (também clientes) poderiam fornecer subsídios que condicionem as decisões e as ações de administradores públicos e premissas sobre o comportamento de características de qualidade de serviços fornecidos pelo transporte” (FELEX, 1983).

A “gestão da qualidade de viagens em rodovias” pode ser uma parcela do conjunto de atividades que contribua para uma política de controle ou investimentos, e melhore o nível de qualidade para componentes da via. Isso pode contribuir na identificação e programação de ações sobre características de produtos e serviços, objetivos e responsabilidades, que use meios como planejamento, controle, atividades para garantia e melhoria de qualidade, conforme fixado no texto da Norma NBR ISO 8402 (ABNT, 1994). Um objetivo da gestão da qualidade é o empenho em obter a satisfação do cliente e a melhoria de produtos e serviços.

2.1 Pavimentos e qualidade de viagens

O arcabouço de conceitos aqui adotado para relacionar pavimentos e qualidade provém, na sua maioria, de dissertações de mestrado defendidas na Área de Pós-graduação em Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, e documentos que lhes forneceram o suporte conceitual e teórico. Destacam-se: CAREY & IRICK (1960); DNER (1977, 1978); HUDSON (1991); AASHTO (1994); HAAS; HUDSON & ZANIEWSKI (1994); HAAS & HUDSON (1996); MELO (1998); PADULA (1999); MARQUES (1999), FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000).

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

- a) Satisfazer motoristas, passageiros e outros em relação ao “nível para qualidade” de viagens, ou seja, (HASS & HUDSON, 1996) a aceitação do volume de acelerações verticais impostas a veículo durante o tráfego;

- b) Contribuir para o conforto de motoristas e passageiros;
- c) Contribuir para a segurança durante o tráfego de veículos;
- d) Suportar solicitações estáticas e dinâmicas pelos veículos;
- e) Transmitir as solicitações para a infra-estrutura da via, de maneira compatível com a resistência de cada componente de pavimento;
- f) Contribuir para a redução de poluição ambiental, ruídos, emissão de poeira, etc.

Dentre as conseqüências dessas solicitações aos pavimentos, destaca-se que:

- a) Há a necessidade de que sua estrutura física tenha resistência;
- b) Os materiais usados na construção sejam adequados;
- c) Os processos de construção qualifiquem esse componente da rodovia para suportar, distribuir e transmitir à plataforma da via e entre seus componentes, os esforços estáticos e dinâmicos provenientes de tráfego de veículos.

A qualidade (do ponto de vista de engenharia, resistência e estabilidade) é produto de funções internas ao pavimento. Mas, o cliente de rodovia (usuário, motorista, passageiro) expressa aquilo que sente durante o movimento de veículos, ou seja, não mede funções internas ao componente da via. Exprime-se a “qualidade de tráfego pela superfície do pavimento”.

Então, a satisfação do cliente de rodovias (usuário, motoristas, passageiros, embarcadores) pode ser medida ou classificada durante o processo de uso da via, ou seja, durante a própria viagem. Por isso, ao propor um índice que expresse o “nível para qualidade” de superfície de pavimentos, CAREY & IRICK (1960, p. 42) divulgaram a definição do conceito "*present serviceability*", em português, “serventia”: “o potencial de um segmento de pavimento servir ao tráfego de automóveis, caminhões e ônibus em alta velocidade” (60 milhas por hora, em fins da década dos 50). Estas definições são válidas para o instante presente e não para o futuro ou passado. O exposto por CAREY & IRICK (1960) tornou-se a principal base para orientar estudos e discussões sobre qualidade de pavimentos.

Segundo HAAS & HUDSON, (1996), para que pavimentos “tenham boa qualidade”, ou seja, prestem bom serviço, esses componentes de vias deverão satisfazer às necessidades de viagens seguras, econômicas e confortáveis expressas por motoristas

e passageiros. Segundo JURAN (1992), o controle do “nível para qualidade” exige comunicação constante entre clientes e fornecedores. Porém, para controle e orientação de decisões são necessários medidas sobre distribuições de características de variáveis - índices que expressem o “nível para qualidade” de produtos ou serviços.

Explicar o processo de avaliação de “nível para qualidade do serviço ao tráfego de veículos pela superfície de pavimento” é complexo, porque envolve a análise sobre a interação entre três entes: o veículo, os perfis longitudinais da superfície de tráfego pela via e as sensações de motoristas e passageiros.

Segundo NAIR & HUDSON (1986), e também comprovado por MELO (1998), as notas atribuídas por usuários podem ser usadas em processos para associar a superfície do pavimento com a satisfação de motoristas e passageiros. Isso acontece porque:

- a) Durante o movimento de veículos, as vibrações transmitidas pela suspensão, são um estímulo físico que provoca sensações contínuas;
- b) Essas vibrações são provocadas pelo contato entre pneus e pavimento durante o movimento de veículos. Como a vibração é transmitida de diferentes formas, nem sempre é sentido o mesmo volume de reações pelo usuário ao repetir o tráfego de veículo em dado trecho;
- c) As sensações dos usuários podem ser transformadas em notas ou conceitos sobre qualidade de viagem. As diferenças entre notas atribuídas, por um único, ou diferentes indivíduos definem médias, variâncias e outras estatísticas que caracterizam os parâmetros de controle de notas sobre o comportamento de pavimentos.

HAAS & HUDSON (1996) comentam que a qualidade de viagem explicaria “25%” da satisfação de motoristas e passageiros, entretanto defeitos na superfície de pavimentos explicariam “20%”. A qualidade de viagem é quem mais define a satisfação dos que usam pavimentos.

Dentre os tipos de variáveis e informações, usadas para orientar raciocínios e tratamento estatístico de medidas sobre características que definem “nível para qualidade” de viagem por segmentos de rodovias, estiveram:

- a) Distribuição de notas fornecidas por avaliadores às viagens em segmentos de rodovias, conforme as propostas de CAREY & IRICK (1960) para estudos sobre qualidade de viagens e comportamento de pavimentos, e critérios fixados no procedimento PRO 07/78 (DNER, 1978);
- b) Dados sobre o formato de seções transversais de vias;
- c) Medidas que caracterizem o estado de equipamentos para drenar;
- d) Estimativas de vazão ou capacidade de equipamentos para drenar;
- e) Análise estatística para identificação e classificação de relações entre as variáveis cujas medidas qualifiquem características de via e a distribuição de notas atribuídas por avaliadores – a análise de regressão foi a principal técnica adotada;
- f) Análise dos produtos obtidos para obter conclusões.

2.2 Qualidade de viagem do ponto de vista do usuário

Nas rodovias, *trafegar pelo pavimento*, fornece uma das grandes parcelas de sensações de conforto e segurança que *define a qualidade das viagens*.

As ações para avaliação de pavimentos, visando operações de construção ou manutenção, incluem obrigatoriamente a avaliação da qualidade de viagens – é o usuário que, direta ou indiretamente, opina sobre os serviços prestados pelos pavimentos. A qualidade da viagem, em ações para avaliação de pavimentos, pode ser abordada sob dois pontos de vista (HUDSON, 1991):

- a) O primeiro refere-se ao estado presente da superfície do pavimento, isto é, “como o pavimento está servindo ao tráfego hoje”?
- b) O outro envolve obtenção de informações sobre: avaliação mecânica de estrutura para estimar o desempenho do pavimento, isto é, responder à questão “qual a condição física do pavimento hoje e que efeito pode-se esperar dessa condição sobre o desempenho futuro da rodovia?”.

A estrutura teórica que resultou de estudos sobre o comportamento de pavimentos da Pista Experimental da AASHO, exposto por CAREY & IRICK (1960) e AASHO (1962), foi:

- a) Observadores treinados atribuíam notas à viagem pelo pavimento;

- b) Identificavam-se relações entre características de componentes da superfície e distribuições de defeitos em pavimentos;
- c) A análise sobre o conjunto de dados, usando métodos estatísticos, passou a ser um instrumento para estudo de relações entre características de pavimentos e, notas que avaliadores atribuíram ao conforto de viagem, para explicar comportamento dessa estrutura de resistência e suporte dos veículos em tráfego.

A variação da distribuição de notas ao longo do tempo pode ser usada para identificar informações sobre a qualidade da viagem, o comportamento da superfície e dos serviços prestados pelos componentes da via ao tráfego de veículos, e sensações dos que usam a via, ou seja, a capacidade de componentes da via contribuírem para tráfego seguro e confortável de veículos.

Estudos e análises, sobre notas atribuídas por usuários (motoristas e passageiros) de rodovias ao nível de qualidade de viagens durante o tráfego de veículos, podem contribuir para identificar informações sobre as características de superfície de pavimentos e suas relações com a ocorrência de defeitos estruturais em pavimentos.

O arcabouço teórico criado por CAREY & IRICK (1960) e discutido ou aplicado por NAIR & HUDSON (1986); GARG *et al.* (1988); FWA & GAN (1989); GUALDA *et al.* (1992); AL-OMARI & DARTER (1994) e GULEN *et al.* (1994) e outros autores, usaram de notas atribuídas por observadores à avaliação de superfície de pavimentos e estimativas de índices que expressassem o nível para qualidade de tráfego de veículos. Assim, distribuições de notas sobre o movimento de veículos pelo pavimento, podem representar ocorrências de opiniões sobre qualidade de viagens em rodovias.

O funcionamento de equipamentos para drenar a seção transversal de vias, pode ser um dos principais determinantes de comportamento de pavimentos. Para identificar relações entre formato de seção transversal, que define a drenagem, e a qualidade de viagem, pode-se usar distribuições de notas atribuídas às viagens em segmentos de via e o funcionamento de equipamentos para drenar. Assim, pode-se identificar informações que contribuam na orientação para construção, manutenção e operação dos entes físicos que compõem a seção transversal e os equipamentos para drenar água de rodovias. Esse assunto foi discutido em FREITAS (2000).

2.3 Equipamentos para drenar na qualidade de viagens

A construção e manutenção dos equipamentos para drenar a seção transversal são importantes para a proteção de pavimentos contra o acúmulo de água. O escoamento superficial de água pode causar danos à superfície de rolamento das estradas, às faixas de acostamentos, aos taludes de cortes e aterros, valetas e valas.

A má qualidade de condução de água pelos canais da seção transversal de vias provoca "deterioração acelerada de pavimentos" e erosão nas áreas adjacentes, diminuindo a sensação de conforto e segurança para os indivíduos que viajam pelas rodovias – isso prejudica a qualidade de viagem. Dentre os defeitos de funcionamento de equipamentos para drenar mais comuns nas rodovias vicinais, destacam-se:

- a) Provocar erosão e fazer diminuir o confinamento lateral de pavimentos;
- b) Tornar-se depósito de materiais carregados pela água, o que não só lhes diminui a capacidade hidráulica, como provoca problemas e restrições estéticas à via, ou ação da água sobre via que diminua a qualidade de viagem, ou imponha relações físicas que diminuam a resistência de componentes de via;
- c) Ou, tornar-se depósito de materiais que o transporte de produtos deixa cair sobre a plataforma de vias.

FREITAS (2000) efetuou um conjunto de estudos para obter um critério de classificação dos equipamentos para drenar a seção transversal de rodovia. Os processos utilizados para essa atividade foram atribuir notas comparativas ao risco que a passagem de água pelo elemento da seção transversal representa para a deterioração de pavimentos e para a qualidade de viagens. A distribuição dessas notas comparativas foi manuseada para obter explicações estatísticas de relações entre notas fornecidas às viagens por segmentos de via e medidas sobre o comportamento de equipamentos para drenar – foram informações qualitativas, resta agora a parcela de estudos quantitativos que facilitará o uso prático dessas informações.

Dentre as conclusões contidas em FREITAS (2000) está “a análise estatística de dados sobre o formato da seção transversal e resultados de medidas sobre variáveis que caracterizam o estado de equipamentos para drenar água de rodovias que

contribuiu para explicar uma parcela do comportamento de pavimentos e qualidade de viagens em estradas vicinais, quando associados à distribuição de notas atribuídas por um grupo de avaliadores treinados a viagens por segmentos de rodovias”.

Mas, FREITAS (2000), ao estudar as relações entre características e estados de equipamentos para drenar e a qualidade de pavimentos do ponto de vista dos que usam a via, só se ateve à classificação qualitativa de estado de equipamentos para drenar através de notas atribuídas por técnicos aos componentes da via. O presente trabalho contém produtos de uma tentativa para acrescentar a esse arcabouço de análise as medidas quantitativas sobre características do fluxo pelas seções transversais e longitudinais da rodovia – rugosidade, capacidade de canais, medidas para caracterizar o regime de fluxo, etc. – conjunto de características de variáveis que determinem a qualidade do serviço prestado pela superfície de pavimentos.

2.4 Manuseio de medidas sobre variáveis para caracterização do comportamento de equipamentos para drenar

FELEX (1990) estudou relações entre economia e atividades em cidades do ponto de vista de habitantes. A teoria da história foi usada para introduzir conceitos sobre a formação de regiões e atividades econômicas ou relações sociais. Os dados usados foram obtidos através de entrevistas a habitantes e outros que utilizavam meios para transporte. O conjunto das informações, métodos e processos propostos podem ser usados para estudo sobre outros problemas no transporte.

As propostas para manuseio de dados expostos em FELEX (1983 e 1990) foram utilizadas para orientar raciocínios que levaram às rotinas para análises adotadas:

- a) Observar pontos de vista de motoristas e passageiros expressos por distribuições de notas às viagens por segmentos de vias;
- b) Evidenciar e identificar variáveis para descrição de ocorrências de relações entre notas atribuídas às viagens e o estado de equipamentos para drenar;
- c) Analisar e processar dados, sobre a capacidade de movimento de água pelos canais e elementos da seção transversal, para obter informações que orientem decisões sobre necessidades de interferência na própria seção ou, em equipamentos para drenar.

A Figura 1 ilustra uma proposta de adaptação do exposto em FELEX (1983 e 1990), adotada como um dos principais guias para os trabalhos a executar na dissertação a defender. O enfoque acrescido pelo presente trabalho às propostas de FREITAS (2000) será a parcela correspondente ao funcionamento de equipamentos para drenar (capacidade e tipo de movimento de água pelos canais).

**Figura 1 – Proposta de roteiro para dirigir o trabalho
[adaptado de FELEX (1983 e 1990)]**

3 FUNÇÕES DO FORMATO DE VIAS

O formato dos componentes de seção transversal de rodovia [AASHTO (1994)] tem grande influência sobre o conforto e segurança do tráfego. A escolha do formato de componentes de seção transversal para as estradas de rodagem pode partir de padrões recomendados por órgãos que gerenciam transportes, ou entidades de pesquisa, combinando-se informações sobre:

- a) Características de formato de terrenos;
- b) Formato, larguras e declividades de elementos de seção transversal;
- c) Conforto e segurança para o movimento de veículos ou pedestres.

Conceitos, formato e declividade de componentes de seção transversal são publicados em referências específicas [AASHTO (1994), DNER (1977), por exemplo.], que contêm informações que contribuem para:

- a) Definir o formato adequado ao atendimento de necessidades de condutores de veículo para dirigir-los sobre a via;
- b) A segurança na frenagem dos veículos;
- c) A eficiência de equipamentos para drenar água;
- d) A coerência entre relações do pavimento;
- e) O conforto aos usuários.

A Figura 2 é uma perspectiva para representar um segmento de rodovia.

Figura 2 – Perspectiva de um segmento de rodovia [Fonte: FREITAS (2000)]

Dentre as funções associadas ao formato (forma, levando-se em conta dimensões dos componentes de vias) de seções transversais de rodovias destacam-se:

- Fornecer a superfície para movimento de veículos;
- Contribuir para que o movimento de veículos seja governado pelos menores esforços decorrentes das leis da física aplicadas ao movimento;
- Contribuir para que o movimento de veículos seja coerente com as expectativas e necessidades de conforto e segurança de motoristas e passageiros.

Tabela 1 – Componentes de via representados na seção transversal

Nome do componente da seção transversal	Definição
<i>Acostamentos</i>	Faixas que margeiam as rodovias e se destinam à circulação ou parada de veículos em emergências. Ou contribuir para o confinamento lateral de pavimentos
<i>Concordâncias</i>	Superfícies curvas para suavizar transição entre superfícies da plataforma e taludes nas cristas de aterros
<i>Declividade longitudinal</i>	O desvio para baixo da horizontal de superfície que contenha componentes do perfil longitudinal de via
<i>Declividade transversal</i>	O desvio para baixo da horizontal de superfície que contenha componente da seção transversal
<i>Faixa de domínio</i>	É a área contida entre os limites laterais que legalmente delimitam a rodovia
<i>Faixas para tráfego</i>	Larguras reservadas para a circulação de veículos
<i>Laterais</i>	Larguras ao lado de cortes, para concordância, segurança ou drenagem de vias
<i>Plataforma</i>	Largura que contém as faixas para conter os veículos, a drenagem de pés-de-corte e as concordâncias
<i>Taludes</i>	Superfícies inclinadas que delimitam cortes ou aterros
<i>Valetas de crista-de-aterro</i>	Canais, na maioria das vezes paralelos ao eixo da via, usados para conduzir água e proteger crista-de-aterro
<i>Valetas de crista-de-corte</i>	Canais, na maioria das vezes paralelos ao eixo da via, usados para conduzir água e proteger a crista-de-corte
<i>Valetas de pés-de-aterro</i>	Canais, na maioria das vezes paralelos ao eixo da via, usados para conduzir água e proteger o pé-de-aterro
<i>Valetas de pés-de-corte</i>	Canais, na maioria das vezes paralelos ao eixo de via, usados para conduzir água e proteger o pé-de-corte

Seções transversais são desenhos de projeções dos componentes da geometria de vias, usados para representar o formato em um plano perpendicular ao eixo. A Tabela 1 contém resumo de definições de componentes de vias representados em seções transversais. A Figura 3 ilustra a imagem básica de uma seção transversal.

Figura 3 – Imagem básica de uma seção transversal de rodovias [Fonte: FREITAS (2000)]

Comentários contidos em AASHTO (1994), p. 468, e DNER (1977) afirmam que:

- As *larguras de componentes da faixa de domínio* devem, além de áreas para o movimento e a segurança de veículos, conter os elementos para drenagem, e áreas para equipamentos de manutenção de rodovia;
- Se a *faixa de domínio* tiver dimensões que permitam a construção de taludes pouco inclinados, haverá melhor segurança, e a manutenção é mais fácil;
- Além disso, as faixas para tráfego devem possuir *declividades transversais* que facilitem o escoamento de água na transversal à via, contribuir para conforto e segurança de movimento de veículos e acréscimo de durabilidade de pavimentos.

O DNER (1977), recomenda que "todas as vias deverão possuir *acostamentos*, pavimentados ou não". E, os acostamentos devem:

- Ser bem delimitados e de largura constante;
- Ter largura e declividade transversais suficientes para drenar as águas sobre o pavimento, iguais à direita e à esquerda;
- As mudanças de largura, quando absolutamente necessárias, deverão ser suaves e sinalizadas adequadamente.

DNER (1977) e AUSTROADS (1991), p.34, contêm comentários de que dentre as funções do acostamento estão:

- a) Fornecer suporte lateral para o pavimento;
- b) Conduzir água dos espaços da superfície plana do pavimento para os taludes e prevenir infiltrações nos pavimentos;
- c) Fornecer larguras para o tráfego de partida ou parada, ou para uso de emergência e movimentos de passagens de veículos;
- d) Criar uma imagem de espaço livre que force os veículos para as faixas de tráfego.

Boas características e manutenção de acostamentos [AASHTO (1994), p. 337] podem contribuir para:

- a) Colocar disponíveis espaços e larguras livres para estacionamento de veículos com dificuldades mecânicas, ou outras emergências;
- b) Colocar disponíveis espaços para manobras que evitem acidentes;
- c) Melhorar a distância de visibilidade em cortes;
- d) Ampliar o valor estético e melhorar a capacidade da rodovia;
- e) Fornecer suporte estrutural ao pavimento;
- f) Fornecer espaço para pedestres, bicicletas, embarque, carga ou descarga.

As declividades transversais da via, DNER (1977) podem contribuir:

- a) Para acelerar a velocidade de escoamento de água;
- b) À estética e conforto para dirigir, ou ao menor desvio lateral de veículos durante as freadas;
- c) Para conforto, segurança economia do tráfego, manutenção e vida de rodovias.

Segundo a AASHTO (1994), p. 424, a largura de *faixa de domínio* pode:

- a) Acomodar construções nas margens de rodovias;
- b) Facilitar o escoamento de água;
- c) Contribuir com a segurança de veículos;
- d) Facilitar as atividades de manutenção de componentes da drenagem.

4 CARACTERÍSTICAS DE CANAIS PARA DRENAR

Drenagem é a arte de conduzir e controlar o fluxo ou a percolação de água pelas vias ou obras de terra. *Drenar* é o próprio ato de prover a via com elementos que facilitem o movimento de água para fora do corpo da via ou obra de terra, ou facilite o controle de teores de umidade ou movimento de água infiltrada nos solos ou outros componentes da estrutura da via.

Segundo o Departamento de Transportes da Califórnia (CDT, 1998), “as operações para drenar água das faixas para tráfego, acostamentos e áreas laterais às rodovias envolvem a coleta, a condução, a remoção, e a deposição de água do corpo da via para fora da faixa de domínio”.

O DNER (1980), relata que o uso de equipamentos específicos de drenagem pode:

- a) Disciplinar o escoamento longitudinal e transversal de águas;
- b) Facilitar a saída de água para fora do corpo da via.

Os canais para drenagem nas rodovias, devem:

- a) Contribuir para qualidade do tráfego de veículos e de pedestres;
- b) Devem ser compatíveis com a construção e pavimento da via.

Nas rodovias *o formato e componentes de toda a seção transversal participam da condução e controle de fluxo de água*. Mas, os elementos específicos para a operação de drenar contribuem também, em ações específicas no controle do fluxo de águas e em relações físicas entre as superfícies de via, pavimento ou outros componentes da via que podem perder a estabilidade ou resistência por ação de contato com o líquido.

Nas rodovias vicinais os elementos específicos para drenar ocorrem somente em alguns casos especiais – por isso é o conjunto “*formato e componentes*

(acostamentos, áreas laterais, faixas para tráfego) de toda a seção transversal” o mais importante dos equipamentos de drenagem.

Além do formato, a superfície dos componentes da seção transversal ou o perfil longitudinal de vias, e a própria constituição física desses elementos, definem as condições de escoamento, ou infiltração da água pela rodovia.

A capacidade de conduzir água, dos equipamentos de drenagem, depende de:

- a) Suas características físicas, formato, materiais das paredes e fundo, declividades longitudinal e transversal, etc;
- b) Vazões que solicitam os componentes da seção transversal. Para exemplo de métodos, consultar PEIXOTO JR & FELEX (1997); PINTO; HOLTZ & MARTINS (1973); CETESB (1986).

Prever o *comportamento*, de equipamentos para drenar, pode ser sinônimo de:

- a) Estimar a capacidade hidráulica de canais. Para isso, dentre outros, podem ser usados métodos expostos em DNER (1980), HAESTAD (1999) e FHWA (1983, 1986 e 1991);
- b) Estimar medidas sobre características do escoamento de água pela seção transversal do canal analisado, características do regime de fluxo, velocidade de escoamento, etc. Métodos para isso constam nas citações anteriores.

A capacidade de manuseio de medidas sobre características de canais pode ser consequência de operações sobre dados, teorias e deduções empíricas compatíveis com o equipamento para drenar observado. O processamento de dados em computador pode ser uma ferramenta útil para facilitar estudos e análises sobre medidas das características de fluxo, para exemplo, consultar HAESTAD (1999).

Os produtos de manuseio e análise de dados sobre as características de escoamento de água podem ser úteis para classificar relações entre materiais de paredes ou fundo do canal e o líquido que por ali escoar (ou ações provocadas pelo movimento de água pelo canal) – item fundamental para o estudo de comportamento e estabilidade de paredes e fundo de equipamentos para drenar.

Um arcabouço coerente de atividades, que facilite a separação de medidas sobre características do movimento de água em classes e, identifique relações com o meio

que contém o líquido, pode ser útil para fornecer informações decorrentes que garantam a qualidade de classificação e forneça dados confiáveis para estudo de explicações estatísticas sobre o comportamento de equipamentos para drenar. A tentativa de montar esse arcabouço conteve os raciocínios e processos para manuseio de informações que se seguem:

- a) Estudos sobre características físicas de canal, formato, materiais das paredes e fundo, declividade longitudinal, etc, realizados processando resultados de medidas e observações em campo;
- b) Análise de variáveis características de vazões que solicitam o equipamento para drenar, podem ser estimadas em função de dados sobre o regime de chuvas do local onde está o canal;
- c) Estimativas de capacidade de canal, velocidade de movimento de água, etc;
- d) Uso dos resultados para tentar explicar relações entre movimento de água e suas conseqüências para a interface do líquido com o equipamento para drenar.

4.1 Sobre a hidráulica dos canais para drenar

O que se expõe a seguir é uma síntese de conceitos, métodos e processos contidos e propostos basicamente em DNER (1980), HAESTAD (1999) e FHWA (1983, 1986 e 1991) para estudos de canais para conduzir água na superfície da Terra. A Figura 4 ilustra um esquema sobre a geometria de canais para drenar.

Figura 4 – Esquema da geometria de canais

A *capacidade hidráulica* de canal para conduzir água pode ser estimada pela conhecida *equação de Manning*:

$$\frac{nQ}{\sqrt{I}} = \omega (\bar{r})^{\frac{2}{3}}$$

Onde:

n é um coeficiente de atrito (rugosidade) conhecido como o “ n de Manning”;

Q é a vazão correspondente à capacidade hidráulica do canal;

I é a declividade longitudinal do canal;

ω é a área de seção transversal do canal ocupada pela água;

$\bar{r}$ é o raio hidráulico, $\bar{r} = \frac{\text{area}}{\text{perímetro molhado do canal}} = \frac{\omega}{p}$, e

p é o perímetro molhado do canal.

A capacidade hidráulica do canal pouco diz sobre as relações que definem o funcionamento e relações entre o movimento de água e o canal em si. Principalmente, quando se refere às conseqüências sobre paredes e fundo desses equipamentos.

A erosão e a sedimentação são dois dos efeitos provocados pelo movimento da água que podem ser nocivos à manutenção do canal. Esses efeitos devem ser previstos durante os projetos. Mas, as previsões que se faz podem não corresponder à realidade, e levam à necessidade de estudos e observação sobre tais processos.

Como $Q = V\omega$, onde V é a velocidade média da água pelo canal, estimada a capacidade, pode-se estimar a velocidade da água. Duas condições são nocivas ao funcionamento de canais:

$$V \geq V_{\text{erosao de paredes ou fundo do canal}}, \text{ e}$$

$$V \leq V_{\text{sedimentacao de materiais em suspensao}}$$

Mas, o funcionamento das rodovias tem mostrado que, condições como as que se cita só são estudadas em fases de projeto. Na prática apenas se pode observar e tentar minimizar os efeitos da erosão e sedimentação.

Para complemento, a Tabela 3 ilustra sugestões publicadas em DNER (1980) de estimativas de velocidades máximas da água antes de início do processo de erosão de canais. E, ainda, a Tabela 2 resume sugestões para o coeficiente de rugosidade de Manning, (n), conforme publicado em DNER (1980).

Tabela 2 – Coeficiente de rugosidade de Manning. [Fonte: DNER, 1990]

Canais abertos revestidos		Canais abertos não revestidos	
Concreto com superfície:		Terra, seção uniforme:	
Conformada, sem acabamento	0.013 a 0.017	Limpa, recentemente completada	0.016 a 0.018
Acabada com colher	0.012 a 0.014	Limpa, após a intempérie	0.018 a 0.020
Acabada com desempenadeira	0.013 a 0.015	Com grama curta, pouca vegetação	0.022 a 0.027
Acabada com desempenadeira, alguma brita no fundo	0.015 a 0.017	Em solo pedregulhoso, limpo	0.022 a 0.025
Gunita, seção boa	0.016 a 0.019	Terra, seção bem uniforme:	
Gunita, seção ondulada	0.018 a 0.022	Sem vegetação	0.022 a 0.025
Fundo em concreto desempenado e paredes:		Com grama, alguma vegetação	0.025 a 0.030
Pedra aparelhada em argamassa	0.015 a 0.017	Com vegetação densa ou plantas aquáticas em canais profundos	0.030 a 0.035
Pedra irregular em argamassa	0.017 a 0.020	Com paredes limpas e pedregulho	0.030 a 0.040
Alvenaria de pedra rejuntada	0.020 a 0.025	Com paredes limpas e seixos	0.030 a 0.040
Alvenaria de pedra rejuntada	0.020 a 0.030	Escavado com dragline ou dragado:	
Fundo em cascalho e paredes de:		Sem vegetação	0.028 a 0.033
Concreto conformado	0.017 a 0.020	Com plantas leves nas margens	0.035 a 0.040
Pedra irregular em argamassa	0.020 a 0.023	Rocha:	
Pedra seca (rip-rap)	0.023 a 0.033	Baseada na seção de projeto	0.035
Tijolo	0.014 a 0.017	Baseada na seção média real	
Asfalto:		Lisa e uniforme	0.035 a 0.040
Liso	0.013	Áspera e irregular	0.040 a 0.045
Rugoso	0.016	Canais não conservados, vegetação e plantas com	
Madeira aplainada, limpa	0.011 a 0.013	Vegetação densa, altura igual à profundidade do fluxo	0.08 a 0.12
Rocha escavada revestida com concreto com:		Fundo limpo, plantas nas paredes	0.05 a 0.08
Seção boa	0.017 a 0.020	Fundo limpo, plantas nas paredes, maior altura de fluxo	0.07 a 0.11
Seção irregular	0.022 a 0.027	Plantas em quantidade e altura elevada	0.10 a 0.14

Tabela 3 - Velocidades máximas da água antes do processo de erosão [Fonte: DNER (1980)]

Cobertura superficial e tipo de material	Velocidade permitida(m/s)
Gramma comum	1,5 a 1,8
Tufos de grama com solo exposto	0,6 a 1,2
Argila	0,8 a 1,3
Argila coloidal	1,3 a 1,8
Lodo	0,35 a 0,85
Areia fina	0,30 a 0,40
Areia média	0,35 a 0,45
Cascalho fino	0,50 a 0,80
Silte	0,70 a 1,20
Acostamento pavimentado	3,0 a 4,5
Lodo ou lama	0,50
Areia fina	0,80
Areia de consistência	1,00
Areia compacta	1,50
Saibro	1,80
Cascalho	2,00

Nos canais abertos, a água movimenta-se para as cotas mais baixas, de locais com maior energia potencial gravitacional para locais com menor energia. Ou seja, as obras do Homem têm, dentre outras finalidades, facilitar e controlar o contínuo movimento da água em direção a superfícies de equilíbrio como oceanos, lagos, etc.

Para fins práticos, a ação de energia efetuada pela água sobre paredes e fundo de canais é estudada a partir de classificações do tipo de movimento que a água tem – um conjunto de funções da velocidade de partículas, que definem as variações de energia no canal, somadas à variação de homogeneidade do líquido em relação à presença de ar interna aos tubos de fluxo da água. O movimento de água é classificado de forma mais simples em:

- a) *Laminar*, caracterizado por linhas de corrente previsíveis e contínuas;
- b) *Turbulento*, com linhas de corrente erráticas e imprevisíveis.

O fluxo turbulento é caracterizado por intensa variação de direções e energia das partículas de água. Também, pela presença de ar misturado à água durante o movimento. Isso aumenta a “agressividade” da água às paredes e fundo de canais.

Se y é a profundidade do canal ocupada pela água, V é a velocidade média da água, g é a aceleração da gravidade, a energia específica das partículas associada ao movimento da água é:

$$E = y + \frac{V^2}{2g}.$$

Se E_1 é a energia em uma dada posição “1” de canal, e E_2 , em uma posição “2”, pode-se, assumindo algumas hipóteses sobre a seção e conservação da energia escrever:

$$E_1 = E_2 \quad \text{e}$$

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Há uma profundidade de fluxo em que a energia específica é mínima. Diz-se que o movimento da água nessas condições assume o estado de *regime de fluxo crítico* – a esse tipo de relações entre o movimento da água e a energia se associam as condições de transição entre o fluxo laminar e o fluxo turbulento. A profundidade associada a esse tipo de fluxo é conhecida como *profundidade crítica*.

Às profundidades maiores que a profundidade crítica associam-se velocidades menores que a crítica – nessas condições, o movimento da água tende a assumir estado de fluxo torrencial a que se dá o nome de *regime de fluxo subcrítico*.

Às profundidades menores que a profundidade crítica associam-se velocidades maiores que a crítica – nessas condições, o movimento da água tende a assumir estado turbulento de fluxo, e se dá a esse tipo de movimento o nome de *regime de fluxo supercrítico*.

A Figura 5 ilustra relações entre tipos de movimento da água e energia em canais.

Figura 5 - Relações entre tipos de movimento da água e energia em canais

Para classificar os tipos de movimento da água em canais abertos usa-se o *número de Froude*, definido por:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}}, \text{ onde:}$$

V é a velocidade média da água (m/s);

g é a aceleração da gravidade (m/s^2)

D é a profundidade hidráulica do canal, $D = \frac{\omega}{T}$;

ω é a área do canal ocupada pela água (m^2);

T é a largura da superfície livre do canal (m)

A Tabela 4 resume os critérios para classificar o movimento de água em canais:

Tabela 4 – Critérios para classificar o movimento de água em canais

Número de Froude, F	Tipo de fluxo
< 1	Subcrítico
$= 1$	Crítico
> 1	Supercrítico

Conhecer e tentar prever o comportamento de canais pode ser sinônimo de conhecer os regimes de fluxo. A prática de operação de canais mostra que a maioria das piores condições de relações da água com as paredes e fundo de canais podem dar-se nessas condições.

A função da discussão que se antecedeu é apenas ilustrar teoricamente as relações entre o movimento de água, velocidade e energia e suas conseqüências. Principalmente, tendo em vista mostrar que o número de Froude é uma variável de classificação de relações do movimento de água por canais.

4.2 Sobre a hidrologia aplicada aos canais para drenar

Hidrologia é a ciência da água, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas relações com o meio ambiente nos ciclos naturais da Terra. Os conceitos que se seguem são expostos em PEIXOTO JR. & FELEX (1997).

Chama-se *ciclo hidrológico* ao conjunto de mudanças de posição da água na Terra e atmosfera. Nesse processo a água evapora da superfície terrestre, ou seja, é transportada sob a forma de vapor pelas massas de ar. O vapor é condensado, formando as nuvens que podem fazer cair água sobre a Terra (chuvas, etc.).

Durante o ciclo hidrológico a água:

- a) Fica retida no solo, cursos de água ou oceanos;
- b) Evapora, ou volta à atmosfera pela transpiração das plantas;
- c) Infiltra no solo para lençóis subterrâneos ou outros;
- d) Pode retornar aos cursos de água e outros.

Bacia Hidrográfica: é uma área definida topograficamente, onde toda a vazão efluente seja descarregada através de uma simples saída (seção de controle). Uma bacia hidrográfica é delimitada por um “divisor de água”, a linha que divide as direções de escoamento de água de chuva na superfície. As águas que atingem o solo escoam pelos talwegues, lugares geométricos dos pontos mais baixos de bacias.

Dentre as características físicas e geográficas de uma bacia hidrográfica destacaríamos: a área, os solos e vegetação que a constituem, e a sua localização geográfica. A Figura 6 ilustra o conceito de bacia hidrográfica.

Figura 6 – Ilustração do conceito de bacia hidrográfica [PEIXOTO JR. & FELEX, 1997]

Para as bacias naturais, os dados para estimativa de propriedades dos parâmetros que definem a bacia podem ser obtidos: pela observação do engenheiro, ou por levantamentos topográficos e aerofotogramétricos, etc. Em bacias teóricas, como as que se estuda em projetos para obras que não foram executadas, as informações são obtidas estudando memoriais descritivos, plantas, perfis e outros documentos que descrevam o que se vai executar.

Para estimativa de vazões a drenar em pequenas bacias, o processo mais usado é o dito *Método Racional para estimativa de vazões*, cujos conceitos podem ser resumidos na discussão das condições de uso da função e são aplicáveis apenas às pequenas bacias, com áreas menores que um quilometro quadrado:

$$Q = \frac{c.i.A}{3,6}, \quad \text{em m}^3/\text{s}.$$

Onde:

A (km²) é a área da bacia estudada;

i (mm/h), a intensidade de chuva estimada com hipóteses sobre relações entre o ciclo hidrológico e a ocorrência da vazão; e

c é o coeficiente de escoamento superficial - razão entre o volume de água que escoar e o volume de chuva.

Para estimativa de vazões em pequenas bacias, as chuvas que interessam, são as que provocam as maiores vazões, ou seja, que representem maior risco aos equipamentos para drenar. Para respeitar essa premissa, adota-se conceitos que permitam estimar a maior vazão solicitante para a obra a se executar. O arcabouço adotado é:

- a) Definir um *tempo de recorrência* (ou período de retorno) (Tr), tempo médio (em anos) para ocorrer, ou ser superada a chuva de intensidade i , adotado como “o inverso da frequência de ocorrência de dada intensidade de chuva no regime de chuvas no local estudado”.

Na prática dos estudos para rodovias, o tempo de recorrência é uma função do tipo de obra sob análise - pequenos coletores de água, $Tr = 5$ anos; outros mais importantes, Tr entre 10 e 50 anos; bueiros e galerias, $Tr \leq 50$ anos.

- b) Assumir que a máxima vazão, Q , associada à intensidade chuva i , ocorre quando toda a bacia contribui para a vazão na seção de saída de água. Assim, é necessário que ocorra, a partir do início da chuva, tempo para que uma partícula de água, que iniciou seu movimento no ponto mais distante da seção de controle, percorra o caminho para chegar até essa seção.

O tempo para que isso ocorra é o *tempo de concentração* (t_c) da bacia, ou seja, o tempo para que toda a bacia passe a contribuir para a seção de vazão. Se a duração da

chuva i for igual ao tempo de concentração, t_c , ocorrerá a vazão Q , associada à intensidade de chuva i . A Figura 7 ilustra o conceito de tempo de concentração.

Figura 7 – Ilustração do conceito de tempo de concentração [PEIXOTO JR. & FELEX, 1997]

O tempo de concentração deve ser maior que 5 minutos e pode ser estimado pela fórmula de KIRPICH:

$$t_c = 57 \left[\sqrt{\left(\frac{L^3}{H} \right)} \right]^{0,77} \geq 5 \text{ minutos}$$

Onde:

t_c é o tempo de concentração da bacia (em minutos);

L é o maior comprimento da bacia (em km);

H , a máxima diferença de cotas na bacia (em metros)

- c) Estimado o tempo de concentração e escolhido período de retorno, a intensidade de chuva a se adotar é obtida através de fórmulas empíricas, por análise estatística e dados que qualifiquem e quantifiquem o regime de chuvas no local onde está a obra.

As fórmulas empíricas para estimativa de intensidade de chuva são, usualmente, nomeadas *equações de chuva*. O tipo de função mais comum é o modelo expresso por:

$$i = \frac{KT^a}{(t_c + c)^b}$$

Onde:

i : intensidade de chuva em mm/min

T : período de retorno em anos

t_c : duração da chuva em min

c : correção do termo referente a duração

K, a e b : coeficientes obtidos por análise de regressão

O coeficiente de escoamento é variável, não só com as características de superfície, mas com outras variáveis como a história da chuva. Nos estudos sobre meios para transporte ou obras de terra o número de bacias a analisar é grande. Por isso adotar o coeficiente de escoamento adequado exige experiência e vivacidade dos técnicos envolvidos – a boa prática deve ser associada a acurácia do trabalho de observação em campo.

Convém adotar o coeficiente de escoamento compatível com o tipo de superfícies que constituem a bacia observada. A Tabela 5 resume os valores recomendados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem [DNER, 1990].

Tabela 5 – Coeficiente de escoamento superficial [Fonte: DNER, 1990]

Características da superfície	Coeficiente de escoamento
Revestimento de concreto Portland	0,70 - 0,90
Revestimento betuminoso	0,80 - 0,95
Revestimento primário	0,40 - 0,60
Solos sem revestimento com baixa permeabilidade	0,40 - 0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10 - 0,30
Taludes gramados	0,50 - 0,70
Prados e Campinas	0,10 - 0,40
Áreas florestais	0,10 - 0,25
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15 - 0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10 - 0,30

Quando a bacia for constituída por vários tipos de superfície, se recomenda adotar um coeficiente de escoamento estimado pela média ponderada dos coeficientes associados aos diversos tipos de áreas em que se subdivide a bacia estudada:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n c_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Onde:

c = coeficiente de escoamento superficial;

c_i = coeficiente de escoamento superficial da fração de área da bacia A_i ;

i = índice que varia de 1.....a..... n ;

n = número de frações em que se subdivide a bacia;

A_i = área da fração i da bacia.

4.3 Estimativa da intensidade de chuva na região de Araraquara

Para a região de Araraquara, onde se localizam os trechos observados [Figura 12], a função mais confiável para estimativa de chuvas que localizamos foi a publicada em um relatório técnico emitido pelos professores Antônio Marozzi Righetto e Rodrigo de Melo Porto da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo [FIPAI, 1995]. Os resultados publicados são válidos para a região de Araraquara. O relato contido em FIPAI (1995) vem resumido a seguir.

Segundo FIPAI (1995), em 1966, o Instituto Astronômico e Geofísico de São Paulo, publicou resultados de estudos que sugeriam o uso de uma função entre as alturas de chuvas máximas para “1 dia” e “24 horas” de duração. Os dados usados foram coletados no período entre 1928 e 1965, pluviometria e pluviografia simultâneas para a cidade de São Paulo. A Tabela 6 contém um resumo dos resultados publicados no estudo do Instituto Astronômico e Geofísico de São Paulo.

Tabela 6 – Multiplicador entre as alturas de chuvas máximas de “1 dia” e “24 horas” para a cidade de São Paulo. [Fonte: FIPAI (1995)]

Período de retorno (anos)	5	10	25	50	75	100
Multiplicador entre altura de chuvas	1,13	1,13	1,14	1,15	1,14	1,15

Analisando as informações contidas na Tabela 6 verifica-se que as alturas de chuva máximas para “1 dia” e “24 horas”, têm entre si um multiplicador quase constante e estimado em “1,14”. O multiplicador “1,14” foi usado em FIPAI (1995) para estimar

a máxima altura de chuva para “24 horas” a partir da altura de “1 dia” no posto C5 – 017, da rede do Departamento de Águas e Energia Elétrica, em Chibarro, no município de Araraquara,.

PFAFSTETTER (1957) propôs um método para estimativa e publicou dados sobre alturas de chuva provenientes de 98 postos distribuídos em todo país. A análise sobre os valores das alturas de chuva fez identificar [FIPAI, 1995] multiplicadores para estimar valores de alturas de chuva de diferentes durações, para períodos de retorno de 2 a 100 anos, cujos valores médios estão resumidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Multiplicadores para estimativa de alturas de chuva no Brasil. [Fonte: FIPAI (1995)]

Relação entre alturas de chuva	Valores médios obtidos de PFAFSTETTER (1957)	Relação entre alturas de chuva	Valores médios obtidos de PFAFSTETTER (1957)
5min / 30min	0,34	30min / 1h	0,74
10min / 30min	0,54	1h / 1h	0,42
15min / 30min	0,70	6h / 1h	0,72
20min / 30min	0,81	8h / 1h	0,78
25min / 30min	0,91	10h / 1h	0,82
		12h / 1h	0,85

Portanto, a partir de medias de alturas de chuva para “1 dia”, pode-se estimar no Brasil a altura de chuva para “24 horas” utilizando o multiplicador “1,14”. E, para chuvas de menor duração, fixando-se a frequência, as alturas podem ser estimadas com auxílio do exposto na Tabela 7.

Usando os multiplicadores sugeridos nas Tabela 6 e Tabela 7, os autores de FIPAI (1995) estudaram a série histórica de alturas pluviométricas máximas anuais, do posto C5 – 07 – Chibarro, pertencente à rede do DAEE, para as alturas de chuva medidas entre os anos de 1958 a 1993, para 36 anos de observação. A Tabela 8 resume as máximas alturas de chuva diárias, em cada ano de observação, tendo FIPAI (1995) declarado como fonte de dados os “Boletins Pluviométricos do DAEE”

Tabela 8 – Máximas alturas de chuva diárias em Chibarro.
[Fonte: FIPAI (1995)]

Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1958	94,5	1967	68,5	1976	106,7	1985	51,8
1959	110,9	1968	56,0	1977	70,5	1986	99,9
1960	79,7	1969	75,4	1978	72,7	1987	86,2
1961	48,3	1970	138,7	1979	62,0	1988	74,1
1962	79,2	1971	49,5	1980	91,4	1989	117,2
1963	83,5	1972	81,0	1981	63,4	1990	57,7
1964	68,2	1973	65,1	1982	65,8	1991	106,0
1965	108,0	1974	86,2	1983	94,7	1992	72,5
1966	68,0	1975	72,4	1984	57,6	1993	86,0

Estimando média, desvio padrão e coeficiente de assimetria, ordenados os valores em ordem decrescente e estimadas as frequências e períodos de retorno, FIPAI (1995) relata as informações resumidas na Tabela 9. A média das alturas de chuva máximas diárias observadas em Chibarro foi estimada em 79,7mm, e o desvio padrão foi estimado em 20,76 mm.

Tabela 9 – Análise de frequência da série histórica de alturas de chuva em Chibarro.
[Fonte: FIPAI (1995)]

Ordem	Frequência (%)	Período retorno (anos)	Altura (mm)	Ordem	Frequência (%)	Período retorno (anos)	Altura (mm)
1	2,7	37,0	138,7	19	51,35	1,95	74,1
2	5,41	18,5	117,2	20	54,05	1,85	72,7
3	8,11	12,23	110,9	21	56,76	1,76	72,5
4	10,81	9,25	108	22	59,46	1,68	72,4
5	13,51	7,40	106,7	23	62,16	1,61	70,5
6	16,22	6,17	106	24	64,86	1,54	68,5
7	18,92	5,29	99,9	25	67,57	1,48	68,2
8	21,62	4,63	94,7	26	70,27	1,42	68,0
9	24,32	4,11	94,5	27	72,97	1,37	65,8
10	27,03	3,70	91,4	28	75,68	1,32	65,1
11	29,73	3,36	86,2	29	78,38	1,28	63,4
12	32,43	3,08	86,2	30	81,08	1,23	62,0
13	35,14	2,85	86,0	31	83,78	1,19	57,7
14	37,84	2,64	83,5	32	86,49	1,16	57,6
15	40,54	2,47	81,0	33	89,19	1,12	56,0
16	43,24	2,31	79,7	34	91,89	1,09	51,8
17	45,95	2,18	79,2	35	94,59	1,06	49,5
18	48,65	2,06	75,4	36	97,30	1,03	48,3

FIPAI (1995) relata que, na hidrologia, o uso de processos propostos por GUMBEL e modificados por VEN TE CHOW é uma tradição nos estudos de distribuição de freqüências de altura de chuva.

Usando o exposto em PINTO, HOLTZ & MARTINS (1973), páginas 101 a 107, pode-se escrever que um conjunto de medidas em n anos de observação, dia a dia, pode ser usado para definir a maior medida obtida em cada dia dos n anos. Essas estimativas são conhecidas como o conjunto de “medidas máximas” nos n anos de observação. Organizando em ordem crescente essas medidas, define-se o conjunto de ordens $m = \{1, \dots, n\}$ para a posição que ocupa cada uma das “medidas máximas”.

A freqüência com que um valor de medida, cuja posição no conjunto ordenado de medidas máximas é $l \leq n$, pode ser superado é:

$$F = \frac{m}{n+1}.$$

GUMBEL [diz PINTO, HOLTZ & MARTINS (1973)] expôs que a probabilidade de ocorrência M de uma dada medida, p , ocorrer ou ser superada é:

$$p = 1 - e^{-e^{-\frac{1}{0,797}(M - \bar{M} + 0,45\sigma)}}$$

Onde:

$\bar{M}$ = média das medidas máximas;

P = probabilidade de ocorrência de uma medida máxima maior ou igual a M ;

σ = desvio padrão das medidas máximas.

O papel onde se pode plotar o período de recorrência $T = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\frac{1}{0,797}(M - \bar{M} + 0,45\sigma)}}$ em

abscissas (eixo dos x) em escala logarítmica e no eixo das ordenadas a variável observada M , é conhecido como o *papel de Gumbel*.

Afirmam também PINTO, HOLTZ & MARTINS (1973) que VEN TE CHOW generalizou o exposto por GUMBEL. Se, K é o “fator de freqüência”, um coeficiente

que depende do período de retorno e do número de amostras [ver tabela 7-1, página 104, de PINTO, HOLTZ & MARTINS (1973)]:

$$M = \bar{M} + K\sigma$$

FIPAI (1995) relata que se a variável M for substituída pela altura de chuva, com a notação P , pode-se escrever:

$$P = \bar{P} + K\sigma$$

E, a Tabela 10 resume os valores de K e estimativa de alturas de chuva para Chibarro em função do período de retorno.

Tabela 10– Alturas de chuva máxima diária estimadas pelo método de Gumbel para Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]

Período de retorno (anos)	Fator de frequência K	Altura de chuva P (mm)
2	-0,154	76,5
5	0,848	97,3
10	1,511	111,1
15	1,885	118,8
20	2,147	124,3
25	2,349	128,5
50	2,971	141,4
75	3,332	148,9
100	3,588	154,2

A Figura 8 ilustra a aderência da série histórica de alturas máximas de chuva à função para estimativa pelo modelo de GUMBEL.

Figura 8 – Série histórica de alturas máximas de chuva em Chibarro, no papel de GUMBEL.
[Fonte: FIPAI (1995)]

Combinando os dados contidos nas Tabela 6 até a Tabela 10, os autores de FIPAI (1995) obtiveram as estimativas de alturas de chuvas para Chibarro, expostas na Tabela 11.

Tabela 11 – Alturas de chuva (mm) estimadas para Chibarro.
[Fonte: FIPAI (1995)]

Duração	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5min	9,2	11,7	13,4	14,3	14,9	15,5	17,0	18,6
10min	14,6	18,6	21,3	22,7	23,7	24,6	27,0	29,5
15min	18,9	24,2	27,6	29,5	30,8	31,8	35,0	38,2
20min	21,9	27,9	31,9	34,1	35,6	36,8	40,5	44,2
25min	24,7	31,4	35,8	38,3	40,0	41,4	45,5	49,7
30min	27,1	34,5	39,4	42,1	44,0	45,5	50,0	54,6
1h	36,6	46,6	53,2	56,9	59,5	61,5	67,7	73,8
6h	62,8	79,8	91,2	97,5	102,0	105,5	116,1	126,6
8h	68,0	86,5	98,7	105,6	110,5	114,3	125,7	137,1
10h	71,5	90,9	103,8	111,0	116,2	120,1	132,2	144,2
12h	74,1	94,3	107,6	115,1	120,4	124,5	137,0	149,4
24h	87,2	110,9	126,6	135,4	141,7	146,5	161,2	175,8
1 dia	76,5	97,3	111,1	118,8	124,3	128,5	141,4	154,2

Admitindo a hipótese de que a intensidade de chuva possa ser estimada por $i = \frac{P}{t}$, com: P = altura de chuva estimada em função do período de retorno, e t = duração da chuva, FIPAI (1995) relata que a intensidade de chuva (em mm/min) para Chibarro pode ser estimada pelos valores contidos na Tabela 12.

Tabela 12 – Intensidade de chuva estimada em Chibarro (mm/min). [Fonte: FIPAI (1995)]

Duração	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	1,840	2,340	2,680	2,860	2,980	3,100	3,400	3,720
10	1,460	1,860	2,130	2,270	2,370	2,460	2,700	2,950
15	1,260	1,613	1,840	1,967	2,053	2,120	2,333	2,547
20	1,095	1,395	1,595	1,705	1,780	1,840	2,025	2,210
25	0,988	1,256	1,432	1,532	1,600	1,656	1,820	1,988
30	0,903	1,150	1,313	1,403	1,467	1,517	1,667	1,820
60	0,610	0,777	0,887	0,948	0,992	1,025	1,128	1,230
360	0,172	0,222	0,253	0,271	0,283	0,293	0,323	0,352
480	0,142	0,180	0,206	0,220	0,230	0,238	0,262	0,286
600	0,119	0,152	0,173	0,185	0,194	0,200	0,220	0,240
720	0,103	0,131	0,149	0,160	0,167	0,173	0,190	0,208
1440	0,061	0,077	0,088	0,094	0,098	0,102	0,112	0,122

Expõe FIPAI (1995) que os dados contidos na Tabela 12 foram usados para obter, por análise de regressão, a *equação de chuva para Chibarro*:

$$i(\text{mm/min}) = \frac{12,92T^{0,188}}{(t+10)^{0,745}} \quad T \leq 50 \text{ anos}$$

5 RESUMO SOBRE ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Dentre as questões básicas cujas respostas são obtidas com uso da estatística está investigar sobre existência e características de qualidade de relações entre medidas, ou contagens, sobre variáveis distintas:

- a) Há relações entre as medidas, ou contagens, simultâneas sobre conjuntos de variáveis?
- b) Se existir, qual é a expressão numérica para estimativa de medidas coerentes com essa relação?

O termo *regressão* é reservado para expressar “o estudo sobre relações entre médias de medidas sobre uma variável aleatória e valores correspondentes de medidas simultâneas sobre uma ou mais variáveis independentes”. Mas, as respostas às questões sobre existência e características de qualidade de relações entre medidas simultâneas sobre variáveis distintas podem ser fornecidas através do uso de técnicas como:

- a) *Análise de correlação* - o estudo da existência e do grau de relacionamento entre as medidas, ou contagens observadas;
- b) *Análise de regressão* - o estudo de expressão numérica para estimativa de medidas coerentes com relações entre medidas e contagens.

Os conceitos expostos a seguir provêm basicamente de livros clássicos sobre teorias da estatística como CHASE & BOWN (1992), HOFFMANN & VIEIRA (1997) e DRAPER & SMITH (1981). Também, o conjunto de métodos e processos que se utilizou e se expõe inclui contribuições práticas e discussões expostas em PADULA (1999), FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000).

Para um número n de observações, HOFFMANN & VIEIRA (1977), páginas 107 a 132, expõem: que se, $j = \{1, 2, \dots, k\}$, $i = \{1, 2, \dots, n\}$, os valores de medidas observados

sobre uma variável dependente $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ podem ser anotados e representados por um conjunto de elementos pertencentes a matrizes:

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

Se, k medidas sobre variáveis independentes forem anotados e representados pelas matrizes $X_i = [x_{1i} \ x_{2i} \ \dots \ x_{ki}]$, o modelo matemático para uma regressão linear é uma função para estimar a variável dependente $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$:

$$y_i = a + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i$$

Onde:

a é uma constante, conhecida por *intercepto*;

β_k é outra constante, conhecida como *coeficiente de regressão*;

u_i é conhecida como *resíduo de estimativa da medida* y_i .

Se definirmos:

a) A matriz “medidas sobre as variáveis”: $X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix}$

b) A matriz “coeficientes da função para estimar”: $B = \begin{bmatrix} a \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_k \end{bmatrix}$

c) A matriz “resíduos de estimativa”:

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

Assim, a função Y_j pode ser escrita com a notação: $Y = X.B + u$.

Se, X^T for a notação para a matriz transposta da matriz X , a matriz de coeficientes de regressão, B , pode ser obtida operando-se :

$$B = \left[(X^T . X)^{-1} \right] . [X^T . Y]$$

E, se B^T , X^T , e Y^T são, respectivamente, as notações para as matrizes transpostas de B , X , e Y , a obtenção das somas de quadrados de estimativas e resíduos associadas à relações entre as medidas estudadas pode ser resumida na Tabela 13.

Tabela 13 - Análise de variância na regressão linear múltipla

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrados médios
Regressão	k	$SQR = B^T . X^T . Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}$	$QMR = \frac{SQR}{2}$
Resíduos	$(n - k - 1)$	$SQRs = Y^T . Y - B^T . X^T . Y$	$QMRs = \frac{SQRs}{(n - 3)}$
Total	$(n - 1)$	$SQ = Y^T . Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n}$	$QT = \frac{SQ}{n - 1}$

A teoria da estatística mostra que o quadrado médio dos resíduos, $QMRs$, é uma estimativa não tendenciosa da variância associada aos resíduos nas estimativas de medidas sobre a variável dependente. O coeficiente de determinação múltipla, definido por $r^2 = \frac{SQR}{SQ}$, exprime a parcela da soma total de quadrados dos erros que

é “explicada” pela função de regressão linear múltipla para estimativa de valores Y em função de X

A existência de relações lineares (*dependência linear*) 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 & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7).

A função para estimativa da variável dependente, obtida por análise de regressão linear múltipla, pode ser ilustrada com auxílio de uma interpretação geométrica que se efetua durante o processo de obtenção de estimativas para as medidas sobre a variável dependente.

Figura 9 – Interpretação geométrica da estimativa de Y em função de X

Se nos fixarmos em três dimensões, e analisando as relações geométricas que podem ser deduzidas com auxílio do ilustrado Figura 9, DRAPER & SMITH (1981) expuseram:

- a) Sejam os valores de medidas $Y_{\text{estimado}} \equiv (Y_{1\text{estimado}}, Y_{2\text{estimado}}, Y_{3\text{estimado}})$, $X \equiv (X_1, X_2, X_3)$, $Z \equiv (Z_1, Z_2, Z_3)$, do sistema de coordenadas de eixos nomeados 1, 2, 3;
- b) Para estimar $Y_{\text{estimado}} \equiv Y$, traça-se a perpendicular YP sobre OX . As coordenadas do ponto P são $Y_{1\text{estimado}}, Y_{2\text{estimado}}, Y_{3\text{estimado}}$;

- c) 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.
- d) Se traçarmos o paralelogramo que tem OY como diagonal e OP e PY como lados, obtemos o paralelogramo $OP'YP$.
- e) As coordenadas de P' representam os valores dos resíduos devido à regressão da variável Y em função da variável X . Ou seja,

$$Y_{\text{estimado}} + (Y - Y_{\text{estimado}}) = Y_{\text{estimado}}$$

DRAPER & SMITH (1981), analisando as relações geométricas que podem ser deduzidas com auxílio do ilustrado na Figura 10, verificaram que, se a variável Y for uma função das variáveis X e Z simultaneamente:

- a) As retas OX e OZ definem um plano em três dimensões;
- b) Se traçarmos a perpendicular OT a esse plano, as coordenadas do ponto T são $Y_{1\text{estimado}}, Y_{2\text{estimado}}, Y_{3\text{estimado}}$;
- c) 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 ,
- f) $\{(Y_1 - Y_{1\text{estimado}}), (Y_2 - Y_{2\text{estimado}}), (Y_3 - Y_{3\text{estimado}})\}$

Ou novamente,

- a) $Y_{\text{estimado}} + (Y - Y_{\text{estimado}}) = Y_{\text{estimado}}$
- b) E, o exposto pode ser generalizado para n dimensões.

Figura 10 – Interpretação geométrica da estimativa de Y em função de X e Z

A verificação da *qualidade das estimativas* se confunde com a análise de 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:

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

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

A existência dos coeficientes da função para estimar é verificada

usando $F_{\text{estimado}} = \frac{QMR}{QMRs}$, com k e $(n-k-1)$ graus de liberdade.

Se $F_{\text{estimado}} \geq F[k, (n-k-1)]$, rejeita-se a hipótese $H_o : a = \beta_1 = \beta_2 \dots = \beta_k = 0$ 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 das estimativas basta extrair a raiz quadrada das variâncias.

Se a e β_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 $(1 - \alpha)$ dos coeficientes β_j podem ser estimados: $\beta_j \pm t \left(\frac{\alpha}{2} \right) \sqrt{s(\beta_j)}$. 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.

Para facilitar a escolha de medidas sobre as variáveis cujas relações lineares com as medidas da variável independente 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.

Figura 11 – A regressão múltipla de Y em função de X e Z em dois passos

Para visualizar a interpretação geométrica da regressão passo a passo usaremos o auxílio da Figura 11, exposta em DRAPER & SMITH (1981). Ali estão traçados três paralelogramos:

- $OP'YP$, que ilustra as medidas obtidas na regressão de Y sobre X ;

- b) $OQ'ZQ$ que ilustra as medidas obtidas na regressão de Z sobre X ;
- c) $OT'YT$ que ilustra as medidas obtidas na regressão de Y sobre X e Z simultaneamente.

Assim:

- a) Os resíduos decorrentes das regressões Y sobre X e Z sobre X , quando estudados simultaneamente, podem ser estimados 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 estima 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, $\overline{OT'}$.

A definição para a estatística de controle F pode ser escrita $F = \frac{\left[\frac{R^2}{k'} \right]}{\left[\frac{1-R^2}{n-k'-1} \right]}$, para

cada função das medidas de $k' < k$ variáveis, onde k é o total de variáveis independentes, e R^2 é o coeficiente de correlação linear múltiplo.

Para obtenção da função para regressão por acréscimo de variáveis: se chamarmos r_i , $i = \{1, 2, \dots, k\}$ ao coeficiente de correlação entre a variável independente de ordem i

e a variável dependente, a estatística F parcial pode ser escrita: $F_p = \frac{\left[\frac{r_i^2}{k'} \right]}{\left[\frac{1-R^2}{n-k'-1} \right]}$.

O processo para obter e verificar a qualidade de coeficientes de regressão por acréscimo de variáveis (passo a passo) pode ser resumido do exposto por DRAPER & SMITH (1981), páginas 294 a 313:

- a) Estimar e ordenar os coeficientes de correlação parciais entre as variáveis dependentes e a variável independente;
- b) Testar as funções obtidas para estimativa da variável dependente, acrescentando-se, um a um, os conjuntos de resultados de medidas sobre as variáveis independentes na ordem crescente dos coeficientes de correlação parciais;
- c) O critério para que o processo continue é o crescimento do coeficiente de correlação múltipla em relação à tentativa anterior;
- d) O critério para que os valores das medidas sobre uma variável continuem pertencendo à função para estimativa é que F_p , para a variável independente seja maior que a estatística F obtida para os valores estimados pela regressão, ou seja, que no conjunto de relações estudado exista a significância associada da participação das medidas da variável independente analisada.

6 ESTUDO DE CASO PARA DESENVOLVER O TRABALHO

A Figura 12 ilustra esquematicamente os segmentos de vias observados.

Figura 12 – Esquema de segmentos de rodovias observados [Fonte: PADULA (1999)]

O estudo de caso usado para obtenção dos argumentos que orientarão os raciocínios que se seguem, adotou um conjunto de rodovias vicinais, localizado próximo à Araraquara, estado de São Paulo, onde um grupo de pesquisadores levantou dados e conduziu análises sobre qualidade de viagens, pavimentos, geometria e drenagem. Dentre os usos dos dados, incluiu-se obter informações que contribuíssem para explicar relações entre, medidas sobre itens técnicos de características físicas da rodovia, que definem a qualidade de viagens do ponto de vista do usuário, sensações para conforto e segurança.

Foram observados 72,3 quilômetros de vias nos segmentos: Araraquara à Gavião Peixoto, Gavião Peixoto à Nova Paulicéia, Nova Paulicéia à Nova Europa, Nova Europa à entrada da ligação entre Gavião Peixoto com o segmento entre Nova Europa à Via Washington Luís. Ali foram demarcados 37 segmentos de aproximadamente 600 metros, escolhidos por sorteio dentre os 58 segmentos homogêneos que constituíam o conjunto de vias vistoriado.

6.1 O primeiro conjunto de dados

Os principais meios e processos para obter dados sobre a geometria de componentes de seção transversal estão descritos e publicados em PADULA (1999); FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000).

Foram obtidos em campo os seguintes conjuntos de medidas sobre os componentes das seções transversais:

- a) Comprimento dos segmentos;
- b) Larguras de faixas para tráfego, acostamentos e área lateral;
- c) Declividades transversal e longitudinal.

A Tabela 14 resume os principais tipos de estudos, ações de elementos físicos – como a seção transversal ou equipamentos para drenar - observados e relações com a qualidade dos serviços prestados pelos pavimentos, conforme expresso pelo grupo envolvido no levantamento de dados.

Tabela 14 – Estudos sobre características de componentes físicos de rodovias e relações com a qualidade de viagens ou de pavimentos

Componente físico	Tipo de ação sobre o pavimento	Variável para formação de juízo sobre qualidade de viagem
Irregularidade da superfície	Aceleração vertical sentida pelos usuários da via.	
Elementos para drenar	Interferência ou deterioração da superfície de pavimentos.	Distribuição de juízos emitidos por avaliadores, expressos por notas sobre qualidade de viagem.
Geometria da via	A tensão, o cansaço, ou assemelhados, associados à ação de viajar em veículos.	

A Figura 13, o representa as posições em relação a origem dos segmentos estudados.

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

Figura 13 – Esquema de segmentos observados [Fonte: FREITAS (2000)]

Foram estudadas 3 a 5 seções transversais em cada segmento. Para medidas usaram-se equipamentos ou processos simples e baratos: o clinômetro para medir declividades e as trenas para medir larguras.

As Tabela 15 e Tabela 16 resumem os resultados obtidos para as declividades e larguras de elementos da seção transversal das rodovias analisadas.

Tabela 15 – Médias de declividades transversais nos segmentos observados (%)
(convenção: sinal positivo, elemento para cima do plano horizontal) [FREITAS, 2000]

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego a esquerda	Faixa para tráfego a direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	12,144	-1,736	-1,700	-1,233	-4,792	9,465
12	10,555	-2,144	-3,230	1,829	3,234	6,849
13	-13,681	-5,000	1,875	-2,967	0,000	34,690
14	-2,185	0,613	-1,217	-1,000	4,276	9,634
15	17,658	0,000	-0,792	-0,967	-0,531	9,001
16	38,724	0,000	3,000	-4,316	-3,500	21,578
17	17,463	-4,525	-2,308	-2,000	0,000	36,000
18	27,424	-9,650	-5,332	4,750	-5,602	19,812
19	28,406	-6,500	3,946	-4,185	-4,095	6,770
20	16,000	-5,695	-0,733	-0,700	-4,916	35,270
21	27,050	-4,000	-2,058	1,208	-8,865	11,856
22	6,865	-3,500	0,067	-3,433	-7,000	18,198
23	17,674	2,774	-0,425	-0,500	2,027	16,131
24	27,424	-9,650	-5,332	4,750	-5,602	19,812
25	6,410	-1,100	2,808	-4,617	-2,611	18,332
26	6,565	2,658	-1,338	0,707	-4,472	6,480
27	5,102	3,082	1,169	-2,407	-0,697	22,407
28	0,000	0,000	0,000	-2,617	0,000	0,000
29	7,351	-4,529	3,095	-3,933	-4,242	27,725
30	1,200	-0,212	-1,455	-0,614	-5,679	42,000
31	4,701	-3,500	-2,142	1,825	-2,880	-4,410
32	-3,283	-3,828	0,758	-2,242	-3,259	0,000
33	0,000	-3,975	-3,550	1,117	-3,983	0,000
34	-12,140	-2,842	-3,442	0,425	-4,316	-5,500
35	5,000	-4,523	-0,217	-0,658	-4,500	-9,224
36	14,570	-4,081	-1,483	1,483	-4,232	-11,367
37	16,000	-5,747	-1,925	0,767	-6,691	-11,547
38	-24,679	-5,758	-0,692	-1,525	-6,978	-9,534
39	20,075	-5,711	-2,167	-1,850	-7,500	-4,490
40	4,811	-5,567	-1,750	-1,500	-4,708	19,858
41	44,327	-5,632	-1,700	-1,683	-5,905	19,000
42	-26,005	-6,650	-2,025	-1,550	-6,263	18,022
43	3,522	-5,033	-1,550	-1,183	-7,333	4,735
44	22,361	-6,033	-1,450	-2,617	-5,427	8,204
45	-12,850	-4,778	1,150	-2,600	-5,072	-9,043
46	7,387	-4,457	-2,875	1,500	-5,394	-1,333
47	-12,272	-4,951	-2,833	0,933	-6,293	-7,735

Tabela 16 – Médias de larguras nos segmentos observados (m) [FREITAS, 2000]

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	3,63	1,34	3,00	3,00	1,76	2,98
12	8,42	0,97	3,00	3,00	1,95	5,38
13	4,17	0,57	3,00	3,00	0,00	5,24
14	3,34	1,86	3,50	3,50	1,26	4,10
15	5,17	0,00	3,50	3,50	1,97	4,75
16	3,68	0,00	3,00	3,00	0,43	4,30
17	4,00	2,00	3,00	3,00	0,00	1,17
18	3,65	1,26	3,00	3,00	0,77	2,28
19	2,87	0,45	3,00	3,00	1,71	2,62
20	0,97	1,97	3,00	3,00	1,53	2,97
21	2,66	0,51	3,00	3,00	1,27	3,59
22	2,47	0,60	3,00	3,00	0,60	3,23
23	4,19	1,97	3,00	3,00	1,91	3,40
24	3,63	0,96	3,50	3,50	0,88	3,38
25	3,27	1,67	3,50	3,50	1,41	4,30
26	0,46	1,60	3,50	3,50	1,82	0,63
27	1,76	1,26	3,12	3,12	1,56	3,04
28	0,00	0,00	3,50	3,50	0,00	0,00
29	4,72	1,90	3,50	3,50	1,92	4,15
30	3,98	1,96	3,00	3,00	2,07	1,95
31	2,24	1,83	3,00	3,00	1,96	2,93
32	1,70	1,40	3,50	3,50	1,63	0,00
33	0,00	1,87	3,50	3,50	2,00	0,00
34	2,15	1,82	3,50	3,50	1,86	0,85
35	1,15	1,55	3,50	3,50	0,69	4,06
36	3,59	1,73	3,50	3,50	1,90	3,50
37	4,38	1,91	3,50	3,50	2,11	1,81
38	8,83	2,00	3,40	3,40	1,97	19,33
39	3,32	1,97	3,40	3,40	1,97	18,63
40	3,84	2,00	3,40	3,40	2,00	17,27
41	7,53	1,91	3,40	3,40	1,90	9,77
42	3,14	1,94	3,40	3,40	1,87	9,03
43	4,47	2,00	3,50	3,50	2,00	5,17
44	3,75	2,00	3,50	3,50	2,00	3,19
45	5,86	1,96	3,50	3,50	1,90	4,60
46	9,25	1,96	3,50	3,50	1,88	9,50
47	10,80	1,91	3,50	3,50	1,91	5,40

6.2 A classificação do estado de equipamentos para drenar em vias

O *estado de elemento para drenar* foi uma variável discutida e definida em FREITAS (2000) como: “a capacidade desse componente da via provocar defeitos ao pavimento”. Para uso desse conceito tornou-se necessário identificar e obter critérios para classificar *qualitativamente* elementos para drenagem de seção transversal de rodovia.

WALKER & SCHERER (1987) sugerem notas comparativas ao risco que a passagem de água pelo componente da seção transversal, representa para a deterioração de pavimentos. A distribuição dessas notas pode ser útil para fornecer informações as explicação estatística de relações entre notas fornecidas à qualidade de viagem pelos segmentos de via observados. Segundo WALKER & SCHERER (1987), é indispensável à avaliação constante e contínua do estado de equipamentos para drenar em rodovias.

A Tabela 17 resume a classificação proposta por WALKER & SCHERER (1987) para classificar o estado de equipamentos para drenar.

Tabela 17– Classificação do estado de elementos para drenar
(WALKER & SCHERER, 1987)

Classificação	Fatores de avaliação
Bom	Drenagem adequada com os componentes de seção transversal. Não evidencia alagamentos, erosão, ou formação de poças e funcionamento sem restrição. Não há acúmulo de sedimentos nos componentes de drenagem. Requer-se apenas manutenção periódica.
Regular	A capacidade dos elementos está abaixo do recomendado, e requer manutenção.
Ruim	Evidencia inundação, presença de erosão na superfície do pavimento, com formação de poças de água nas laterais da rodovia. Também há efeitos na estrutura dos dispositivos de drenagem condições ruins de funcionamento, presença de vegetação e requer-se manutenção.

A avaliação foi conduzida usando processo e roteiro expostos em FELEX (1983):

- a) Identificar um conjunto de variáveis que participariam do processo, ou seja, que definiriam as relações entre a qualidade de viagem e o estado de equipamentos para drenar através de consultas a grupo de indivíduos em painéis para discussão do comportamento do processo de qualidade de viagens onde se usou a técnica do oráculo de Delfos;
- b) Em consultas individuais solicita-se aos participantes a sua proposta de lista de variáveis, que depois de agrupadas as ocorrências em todo o grupo no painel são rerepresentadas aos participantes para verificação da manutenção ou não das suas opiniões anteriores – foram dezoito os técnicos consultados – três professores universitários, quatro estudantes de pós-graduação e onze engenheiros do Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo e empresas de consultoria que prestavam serviços àquele órgão;
- c) O processo foi repetido de maneira similar para definir o conjunto de critérios para atribuir notas;
- d) O processo de obtenção das distribuições de ocorrências das classes de variáveis foi atribuir notas às variáveis obtidas usando também a técnica do Oráculo de Delfos – os segmentos foram percorridos várias vezes, após cada uma delas processavam-se os dados, forneciam-se os resultados médios aos observadores, percorria-se novamente os segmentos, perguntava-se aos avaliadores se sua opinião mudava, até que as alterações nas opiniões representassem menos que cinco por cento do número de observações.

A Tabela 18 resume as variáveis selecionadas para caracterizar o estado de equipamentos para drenagem nos segmentos observados.

Tabela 18 - Variáveis selecionadas para estudos sobre o estado de equipamentos para drenar
[Fonte: FREITAS (2000)]

Variável de caracterização do estado de equipamento para drenar	Breve descrição
<i>Existem?</i>	A existência de canais revestidos e delimitados na seção transversal da via
Estado de <i>conservação</i> dos canais	A existência e qualidade de operações de manutenção nos canais para drenagem e componentes da seção transversal
Estado e tipo do <i>revestimento</i>	Existência, tipo e estado de revestimento em canais para drenagem diferente de solo natural.
<i>Limpeza</i> dos canais	Ausência de obstáculos tais como sujeira, solo depositado, e similares.
<i>Capacidade</i> dos canais	A aparente capacidade de canais em conduzir o volume de água que os solicite. Observada visualmente.
<i>Acúmulo de água</i> na via	Existência de poças de água na via após chuva nos segmentos observados.
Existência de <i>obstáculos</i> nos canais	Barragens físicas presentes nos canais para drenar.
Existência de <i>erosão</i>	A presença de erosão nos canais ou elementos da seção transversal que conduzam água.
Compatibilidade das <i>saídas</i> de água	A qualidade da saída para água da seção transversal.
Presença de <i>vegetação</i> nos canais	A existência de vegetação crescendo no fundo de canais para drenar.
Compatibilidade entre a <i>declividade</i> e fluxo nos canais	A aparente coerência entre o tipo de canais e suas declividades longitudinais.

A Tabela 19 contém um resumo sobre os critérios e intervalos para atribuição de notas a equipamentos para drenar adotados.

Tabela 19 - Critérios para atribuição de notas a estado de equipamentos para drenar
[Fonte: FREITAS (2000)]

Variável	Conceito		
	3	2	1
Existem equipamentos para drenar?	Sim	Parcial	Não
Estado de conservação de canais	Bom	Médio	Ruim
Revestimento de canais	Bom	Médio	Ruim
Limpeza de canais	Boa	Média	Ruim
Capacidade de canais	Adequada	Com restrição	Pequena
Acúmulo de água	Não	Pouco	Muito
Obstáculos	Nenhum	Poucos	Muitos
Presença de erosão	Nenhuma	Pouca	Muita
Saídas	Boas	Com restrição	Ruins
Presença de vegetação	Nenhuma	Pouca	Muita
Declividades	Adequadas	Com restrição	Ruins

Nos segmentos analisados, os equipamentos para drenar vias, foram observados em campo por cinco técnicos, que não discutiram entre si os resultados. Adotaram-se como classificação do estado dos equipamentos de drenagem o conceito que mais ocorreu entre as informações fornecidas.

As Tabela 20 e Tabela 21 resumem a classificação de estado de equipamentos de drenagem, obtidas aplicando-se os conceitos da Tabela 19.

Tabela 20 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar (parte 1)
[Fonte: FREITAS (2000)]

Segmento	Existem equipamentos para drenar?	Estado de conservação	Revestimento	Limpeza de equipamentos	Capacidade
11	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	2
13	2	1	1	1	3
14	3	2	3	1	3
15	1	1	1	1	2
16	3	1	1	1	3
17	1	3	1	3	3
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1
21	3	3	3	1	3
22	1	1	1	1	1
23	1	3	1	3	1
24	3	2	3	3	3
25	1	3	1	3	2
26	1	2	1	3	3
27	3	2	3	3	3
28	1	2	1	3	3
29	1	1	1	3	1
30	1	1	2	3	3
31	1	3	1	3	3
32	1	1	1	3	1
33	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1
35	1	2	1	2	1
36	1	2	2	3	3
37	1	2	1	2	2
38	1	1	1	1	3
39	3	3	3	2	3
40	1	3	1	2	3
41	1	2	1	3	3
42	1	3	1	3	3
43	1	3	1	3	3
44	1	1	1	1	1
45	1	3	1	3	3
46	1	3	1	3	3
47	1	3	1	2	3

Tabela 21 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar (parte 2)
[Fonte: FREITAS (2000)]

Segmento	Acúmulo de água	Obstáculos	Presença de erosão	Saídas	Presença de vegetação	Declividades
11	3	3	2	2	1	1
12	3	3	3	1	3	2
13	3	3	2	2	2	2
14	3	3	3	3	3	2
15	1	3	1	2	1	2
16	1	1	1	3	1	3
17	3	3	3	3	3	3
18	1	1	3	1	3	3
19	1	1	3	1	3	3
20	3	3	1	2	1	2
21	3	3	3	3	3	3
22	3	3	3	2	1	3
23	3	3	3	1	3	3
24	3	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3	3
26	3	3	3	3	3	3
27	3	3	3	3	3	3
28	3	3	3	3	2	3
29	3	3	2	3	2	3
30	3	3	2	3	2	3
31	3	3	3	3	2	3
32	3	3	2	1	3	1
33	3	3	3	3	1	3
34	1	3	3	3	1	2
35	1	3	1	1	1	2
36	3	3	3	3	3	3
37	2	2	2	1	3	2
38	3	3	3	3	3	3
39	3	3	3	3	3	3
40	3	3	3	3	3	3
41	3	3	1	3	1	2
42	3	3	1	3	3	2
43	1	3	1	2	3	2
44	1	1	1	1	1	1
45	3	3	3	3	3	3
46	3	3	3	3	3	3
47	3	3	2	3	2	3

6.3 Estudos sobre notas atribuídas às viagens ou a qualidade de viagens

PADULA (1999); FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000) usaram critérios para amostragem sobre segmentos observados similares ao que se expôs no procedimento PRO 07/78 (DNER, 1978) para avaliação de qualidade de viagens através de notas por observadores treinados. Isso porque formalmente o processo de atribuir notas a viagens por observadores treinados é o mesmo para os pavimentos.

Depois de treinados em seminários, e informados dos critérios para avaliar e tipos de defeitos que interferem na qualidade de viagem por rodovias, trinta e dois avaliadores:

- a) Discutiram conceitos recomendados por PRO 07/78 (DNER, 1978);
- b) Conheceram as informações sobre as condições específicas para atribuir notas a qualidade de viagens;
- c) Foram submetidos à simulação sobre o processo de atribuição de notas em trecho teste pré-escolhido.

As informações específicas para orientar o processo de atribuir notas transmitidas aos avaliadores foram:

- a) Observar apenas as características da viagem que esta efetuando pela rodovia;
- b) Ignorar a geometria do segmento avaliado;
- c) Não levar em consideração as notas anteriores;
- d) Avaliar cada trecho independentemente;
- e) Não comentar sua avaliação com outro;
- f) Não procurar auxílio para decidir sobre estado de rodovia;
- g) A nota atribuída à viagem deve ser resposta à questão: “qual a sensação de conforto durante a viagem pelo segmento. E, qual seria a sensação de dirigir um veículo por esse segmento de rodovia?”.

Os segmentos de via foram percorridos de automóvel a velocidade constante, e ao final de cada segmento os avaliadores atribuíram nota ao nível de qualidade da viagem pelo segmento observado. Essas informações foram publicadas em PADULA (1999); FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000).

Os dados sobre avaliação de viagens e pavimentos foram obtidos por um conjunto de pesquisadores da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para serem processados em diversos trabalhos, por exemplo, PADULA (1999). O experimento foi efetuado durante os meses de agosto a outubro de 1999, quando avaliadores treinados viajaram pelos segmentos e atribuíram notas e conceitos aos trechos de via observados.

Os critérios adotados durante esse experimento estão expressos em DNER (1978): Para emitir juízos sobre a qualidade de viagem pelos pavimentos observados foram treinados trinta e dois avaliadores, um boliviano e dois peruanos; sete provenientes dos estados do Norte do País; cinco provenientes dos estados do Nordeste do Brasil; quatro provenientes dos estados do Centro-Oeste do Brasil; treze provenientes dos estados do Sudeste do Brasil.

21 (vinte e um) dentre os avaliadores não possuíam experiência anterior em avaliação de pavimentos, e 11 (onze) poderiam ser considerados especialistas em trabalhos sobre pavimentos.

As notas atribuídas por trinta e dois avaliadores pertencem a uma distribuição que poderia ser classificada dentre as “distribuições de probabilidade normais, em cada segmento do conjunto observado”.

As viagens para atribuir notas foram efetuadas em um automóvel de passeio marca Ford, modelo Royale, fabricado no ano de 1992. Durante o experimento, a velocidade do veículo foi mantida próxima de 60km/h, velocidade de projeto declarada para as rodovias vicinais estudadas.

Os segmentos foram percorridos nos sentidos Araraquara para Nova Europa, passando por Gavião Peixoto e Nova Paulicéia, e depois de Nova Europa sentido Araraquara até o trevo que levou a Gavião Peixoto.

A escala de notas adotada foi de um a cinco, um corresponde à qualidade para a viagem “péssimo”; dois, ao conceito “ruim”; três, ao conceito “regular”, quatro ao conceito “bom”, e cinco ao “ótimo”. Em cada segmento, a amostra conteve 32 juízos emitidos pelos avaliadores, perfazendo o total de 1184 juízos que representariam o universo de segmentos observados.

As Figura 14 e Figura 15 resumem médias e desvios padrão das notas atribuídas pelos observadores.

Figura 14 - Média das notas atribuídas pelos avaliadores ao nível para qualidade de viagem [Fonte: PADULA (1999) e FREITAS (2000)]

Figura 15 - Desvio padrão das notas atribuídas pelos avaliadores ao nível para qualidade de viagem [Fonte: PADULA (1999) e FREITAS (2000)]

A Figura 16 ilustra segmentos de rodovia avaliados durante o levantamento de dados para executar esse trabalho,

Figura 16 – Fotos que ilustram segmentos avaliados para coleta de dados

6.4 Resumo de resultados e conclusões expostas em FREITAS (2000)

A Tabela 22 resume os principais dados para controle da função de regressão linear múltipla obtida para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores aos segmentos observados por FREITAS (2000).

Tabela 22 – Controle de qualidade da função de regressão linear múltipla para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores aos segmentos observados, segundo FREITAS (2000)

Estatísticas	Interpretação
$R = 0,9423$ $R^2 = 0,8879$ $R^2_{\text{ajustado}} = 0,8319$	Há dependência entre as médias das notas fornecidas pelos avaliadores e o conjunto de variáveis usados para análise de regressão.
$F(12,24)_{\text{estimado}} = 15,852$	Existem relações lineares entre as médias das notas fornecidas pelos avaliadores e o conjunto de variáveis cujas medidas forneceram os coeficientes para a função de estimativa obtida por análise de regressão “passo a passo”.

A Tabela 23 é um resumo dos nomes das variáveis segundo FREITAS (2000), cujas medidas participaram das funções para estimativa de notas fornecidas pelos avaliadores dos segmentos observados, dos coeficientes obtidos por análise de regressão e das estatísticas para controle de qualidade desses coeficientes.

Tabela 23 - Qualidade dos coeficientes de função para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores, segundo FREITAS (2000).

Variável	Coefficiente	Estatística β de controle	t(24) de Student estimado	Qualidade do coeficiente [t(24)=2,064]
Intercepto	2,170	-	6,030	Significante
Largura do acostamento esquerdo	0,375	0,291	2,891	Significante
Declividade da lateral direita	-0,013	-0,223	-2,778	Significante
Declividade do acostamento direito	-0,037	-0,134	-1,486	Não significativa
Tipo revestimento da drenagem	0,105	0,088	0,591	Não significativa
Qualidade conservação da drenagem	0,395	0,412	4,385	Significante
Existência de acúmulo de água	-0,188	-0,187	-2,227	Significante
Declividade da faixa de tráfego direita	-0,086	-0,230	-2,716	Significante
Declividade acostamento esquerdo	-0,063	-0,230	-2,246	Significante
Existência equipamento para drenar	-0,336	-0,302	-1,921	Não significativa
Largura do acostamento direito	0,136	0,104	0,988	Não significativa
Capacidade equipamentos para drenar	-0,156	-0,172	-1,726	Não significativa
Largura da lateral direita	0,024	0,137	1,443	Não significativa

FREITAS (2000) adotou a notação exposta na Tabela 24 para escrever a função de estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores que se segue.

Tabela 24 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos

Variável	Notação	Variável	Notação
Notas atribuídas pelos avaliadores	Y_i	Existência de acúmulo de água	X_6
Intercepto	b	Declividade da faixa de tráfego direita	X_7
Largura do acostamento esquerdo	X_1	Declividade acostamento esquerdo	X_8
Declividade da lateral direita	X_2	Existência equipamento para drenar	X_9
Declividade do acostamento direito	X_3	Largura do acostamento direito	X_{10}
Tipo revestimento da drenagem	X_4	Capacidade equipamentos para drenar	X_{11}
Qualidade conservação da drenagem	X_5	Largura da lateral direita	X_{12}

$$Y_i = 2,17 + 0,375 X_1 - 0,013 X_2 - 0,037 X_3 + 0,105 X_4 + 0,395 X_5 - 0,188 X_6 + \\ - 0,086 X_7 - 0,063 X_8 - 0,336 X_9 + 0,136 X_{10} - 0,156 X_{11} + 0,024 X_{12}$$

Assim, se admitirmos que as relações entre as medidas sobre variáveis características da seção transversal e de qualidade dos equipamentos para drenar podem ser usadas para estimativa das notas atribuídas por avaliadores à viagem ou pavimento de segmentos observados, FREITAS (2000) concluiu que: as estimativas através de notas aos segmentos de rodovias atribuídas por avaliadores, ou seja, o uso da análise de regressão “passo a passo” para estudo de relações numéricas lineares entre notas atribuídas por avaliadores à qualidade de viagem pelos segmentos observados permitiu:

- a) Verificar que há dependência linear entre as medidas desse conjunto de variáveis porque o coeficiente de correlação linear é estatisticamente significativo;
- b) Existem relações lineares (regressão) entre as médias das notas fornecidas pelos avaliadores e medidas sobre variáveis que caracterizem a seção transversal (larguras e declividades) e qualidade dos equipamentos para drenar de vias;
- c) Das vinte e três variáveis observadas, doze participaram das estimativas de explicações das notas fornecidas pelos avaliadores porque foram aceitas na função de estimativa;
- d) Mas, cinco delas teriam (com os segmentos e dados levantados) coeficientes significativos na explicação da estimativa numérica das notas fornecidas à viagem ou qualidade dos pavimentos do ponto de vista dos que usam as rodovias observadas.

Também, as variáveis e a ordem numérica de módulos de coeficientes que mais participam da função de estimativa das notas pode ser útil para indicar a ordem de prioridade das ações sobre características de seções transversais e drenagem para controle da aceitação das viagens pelos que usam rodovias (e eventuais relações com os pavimentos e sua qualidade).

A Tabela 25 ilustra a ordem numérica dos tipos de coeficiente, e resume algumas das indicações que podem ser obtidas discutindo as variáveis estudadas e suas relações.

Tabela 25 - Ordem numérica de coeficientes associados às variáveis que mais participam da função de estimativa das notas e indicações sobre explicações sobre qualidade de viagem

Variável	Módulo do coeficiente	Tipo de coeficiente	Comentário
Qualidade conservação da drenagem	0,395	Significantes	Os equipamentos para drenar são imagens que se destacam e alteram sensações de conforto e segurança
Largura do acostamento esquerdo	0,375		Interferem diretamente na sensação de segurança da viagem
Existência de acúmulo de água	0,188		
Declividade da faixa de tráfego direita	0,086		
Declividade acostamento esquerdo	0,063		
Declividade da lateral direita	0,013		
Existência equipamento para drenar	0,336	Não significantes	Canaletas e outros equipamentos para drenar alteram as sensações de confinamento de motoristas e passageiros na rodovia
Capacidade equipamentos para drenar	0,156		Interferem diretamente na sensação de segurança da viagem
Largura do acostamento direito	0,136		
Tipo revestimento da drenagem	0,105		
Declividade do acostamento direito	0,037		
Largura da lateral direita	0,024		

Com as informações acima, FREITAS (2000) concluiu:

- a) A análise estatística de dados sobre o formato da seção transversal e resultados de medidas sobre variáveis que caracterizam o estado de equipamentos para drenar água de rodovias contribui para explicar uma parcela do comportamento de pavimentos e qualidade de viagens em estradas vicinais, quando associados à distribuição de notas atribuídas por um grupo de avaliadores treinados a viagens por segmentos de rodovias;
- b) A estrutura teórica que resultou de estudos sobre o comportamento de pavimentos da Pista Experimental da American Association of State Highway Officials, exposto por CAREY & IRICK (1960) e AASHO (1962), introduziu na tecnologia a estimativa de índices para medir a serventia de pavimentos. Mas os processos adotados são úteis para estudos sobre qualidade de viagem em

rodovias, o que se pode fazer em associação a notas atribuídas por avaliadores treinados;

- c) Nas rodovias, o formato da seção transversal e os elementos específicos para drenar participam não só da condução e controle do fluxo de água como são percebidos e fornecem elementos para explicar as sensações de conforto e segurança dos que usam as vias porque motoristas e passageiros esperam que sejam atendidas suas necessidades e expectativas.
- d) 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;
- e) Identificar variáveis através de consultas a grupo de indivíduos em painéis para discussão do comportamento do processo de qualidade de viagens usando a técnica do oráculo de Delfos, 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 de equipamentos para drenar rodovias.

7 COMPLEMENTOS AO LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

O processo para drenar superficialmente as rodovias vicinais consiste na coleta de água de chuva na transversal e na longitudinal. A água coletada na transversal pode ter dois destinos: escoar por canais longitudinais, ou escoar para fora da seção da via. Ou seja, participa desse processo o todo da seção transversal da via. A Figura 17 ilustra o exposto.

Figura 17 – O processo de drenagem nas rodovias vicinais

Convém frisar que na parcela da seção transversal da rodovia que *não contribui* para o escoamento longitudinal:

- A área de contribuição para a vazão no canal longitudinal é zero. O coeficiente de escoamento superficial tem sua ação no movimento transversal de água durante todo o processo para drenar;
- Quando a declividade de uma seção transversal é toda para um canal longitudinal, o coeficiente de escoamento para a outra direção em relação ao eixo é zero;
- Supomos “ n ” de Manning “igual a infinito (∞)” para denotar a vazão longitudinal igual a zero, quando não existir a contribuição aos canais longitudinais de vazão.

As áreas de contribuição à vazão para os canais longitudinais foram estimadas adotando-se as larguras médias dos componentes que contribuíam para a vazão teórica do canal esquerdo ou direito do segmento observado.

A Tabela 26 resume as áreas estimadas de contribuição à vazão na seção extrema dos canais longitudinais.

Tabela 26 - Áreas estimadas de contribuição à vazão na seção extrema dos canais longitudinais

Segmento	Á esquerda (m ²)	Á direita (m ²)	Segmento	Á esquerda (m ²)	Á direita (m ²)
11	4781	4646	30	5364	4210
12	13631	0	31	6043	2932
13	2842	6741	32	1856	5176
14	5220	5318	33	5322	1200
15	5203	6129	34	6580	1625
16	0	8650	35	3717	4949
17	5400	2500	36	7392	3242
18	6546	1828	37	7974	2351
19	1994	6192	38	8540	14823
20	3560	6300	39	5209	14400
21	5504	2914	40	5545	13600
22	1840	5896	41	7708	9042
23	5496	4984	42	5088	8580
24	6952	2556	43	5980	6400
25	2961	7625	44	5549	5215
26	5436	1465	45	4688	8102
27	0	8309	46	10925	6830
28	0	4200	47	11824	4388
29	3970	7840			

A *intensidade de chuva* adotada para estimativa de vazões pelo método racional foi obtida adotando-se o exposto em FIPAI (1995), item 4.3, somado ao sugerido por PEIXOTO JR. & FELEX (1997) e DNER (1990).

O período de retorno da chuva estimado e adotado (T) foi $T = 10$ anos; e, a duração da chuva, igual ao tempo de concentração de bacias teóricas e genéricas com as condições mínimas para estimativas (t_c) foi $t_c = 10$ minutos, valores adotados conforme a tradição entre os que projetam rodovias. Convém observar que o valor adotado para o período de retorno corresponde a obras onde há pequeno risco quando a capacidade de vazão for superada nas solicitações pela intensidade de chuva.

Assim, a *intensidade de chuva estimada* pode ser admitida:

$$i(\text{mm/min}) = \frac{12,92T^{0,188}}{(t+10)^{0,745}} = \frac{12,92(10)^{0,188}}{(10+10)^{0,745}} \cong 128\text{mm/h}$$

E, para estudos específicos sobre características *quantitativas* de infiltração e movimento de água pela superfície dos segmentos observados, foram avaliados e classificados os coeficientes de escoamento superficial e os de rugosidade de Manning. O procedimento adotado foi observar, em campo, cada segmento (de 3 a 5 seções por segmento)

Para identificar o tipo de superfície para infiltração e escoamento de cada componente da seção transversal, uma vistoria foi efetuada em outubro de 2000, elemento a elemento, das seções transversais em cada um dos segmentos estudados.

Para classificação de *coeficientes de escoamento superficial*, as informações adotadas foram as contidas no item 4 e Tabela 5.

A Tabela 27 resume os dados e estimativas obtidas para os coeficientes de escoamento superficial em áreas de contribuição aos canais que conduzem a água, do lado esquerdo ou direito da via (o observador visualizando a via no sentido Araraquara a Nova Europa e depois Nova Europa a Gavião Peixoto).

Tabela 27 – Coeficientes de escoamento superficial avaliados em campo

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	0,50	0,50	0,80	0,80	0,60	0,50
12	0,50	0,50	0,70	0,70	0,60	0,50
13	0,50	0,50	0,80	0,80	Não há	0,60
14	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50
15	0,40	Não há	0,70	0,70	0,40	0,40
16	0,50	Não há	0,80	0,80	0,50	0,50
17	0,50	0,50	0,90	0,90	Não há	0,50
18	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,40
19	0,40	0,40	0,80	0,80	0,30	0,50
20	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60
21	0,50	0,40	0,80	0,80	0,50	0,50
22	0,40	0,60	0,80	0,80	0,60	0,40
23	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60
24	0,40	0,40	0,80	0,80	0,50	0,50
25	0,40	0,40	0,70	0,70	0,40	0,40
26	0,50	0,50	0,70	0,70	0,40	0,40
27	0,50	0,40	0,80	0,80	0,60	0,40
28	Não há	Não há	0,90	0,90	Não há	Não há
29	0,40	0,40	0,90	0,90	0,50	0,50
30	0,40	0,40	0,90	0,90	0,40	0,40
31	0,40	0,40	0,90	0,90	0,40	0,40
32	0,40	0,40	0,90	0,90	0,40	Não há
33	Não há	0,40	0,90	0,90	0,40	Não há
34	0,50	0,50	0,90	0,90	0,60	0,60
35	0,50	0,40	0,80	0,80	0,50	0,40
36	0,40	0,50	0,80	0,80	0,50	0,40
37	0,40	0,50	0,80	0,80	0,50	0,40
38	0,50	0,60	0,90	0,90	0,60	0,50
39	0,50	0,60	0,80	0,80	0,60	0,50
40	0,50	0,60	0,80	0,80	0,60	0,50
41	0,30	0,50	0,90	0,90	0,50	0,30
42	0,50	0,60	0,90	0,90	0,60	0,50
43	0,50	0,60	0,90	0,90	0,50	0,50
44	0,50	0,50	0,90	0,90	0,60	0,60
45	0,40	0,40	0,80	0,80	0,40	0,40
46	0,40	0,60	0,90	0,90	0,60	0,40
47	0,40	0,60	0,90	0,90	0,60	0,40

Assim, os coeficientes de escoamento médios das áreas que contribuem para o escoamento transversal de água por toda seção da via, seja à esquerda ou à direita, podem ser estimados adotando-se o exposto no item 4.2. “Numa bacia com diversos tipos de superfície, o coeficiente de escoamento superficial é a média ponderada entre os diversos tipos de coeficientes que a compõem, tendo como pesos, as áreas em que cada um deles ocorre”.

A Tabela 28 resume as estimativas obtidas.

Tabela 28 – Coeficientes de escoamento médios nos segmentos observados nos segmentos

Segmento	“c” médio à esquerda	“c” médio à direita	Segmento	“c” médio à esquerda	“c” médio à direita
11	0,613	0,639	30	0,568	0,614
12	0,561	0,000	31	0,698	0,400
13	0,500	0,707	32	0,400	0,806
14	0,580	0,579	33	0,795	0,400
15	0,521	0,503	34	0,755	0,600
16	0,000	0,625	35	0,645	0,578
17	0,633	0,788	36	0,641	0,435
18	0,610	0,425	37	0,625	0,454
19	0,400	0,641	38	0,395	0,687
20	0,701	0,486	39	0,640	0,551
21	0,691	0,500	40	0,632	0,554
22	0,439	0,656	41	0,489	0,461
23	0,666	0,672	42	0,683	0,608
24	0,642	0,500	43	0,661	0,631
25	0,400	0,565	44	0,651	0,721
26	0,655	0,400	45	0,400	0,607
27	0,000	0,615	46	0,614	0,433
28	0,000	0,900	47	0,597	0,452
29	0,400	0,714			

Com as informações contidas nas Tabela 26 e Tabela 28 pode-se estimar *vazões solicitantes* de canais longitudinais. As hipóteses de “áreas zero” (página 64), indicam que a água escoar para um único lado da seção, esquerdo ou direito, em direção ao canal longitudinal, sendo a área de contribuição para o outro lado igual a zero.

A Tabela 29 contém resumo das estimativas efetuadas.

Tabela 29 – Vazões solicitantes da seção extrema de canais longitudinais para drenar

Segmento	Á esquerda (m ³ /s)	Á direita (m ³ /s)	Segmento	Á esquerda (m ³ /s)	Á direita (m ³ /s)
11	0,104	0,106	30	0,108	0,092
12	0,272	0,000	31	0,150	0,042
13	0,051	0,169	32	0,026	0,148
14	0,108	0,109	33	0,150	0,017
15	0,096	0,110	34	0,177	0,035
16	0,000	0,192	35	0,085	0,102
17	0,122	0,070	36	0,168	0,050
18	0,142	0,028	37	0,177	0,038
19	0,028	0,141	38	0,120	0,362
20	0,089	0,109	39	0,119	0,282
21	0,135	0,052	40	0,125	0,268
22	0,029	0,138	41	0,134	0,148
23	0,130	0,119	42	0,124	0,185
24	0,159	0,045	43	0,141	0,144
25	0,042	0,153	44	0,128	0,134
26	0,127	0,021	45	0,067	0,175
27	0,000	0,182	46	0,239	0,105
28	0,000	0,134	47	0,251	0,071
29	0,056	0,199			

A declividade longitudinal do eixo de segmentos estudados foi publicada em VASCONCELOS (2000). A Tabela 30 resume as informações sobre declividades longitudinais. Para futuro uso: tanto os canais à esquerda, como os canais à direita foram admitidos com a mesma declividade na longitudinal.

Tabela 30 – Declividades longitudinais do eixo de segmentos estudados
[Fonte: VASCONCELOS (2000)]

Segmento	Declividade longitudinal	Segmento	Declividade longitudinal	Segmento	Declividade longitudinal
11	0,060	24	0,067	36	0,030
12	0,070	25	0,050	37	0,025
13	0,000	26	0,060	38	0,000
14	0,000	27	0,000	39	0,025
15	0,020	28	0,000	40	0,035
16	0,000	29	0,061	41	0,055
17	0,039	30	0,062	42	0,000
18	0,070	31	0,079	43	0,010
19	0,060	32	0,000	44	0,020
20	0,040	33	0,000	45	0,000
21	0,099	34	0,000	46	0,020
22	0,060	35	0,021	47	0,000
23	0,058				

A Tabela 31 resume os dados e estimativas obtidas para os coeficientes de rugosidade de Manning, para superfícies dos segmentos classificadas após vistoria em campo (outubro de 2000), e conforme informações expostas no item 4.1 e Tabela 2.

Tabela 31 – Coeficientes de rugosidade de Manning avaliados em campo

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito -	Lateral direita
11	0,100	0,100	0,014	0,014	0,016	0,100
12	0,100	0,100	0,016	0,016	0,022	0,100
13	0,100	0,100	0,015	0,015	Não há	0,016
14	0,100	0,100	0,016	0,016	0,100	0,100
15	0,120	Não há	0,016	0,016	0,120	0,120
16	0,100	Não há	0,014	0,014	0,100	0,100
17	0,100	0,100	0,013	0,013	Não há	0,100
18	0,100	0,100	0,016	0,016	0,100	0,120
19	0,120	0,120	0,015	0,015	0,014	0,100
20	0,018	0,018	0,014	0,014	0,018	0,018
21	0,100	0,120	0,014	0,014	0,100	0,100
22	0,120	0,018	0,014	0,014	0,016	0,120
23	0,018	0,018	0,015	0,015	0,018	0,018
24	0,120	0,120	0,014	0,014	0,100	0,100
25	0,120	0,120	0,016	0,016	0,120	0,120
26	0,100	0,120	0,016	0,016	0,120	0,120
27	0,100	0,120	0,015	0,015	0,018	0,120
28	Não há	Não há	0,013	0,013	Não há	Não há
29	0,120	0,120	0,013	0,013	0,100	0,100
30	0,120	0,120	0,013	0,013	0,120	0,120
31	0,120	0,120	0,013	0,013	0,120	0,120
32	0,120	0,120	0,013	0,013	0,120	Não há
33	Não há	0,120	0,013	0,013	0,120	Não há
34	0,020	0,020	0,013	0,013	0,018	0,018
35	0,100	0,120	0,014	0,014	0,100	0,120
36	0,120	0,100	0,014	0,014	0,100	0,120
37	0,120	0,100	0,015	0,015	0,100	0,120
38	0,100	0,018	0,013	0,013	0,018	0,100
39	0,100	0,018	0,014	0,014	0,018	0,100
40	0,100	0,018	0,015	0,015	0,018	0,100
41	0,140	0,100	0,013	0,013	0,100	0,140
42	0,100	0,018	0,013	0,013	0,018	0,100
43	0,100	0,016	0,013	0,013	0,100	0,100
44	0,022	0,022	0,013	0,013	0,018	0,018
45	0,120	0,120	0,014	0,014	0,120	0,120
46	0,120	0,018	0,013	0,013	0,018	0,120
47	0,120	0,018	0,013	0,013	0,018	0,120

Tabela 32 – “n” de Manning médio para os componentes da seção transversal que contribuem para a vazão longitudinal

Segmento	“n” médio à esquerda	“n” médio à direita	Segmento	“n” médio à esquerda	“n” médio à direita
11	0,062	0,020	30	0,080	0,069
12	0,012	∞	31	0,069	
13	∞	0,016	32		
14		0,021	33	∞	
15	0,078	0,079	34		∞
16	∞	0,011	35	0,048	
17	0,067	0,037	36	0,068	
18	0,062	0,058	37	0,073	
19	0,063	0,039	38	∞	
20	0,009	0,011	39	0,013	
21	0,053	0,013	40	0,045	0,078
22	0,051	0,058	41	0,097	0,103
23	0,009	0,010	42	∞	0,066
24	0,068	0,013	43	0,048	0,067
25	0,070	0,074	44	0,014	0,011
26	0,045	0,049	45	∞	
27		0,051	46	0,078	∞
28	∞	∞	47	∞	
29	0,078	0,063			
Legenda:	∞	A declividade transversal é para fora, essa área não contribui para a vazão no canal longitudinal (ver Tabela 15)			

Para estimar *capacidade hidráulica* e as condições de fluxo pelos canais longitudinais solicitados com a vazão estimada, usaram-se as informações expostas nas Tabela 30 e Tabela 31 e as hipóteses sobre contribuição à seção de vazão de área correspondente aos seiscentos metros de comprimento de cada segmento.

Fornecidos os dados relatados nas Tabela 30 e Tabela 31, e adotada a hipótese de que o canal longitudinal pudesse ter a largura máxima de um metro (Figura 18), os dados foram processados conforme o item 4.1, usando-se o programa para computador FLOWMASTER (HAESTAD, 1999). As Tabela 33 e Tabela 34 resumem os resultados obtidos.

Figura 18 – Esquema de canal longitudinal hipotético

Tabela 33 – Capacidade e características de fluxo nos canais longitudinais de segmentos, lado esquerdo da via, observador no sentido Araraquara Gavião Peixoto

Segmento	"n" de Manning	Capacidade hidráulica (m³/s)	Energia (m)	Número de Froude
11	0,100	0,059	0,020	0,350
12	0,100	0,102	0,020	0,400
13	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,000
15	0,017	0,053	0,010	1,080
16	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,100	0,270	0,050	0,330
18	0,100	1,361	0,100	0,510
19	0,120	0,495	0,070	0,370
20	0,018	2,390	0,110	1,950
21	0,117	0,272	0,040	0,450
22	0,025	1,036	0,060	1,580
23	0,015	0,034	0,010	1,830
24	0,120	1,109	0,100	0,410
25	0,120	0,022	0,010	0,250
26	0,019	0,226	0,020	1,820
27	0,000	0,000	0,000	0,000
28	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,120	0,361	0,050	0,350
30	0,120	0,002	0,002	0,210
31	0,120	0,289	0,040	0,380
32	0,000	0,000	0,000	0,000
33	0,000	0,000	0,000	0,000
34	0,000	0,000	0,000	0,000
35	0,110	0,273	0,050	0,220
36	0,104	0,195	0,040	0,280
37	0,105	0,332	0,060	0,270
38	0,000	0,000	0,000	0,000
39	0,013	8,037	0,330	2,380
40	0,032	1,924	0,070	1,020
41	0,103	0,398	0,060	0,400
42	0,000	0,000	0,000	0,000
43	0,032	0,996	0,050	0,550
44	0,022	1,424	0,080	1,140
45	0,000	0,000	0,000	0,000
46	0,026	0,906	0,050	0,900
47	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 34 – Capacidade e características de fluxo nos canais longitudinais, lado direito da via, observador no sentido Araraquara Gavião Peixoto

Segmento	"n" de Manning	Capacidade hidráulica (m³/s)	Energia (m)	Número de Froude
11	0,020	18,036	0,730	2,210
12	0,000	0,000	0,000	0,000
13	0,015	0,646	0,050	1,750
14	0,029	0,068	0,010	0,920
15	0,120	0,004	0,010	0,140
16	0,013	46,844	1,400	4,370
17	0,022	0,268	0,030	1,350
18	0,105	0,501	0,060	0,440
19	0,126	0,287	0,040	0,330
20	0,018	1,569	0,090	1,900
21	0,013	55,315	1,900	5,160
22	0,056	1,364	0,080	0,800
23	0,015	0,045	0,010	1,880
24	0,013	13,157	0,650	3,890
25	0,120	0,092	0,030	0,290
26	0,120	0,367	0,050	0,350
27	0,024	0,047	0,010	1,180
28	0,000	0,000	0,000	0,000
29	0,100	0,276	0,040	0,410
30	0,120	0,371	0,060	0,360
31	0,000	0,000	0,000	0,000
32	0,000	0,000	0,000	0,000
33	0,000	0,000	0,000	0,000
34	0,000	0,000	0,000	0,000
35	0,000	0,000	0,000	0,000
36	0,000	0,000	0,000	0,000
37	0,000	0,000	0,000	0,000
38	0,000	0,000	0,000	0,000
39	0,000	0,000	0,000	0,000
40	0,040	0,664	0,050	0,790
41	0,110	0,470	0,060	0,380
42	0,047	0,933	0,070	0,670
43	0,100	0,618	0,070	0,180
44	0,018	1,917	0,080	1,370
45	0,000	0,000	0,000	0,000
46	0,000	0,000	0,000	0,000
47	0,000	0,000	0,000	0,000

8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS

As Tabela 35 e Tabela 36 resumem a lista sobre as variáveis características de equipamentos para drenar e de componentes das seções transversais de vias. Estas participaram dos estudos sobre a existência de relações entre características geométricas das seções transversais, o estado de equipamentos para drenar, características do movimento de água pelos segmentos e a qualidade de pavimentos do ponto de vista de usuários das vias observadas, usando a análise de regressão.

A fonte das informações contidas na Tabela 35 é FREITAS (2000). A lista de variáveis na Tabela 36 é um acréscimo ao conjunto de variáveis, cujas relações com a qualidade de viagem, foram analisadas.

Tabela 35 – Medidas sobre variáveis características de de equipamentos para drenar e propriedades da seção transversal de rodovia para análise de regressão
[Fonte: FREITAS (2000)]

Tipo de variável	Variável	Tipo de variável	Variável
Propriedades dos equipamentos para drenar	Existência de equipamentos	Declividades na seção transversal	Lateral esquerda
	Estado de conservação		Acostamento esquerdo
	Estado do revestimento		Faixa de tráfego esquerda
	Limpeza de equipamento		Faixa de tráfego direita
	Capacidade		Acostamento direito
	Existência de acúmulo de água		Lateral direita
	Obstáculos	Larguras na seção transversal	Lateral esquerda
	Erosão		Acostamento esquerdo
	Saídas		Faixa de tráfego esquerda
	Presença de vegetação		Faixa de tráfego direita
	Declividades		Acostamento direito
			Lateral direita

Tabela 36 – Medidas sobre variáveis características de equipamentos para drenar e propriedades do movimento de água pela rodovia acrescentadas à análise de regressão

Tipo de variável	Variável
Para estimativas de vazão solicitante e infiltração	Áreas contribuintes para vazão em canal longitudinal para a esquerda do eixo para a direita do eixo
	Coefficientes de escoamento superficial na seção transversal
	Da lateral à esquerda do eixo à direita do eixo
	Do acostamento à esquerda do eixo à direita do eixo
	Da faixa de tráfego à esquerda do eixo à direita do eixo
	Coefficientes de escoamento superficial médios
	Das áreas contribuintes para a esquerda do eixo a direita do eixo
	Vazões solicitantes de canais longitudinais
	Das áreas contribuintes para a esquerda do eixo a direita do eixo
	Declividade longitudinal de canais longitudinais à esquerda do eixo à direita do eixo
Para estimativas de capacidade hidráulica de canais longitudinais e classificação de tipo de regime de fluxo	“n” de Manning da área de vazão de canal longitudinal à esquerda do eixo à direita do eixo
	Capacidade de vazão de canal longitudinal à esquerda do eixo à direita do eixo
	Energia específica de partículas de água
	Em canais longitudinais à esquerda do eixo à direita do eixo
	Número de Froude
	Em canais longitudinais à esquerda do eixo à direita do eixo
	“n” de Manning na seção transversal
	Da lateral à esquerda do eixo à direita do eixo
	Do acostamento à esquerda do eixo à direita do eixo
	Da faixa de tráfego à esquerda do eixo à direita do eixo
	“n” de Manning médio para componentes da seção transversal Das contribuições a canais à esquerda do eixo à direita do eixo

As Tabela 37 e Tabela 38 resumem as referências para consulta aos dados

Tabela 37 – Referências sobre localização de dados de medidas características de equipamentos para drenar e propriedades da seção transversal de rodovia para análise de regressão quando a fonte foi FREITAS (2000)

Tipo de variável	Variável	Referência	Tipo de variável	Variável	Referência
Propriedades dos equipamentos para drenar	Existência de equipamentos	Tabela 20	Declividades na seção transversal	Lateral esquerda	Tabela 15
	Estado de conservação			Acostamento esquerdo	
	Estado do revestimento			Faixa de tráfego esquerda	
	Limpeza de equipamento			Faixa de tráfego direita	
	Capacidade			Acostamento direito	
	Existência de acúmulo de água		Larguras na seção transversal	Lateral direita	Tabela 16
	Obstáculos			Lateral esquerda	
	Erosão			Acostamento esquerdo	
	Saídas			Faixa de tráfego esquerda	
	Presença de vegetação			Faixa de tráfego direita	
	Declividades			Acostamento direito	
				Lateral direita	

Tabela 38 – Medidas sobre variáveis características de equipamentos para drenar e propriedades do movimento de água pela rodovia acrescentadas à análise de regressão

Tipo de variável	Nome	Referência
Para estimativas de vazão solicitante e infiltração	Áreas contribuintes para vazão em canal longitudinal	Tabela 26
	Coefficientes de escoamento superficial	Tabela 27
	Coefficientes de escoamento superficial médios	Tabela 28
	Vazões solicitantes de canais longitudinais	Tabela 29
Para estimativas de capacidade hidráulica de canais longitudinais e classificação de tipo de regime de fluxo	Declividade longitudinal de canais longitudinais	Tabela 30
	"n" de Manning de área de vazão de canal longitudinal	Tabela 33 e Tabela 34
	Capacidade de vazão de canal longitudinal	
	Energia específica de partículas de água	Tabela 34
	Número de Froude	Tabela 31
	"n" de Manning na seção transversal	
	"n" de Manning médio para os componentes da seção transversal	Tabela 32

Para obter funções de estimativa dos conceitos emitidos pelos avaliadores o processo usado para manuseio de dados foi, a partir das distribuições de medidas sobre as variáveis listadas nas Tabela 35 e Tabela 36, e referenciadas nas Tabela 37 e Tabela 38 executar a “regressão linear passo a passo”(ver item 5) e interpretar os resultados obtidos.

Os conceitos e referências bibliográficas sobre a interpretação de resultados estão enunciados no item 5.

O programa para computador utilizado para processamento dos dados foi o STATISTICA (MATHSOFT, 1999).

A Tabela 39 resume os principais dados para controle de qualidade da função de regressão linear múltipla, obtida para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores aos segmentos observados.

Tabela 39 - Controle de qualidade da função de regressão linear múltipla para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores aos segmentos observados

Estatísticas	Interpretação
$R = 0,977$	$R(37) = 0,415$ [CHASE & BOWN, página A-22]
$R^2 = 0,955$	Logo, $R^2_{ajustado} = 0,901 > R(37) = 0,415$, e, há dependência entre as médias das notas fornecidas pelos avaliadores e o conjunto de variáveis usados para análise de regressão.
$R^2_{ajustado} = 0,901$	$F(18, 18) = 2,21$ [DRAPER & SMITH, página 533].
$F(18,18)=21,205$	Logo, $F(18; 18)_{estimado} = 21,205 > F(18;18; 0,05) = 2,21$, e existem relações lineares entre as médias das notas fornecidas pelos avaliadores e o conjunto de variáveis cujas medidas forneceram os coeficientes para a função de estimativa obtida por análise de regressão “passo a passo”.

A Tabela 40 contém um resumo de nomes das variáveis cujas medidas participam das estimativas, dos coeficientes de regressão obtidos por análise de regressão, e das estatísticas para controle de qualidade dos coeficientes da função para estimava de notas atribuídas pelos avaliadores.

Tabela 40 - Qualidade de coeficientes da função para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores

Variável	Coeficiente de Regressão	Estatística β de controle	t(18) de Student estimado	Qualidade do coeficiente [t(18)=2,101, segundo DRAPER & SMITH, página 532]	Probabilidade de não existir o coeficiente
Intercepto	0,762	Não há	0,710	Não significativo	0,487
Largura do acostamento à esquerda	0,746	0,577	6,610	Significativo	0,000
Declividade da lateral à direita	0,003	0,055	0,373	Não significativo	0,714
Declividade do acostamento à direita	-0,052	-0,189	-2,288	Significativo	0,034
Estado do revestimento	-0,091	-0,077	-1,157	Não significativo	0,263
Estado de conservação de canais	0,275	0,287	4,145	Significativo	0,001
Compatibilidade das saídas de água	-0,149	-0,148	-1,894	Não significativo	0,074
"n" de Manning do acostamento à direita	-3,585	-0,228	-0,939	Não significativo	0,360
"n" de Manning do canal à direita	-0,825	-0,050	-0,216	Não significativo	0,831
"n" de Manning da lateral à direita	-6,113	-0,402	-1,523	Não significativo	0,145
"n" de Manning do acostamento esquerdo	-14,197	-0,786	-5,121	Significativo	0,000
"n" de Manning do canal à esquerda	10,365	0,572	2,901	Significativo	0,010
Declividade da lateral à esquerda	0,009	0,168	2,305	Significativo	0,033
Acúmulo de água	-0,193	-0,192	-2,302	Significativo	0,034
Declividade da faixa de tráfego à direita	-0,018	-0,047	-0,757	Não significativo	0,459
"n" médio da seção transversal, canal à direita	10,852	0,401	1,575	Não significativo	0,133
Número de Froude do canal à direita	-0,355	-0,539	-2,741	Significativo	0,013
Capacidade do canal à direita	0,032	0,463	2,508	Significativo	0,022
Largura da faixa de tráfego à esquerda	0,517	0,144	1,600	Não significativo	0,127

A Tabela 41 expõe uma notação elaborada para representar cada uma das variáveis que participam das estatísticas para controle de qualidade.

Tabela 41 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos

Variável	Notação
Intercepto	Y_1
Largura do acostamento à esquerda	X_1
Declividade da lateral à direita	X_2
Declividade do acostamento à direita	X_3
Estado do revestimento	X_4
Estado de conservação de canais	X_5
Compatibilidade das saídas de água	X_6
“n” de Manning do acostamento à direita	X_7
“n” de Manning do canal à direita	X_8
“n” de Manning da lateral à direita	X_9
“n” de Manning do acostamento esquerdo	X_{10}
“n” de Manning do canal à esquerda	X_{11}
Declividade da lateral à esquerda	X_{12}
Acúmulo de água	X_{13}
Declividade da faixa de tráfego à direita	X_{14}
“n” médio da seção transversal, canal à direita	X_{15}
Número de Froude do canal à direita	X_{16}
Capacidade do canal à direita	X_{17}
Largura da faixa de tráfego à esquerda	X_{18}

Se adotarmos a notação exposta na Tabela 41, a função de estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores poderia ser escrita conforme se segue:

$$Y_1 = 0,762 + 0,746 X_1 + 0,003 X_2 - 0,052 X_3 - 0,091 X_4 + 0,275 X_5 - 0,149 X_6 + \\ - 3,585 X_7 - 0,825 X_8 - 0,613 X_9 + 14,197 X_{10} - 10,365 X_{11} + 0,009 X_{12} - 0,193 X_{13} + \\ - 0,018 X_{14} + 10,852 X_{15} - 0,355 X_{16} + 0,032 X_{17} + 0,517 X_{18}$$

Ou seja, o uso da análise de regressão “passo a passo”, para estudos de relações numéricas lineares entre notas atribuídas por avaliadores à qualidade de viagem pelos segmentos observados permitiu:

- Verificar que há dependência linear entre as medidas desse conjunto de variáveis porque o coeficiente de correlação linear é significativo (ver Tabela 39);

- b) Existem relações lineares (regressão) entre as médias das notas fornecidas pelos avaliadores e medidas sobre variáveis que caracterizem a seção transversal (larguras e declividades), qualidade dos equipamentos para drenar de vias;
- c) Das cinquenta e três variáveis usadas em , dezoito (ver Tabela 40) participariam das estimativas de explicações das notas fornecidas pelos avaliadores porque foram aceitas na função de estimativa;
- d) Mas, dez delas (ver Tabela 40) teriam (com os segmentos e dados levantados) coeficientes de regressão significativos na explicação da estimativa numérica das notas fornecidas à viagem ou qualidade dos pavimentos do ponto de vista dos que usam as rodovias observadas. O raciocínio pode ser estendido ao intercepto, também com coeficiente não significativo.

As ações das variáveis e a ordem numérica de módulos de coeficientes que participam da função de estimativa das notas (ver Tabela 40 e Tabela 42) pode ser útil para indicar a ordem de prioridade das ações sobre características de seções transversais, de estado de equipamentos para drenar e variáveis de classificação de movimento de água pela via para controle da aceitação das viagens pelos que usam rodovias (e eventuais relações com os pavimentos e sua qualidade).

Um raciocínio que pode orientar sugestões para identificar recomendações de ações e sujeitos de intervenção na rodovia é classificar, em ordem crescente, o módulo dos coeficientes (que podem ser interpretados como a medida do “volume de participação” das medidas de dada variável). Quanto menor o coeficiente, maior a possibilidade de alterar a distribuição de notas fornecidas pelos avaliadores, ou seja, pelos que usam a via.

A Tabela 42 ilustra a ordem numérica de coeficientes, ordem crescente, e resume algumas das indicações que podem ser obtidas discutindo ações sobre as variáveis estudadas e suas relações.

Tabela 42 - Ordem numérica de coeficientes associados às variáveis que mais participam da função de estimativa das notas e indicações sobre explicações sobre qualidade de viagem

Variável	Coeficiente Regressão	Sugestões decorrentes
Declividade da lateral à direita	0,003	Há necessidade de intervenção nas declividades das laterais (ver Figura 19)
Declividade da lateral à esquerda	0,009	
Declividade da faixa de tráfego à direita	0,018	
Capacidade do canal à direita	0,032	O canal e acostamento à direita provocam sensação de desconforto (ver Figura 20)
Declividade do acostamento à direita	0,052	
Estado do revestimento	0,091	O Revestimento e acúmulo de água contribuem para sensação de desconforto e há necessidade de interferência (ver Figura 21)
Compatibilidade das saídas de água	0,149	
Acúmulo de água	0,193	
Estado de conservação de canais	0,275	
Número de Froude do canal à direita	0,355	Ocorrem erosões nos segmentos observados (ver Figura 22)
Largura da faixa de tráfego à esquerda	0,517	(Ver Figura 20)
Largura do acostamento à esquerda	0,746	
"n" de Manning do canal à direita	0,825	A rugosidade interfere em todo o processo de drenagem
"n" de Manning do acostamento à direita	3,585	
"n" de Manning da lateral à direita	6,113	
"n" de Manning do canal à esquerda	10,365	
"n" médio da seção transversal, canal à direita	10,852	
"n" de Manning do acostamento esquerdo	14,197

Figura 19 – Fotos que ilustram a necessidade de intervenção nas declividades laterais

Figura 20 – Fotos que ilustram que canal e acostamento à direita provocam sensação de desconforto nas rodovias estudadas

Figura 21 - Fotos que ilustram que revestimento e acúmulo de água contribuem para sensação de desconforto e há necessidade de interferência

Figura 22 - Foto que ilustra erosão nos segmentos observados

9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho relata e discute resultados obtidos em tentativa para mostrar que a distribuição de notas atribuídas às viagens por segmentos de rodovias, o formato da seção transversal e medidas sobre variáveis que classifiquem o estado ou o funcionamento de equipamentos para drenar água superficial, podem classificar e identificar informações que contribuam na manutenção ou construção de componentes de vias. Estas informações podem tornar possíveis melhorias nos serviços prestados pela superfície de pavimentos ao tráfego de veículos, e, por consequência, na qualidade de viagens por rodovias.

Conclusões obtidas após processamento de dados levantados sobre um estudo de caso e observações a um conjunto de rodovias vicinais próximo à Araraquara, estado de São Paulo, indicam mais um uso para a análise de regressão linear múltipla passo a passo: acrescentar ao estudo das relações entre variáveis que caracterizem componentes de seções transversais de rodovias, ou estado de equipamentos para drenar água variáveis que medem ações físicas provocadas pelo movimento da água de chuva pela superfície do corpo de vias. As 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 foi um eficiente controle para identificar e classificar tais tipos de relações.

Mais uma vez, a estrutura de tratamento de notas por avaliadores, 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 uma forma de uso da estimativa de índices para medir a qualidade de serviços prestados pelos pavimentos ao tráfego de veículos associada à avaliação de relações entre componentes da via.

Agora se pode falar que a classificação de variáveis cujas medidas qualifica relações entre movimento de água de chuva pela superfície das vias, quando associada a medidas sobre o formato da seção transversal e de elementos específicos para drenar, participam não só da condução e controle do fluxo de água, como são percebidas pelos Humanos e fornecem elementos que definem sensações de conforto e segurança dos que usam as vias.

A análise estatística sobre distribuições de medidas sobre características de componentes da via e do movimento de água pela superfície é um instrumento que contribui 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.

Esse trabalho contém uma das parcelas de detalhamento e ampliação da discussão de aplicações da análise estatística para explicar parcelas de relações da qualidade de viagens em estradas vicinais 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 contidas nas sugestões de MELO (1998), PADULA (1999), FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000).

Identificar variáveis através de consultas a grupo de indivíduos em painéis para discussão do comportamento do processo de qualidade de viagens usando a técnica do oráculo de Delfos, 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 de equipamentos para drenar rodovias. Isso vem somar-se ao exposto em MELO (1998), PADULA (1999), FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000).

A ampliação do universo de dados é uma sugestão que sempre vai constar de todo e qualquer trabalho similar ao aqui relatado. Sugere-se também investir para desenvolver métodos e processos que facilitem especificação de serviços com critérios de avaliação sobre o comportamento de equipamentos das vias.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). "NBR ISO 8402 Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade – Terminologia". Rio de Janeiro.
- AL-OMARI, B.; DARTER, M. I. (1994). *Relationships between international roughness index and present serviceability rating*. Transportation Research Record, n.1435, p. 130 - 136.
- AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1994). *A Policy on Geometric Design of Highway and streets*. Washington D.C.
- AASHO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS (1962). *"The AASHO roads test: report 5 - pavement research"* - HRB Special Report 61 E - Washington, D. C.
- AUSTROADS - *Roads maintenance practice*. (1991), Sydney.
- BARROW, W. J. (1993). *"Does Total Quality Management Equal Organizational Learning?"*. America Society of Quality Control, Milwaukee – WI, v. 26 número 7.
- CAREY, W. N.; IRICK, P. E. (1960). *The pavement serviceability - performance concept*. Highway Research Board, 250. p. 40 - 58.
- CDT - CALIFÓRNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. (1988). *Highway Design Manual*. California.
- CHAMBERLIN, P.W. (1995). *"Performance-Related Specifications for Highway Construction and Rehabilitation"*. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- CHASE, W. & BOWN, F. (1992). *General statistics*. JOHN WILEY.

- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1986). *Drenagem urbana. Manual de projeto*. 3a. edição. CETESB. São Paulo.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1977). *Primeiro esboço de Normas para o projeto geométrico de rodovias*. DNER, Rio de Janeiro.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1978). *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos*. Procedimento DNER - PRO 07-78. Rio de Janeiro.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1980). *Instruções para drenagem de rodovias*. DNER, Rio de Janeiro.
- DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1990). *Manual de drenagem de rodovias*. DNER, Rio de Janeiro.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. (1981) *Applied regression analysis*. Second Edition. Wiley.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1984). *"Drainage of Highway Pavements"*. United States Department of Transportation. Circular N°. 12. Virginia.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1983). *Hidraulic design of energy dissipators for culverts and channels*. FHWA, Washington D.C.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1986). *Drainage of roadside channels with flexible linings*. FHWA, Washington D.C.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1991) *Stream stability at highway structures*. FHWA, 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.

- 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.
- FIPAI - FUNDAÇÃO PARA O INCREMENTO DA PESQUISA E DO APERFEIÇOAMENTO INDUSTRIAL (1995). *Sistema Macro-drenagem Urbana da Cidade de Araraquara*. Escola de Engenharia de São Carlos - USP
- GARG, A.; HOROWITZ, A.; ROSS, F. (1988). *Estabilishing relationships between pavement roughness and perception of acceptability*. *Transport Research Record*, n. 1196, p. 276 - 285.
- GUALDA et al. (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 et al. (1994). *Correlation of present serviceability rating with international roughness index*. *Transportation Research Record*, n. 1435, p. 27 - 37.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R. (1996). *Defining and serving clients for pavements*. *Transportation Research Board*, n. 1524, p. 1 - 9.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern pavement management*. Malabar / Florida, Krieger Publishing Company. Cap. 10, p. 131 - 153.
- HAESTAD METHODS. (1999). *Computer Applications in Hidraulics Engineering*. 3a. edição. Haestad Press, Waterbury.
- HOFFMANN, R. & VIEIRA, S. (1977). *Análise de regressão. Uma introdução à econometria*. EDUSP. São Paulo.
- HUDSON, W. R. (1991). *Are pavements buit for the user?* *ASTM Standardization News*. v. 19, n. 2, p. 42 - 51.

- JURAN, J.M. (1992). *A qualidade desde o projeto: novos passos para planejamento da qualidade em produtos e serviços*. Traduzido por Nivaldo Montinqueli Jr. São Paulo. Editora Pioneira.
- MARQUES, C. S. A. (1999). *Normas NBR ISO 9000 e qualidade de pavimentos*. São Carlos. 139p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 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.
- 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.
- PADULA, F.R.G. (1999). *Qualidade de pavimentos e auditoria*. São Carlos Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- PEIXOTO JR, T.L.; FELEX, J.B. (1997). *Mecânica dos solos e hidrologia aplicada a pequenas obras*. 2a. edição. Rhodia-Ster, São Paulo.
- PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A. (1973). *Hidrologia de superfície*. 2a. edição. Centro de Estudos de Hidráulica e Hidrologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- TRB - TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1991). "Innovative Contracting Practices". Washington, D.C. n. 386.
- 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.
- WALKER, D. M.; SCHERER, P. (1987). *Roadway Management for Local Roads*. *Transportation Research Record*, n. 1106, p. 23 – 28.

PFAFSTETTER, OTTO (1957). *Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos*. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Rio de Janeiro.