

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

**QUALIDADE DE VIAGENS E MANUTENÇÃO DE
EQUIPAMENTOS DE DRENAGEM DE RODOVIAS
NA REGIÃO DE ARARAQUARA, ESTADO DE
SÃO PAULO, BRASIL**

Rogério Lemos Ribeiro

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: Infra-Estrutura de Transportes”.

Orientador: Professor Titular Doutor José Bernardes Felex

São Carlos

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Engenheiro **ROGÉRIO LEMOS RIBEIRO**

Título: Qualidade de viagens e manutenção de equipamentos de drenagem de rodovias

**Dissertação defendida e aprovada em xx/xx/2006
pela Comissão Julgadora:**

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

Professor

Professor

Professor Doutor José Leomar Fernandes Júnior
Coordenador da Área de Transportes

Professora Titular Doutora Maria do Carmo Calijuri
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

Aos meus pais

Laerte Antonio Ribeiro e Elza Ferrante Ribeiro.

Aos meus irmãos

Eliana, Laércio, Cacilda, Ronaldo e Rodrigo Ribeiro. Por todo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa e incentivo;

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

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

À minha Esposa Aline Nahás Matiello Ribeiro pela dedicação e compreensão;

Aos amigos e colegas do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, em especial ao Adson, Ana Paula Laroca, Antonio, Cida, Cynthia, Dani, Deise, Eliana Fernandes, Idalíria, João Olympio, Jorge Chueiri, Lucas, Mário Garrido, Mário Yamada, Prof^a Marilda, Rodrigo, Shirley e Vivian.

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

SUMÁRIO

1	<i>INTRODUÇÃO.....</i>	<i>1</i>
1.1	Generalidades sobre rodovias	1
1.2	Drenagem em rodovias vicinais	2
1.3	Objetivo e método	3
1.4	Estrutura do trabalho	4
2	<i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE RODOVIAS E QUALIDADE DE VIAGENS.....</i>	<i>5</i>
2.1	Formato de rodovias	6
2.2	Qualidade de viagens em rodovias	11
2.3	Seção transversal de rodovias e drenagem	16
3	<i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE HIDROLOGIA E HIDRÁULICA APLICADA A RODOVIAS</i>	<i>19</i>
3.1	Hidrologia aplicada aos canais para drenar	19
3.2	Hidráulica de canais para drenar rodovias	30

3.3	Trabalhos anteriores que relacionam drenagem com qualidade de viagens.....	36
4	<i>ESTUDO DE CASO</i>	46
4.1	Análise de regressão.....	46
4.2	Obtenção de dados e argumento.....	53
4.3	Processamento de dados	72
5	<i>ANÁLISE DE RESULTADOS DE USO DA FUNÇÃO DE ESTIMATIVA</i>.....	75
5.1	Ordem de prioridade de intervenções	75
5.2	A comparação entre estimativas e notas de avaliadores	77
5.3	Ilustração de evidências da validade das relações identificadas pelo estudo da função de estimativa.....	80
6	<i>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</i>.....	100
7	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	102

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Perspectiva de um segmento de rodovia.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 – Imagem básica de uma seção transversal de rodovias.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3 – O processo de drenagem nas rodovias</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4 – Ilustração do conceito de bacia hidrográfica [PEIXOTO JR. & FELEX, 1997]</i>	<i>20</i>
<i>Figura 5 – Série histórica de alturas máximas de chuva em Chibarro, no papel de GUMBEL. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	<i>28</i>
<i>Figura 6 – Esquema da geometria de canais</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7 – Clinômetro desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8 – Canal longitudinal hipotético ao lado do acostamento (PALMA, 2000)</i>	<i>44</i>
<i>Figura 9 – Segmentos de rodovias analisados, 72km próximos à Araraquara, estado de São Paulo, Brasil [Fonte: PADULA (1999)].....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 10 – Esquema de segmentos observados.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 11 – Esquema de nomenclatura e descrição dos segmentos observados</i>	<i>55</i>
<i>Figura 12 – Ficha de avaliação de qualidade de viagem em campo</i>	<i>61</i>
<i>Figura 13 – Comparação entre notas obtidas com a função de estimativa e as médias de notas emitidas pelos avaliadores</i>	<i>78</i>
<i>Figura 14 - Aparência do segmento 24.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 15 - Aparência do segmento 19.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 16 - Aparência do segmento 15.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 17 - Aparência do segmento 50.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 18 - Aparência do segmento 28.....</i>	<i>82</i>

<i>Figura 19 - Aparência do segmento 13.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 20 - Aparência do segmento 53.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 21 - Aparência do segmento 14.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 22 - Aparência do segmento 43.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 23 - Aparência do segmento 26.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 24 - Aparência do segmento 31.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 25 - Aparência do segmento 46.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 26 - Aparência do segmento 52.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 27 - Aparência do segmento 35.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 28 - Aparência do segmento 49.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 29 - Aparência do segmento 51.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 30 - Aparência do segmento 42.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 31 - Aparência do segmento 25.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 32 - Aparência do segmento 22.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 33 - Aparência do segmento 12.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 34 - Aparência do segmento 20.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 35 - Aparência do segmento 16.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 36 - Aparência do segmento 21.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 37 - Aparência do segmento 45.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 38 - Aparência do segmento 48.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 39 - Aparência do segmento 39.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 40 - Aparência do segmento 18.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 41 Aparência do segmento 41.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 42 - Aparência do segmento 47.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 43 - Aparência do segmento 30.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 44 - Aparência do segmento 17.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 45 - Aparência do segmento 23.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 46 - Aparência do segmento 27.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 47 - Aparência do segmento 11.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 48 - Aparência do segmento 29.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 49 - Aparência do segmento 38.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 50 - Aparência do segmento 54.....</i>	<i>96</i>

<i>Figura 51 - Aparência do segmento 40.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 52 - Aparência do segmento 32.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 53 - Aparência do segmento 37.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 54 - Aparência do segmento 44.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 55 - Aparência do segmento 34.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 56 - Aparência do segmento 36.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 57 - Aparência do segmento 33.....</i>	<i>99</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Componentes de seção transversal de rodovias</i>	8
<i>Tabela 2 – Coeficiente de escoamento superficial [Fonte: DNER, 1990]</i>	23
<i>Tabela 3 – Multiplicador entre as alturas de chuvas máximas de “Idia” e “24 horas” para a cidade de São Paulo. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	24
<i>Tabela 4 – Multiplicadores para estimativa de alturas de chuva no Brasil. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	24
<i>Tabela 5 – Máximas alturas de chuva diárias em Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	25
<i>Tabela 6 – Análise de frequência da série histórica de alturas de chuva em Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	26
<i>Tabela 7 – Alturas de chuva máximas diárias estimadas pelo método de Gumbel para Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	28
<i>Tabela 8 – Alturas de chuva (mm) estimadas para Chibarro. [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	29
<i>Tabela 9 – Intensidade de chuva estimada em Chibarro (mm/min). [Fonte: FIPAI (1995)]</i>	29
<i>Tabela 10 – Coeficiente de rugosidade de Manning. [Fonte: DNER, 1990]</i>	32
<i>Tabela 11 - Velocidades máximas da água antes do processo de erosão [Fonte: DNER (1980)]</i>	33
<i>Tabela 12 – Critérios para classificar o movimento de água em canais</i>	35
<i>Tabela 13 – Estudos sobre características de componentes físicos de rodovias e relações com a qualidade de viagens ou de pavimentos</i>	38
<i>Tabela 14 - Variáveis selecionadas para estudos sobre o estado de equipamentos para drenar [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	40
<i>Tabela 15 – Classificação do estado de elementos para drenar (WALKER & SCHERER, 1987)</i>	41
<i>Tabela 16 - Critérios para atribuição de notas a estado de equipamentos para drenar [Fonte: FREITAS (2000)]</i>	42
<i>Tabela 17 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos</i>	42

<i>Tabela 18 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos</i>	45
<i>Tabela 19 - Análise de variância na regressão linear múltipla</i>	49
<i>Tabela 20 – Médias de declividades transversais nos segmentos observados (%) (convenção: sinal positivo, elemento para cima do plano horizontal)</i>	57
<i>Tabela 21 – Médias de larguras nos segmentos observados (m)</i>	58
<i>Tabela 22 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar após manutenção e reconstrução (parte 1). [Fonte: ÁVALOS (2005)]</i>	59
<i>Tabela 23 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar, após manutenção e reconstrução (parte 2).[Fonte: ÁVALOS (2005)]</i>	60
<i>Tabela 24 – Número de ocorrências de notas sobre qualidade de viagens nos segmentos observados, após manutenção e reconstrução, para cada um dos 44 segmentos avaliados</i>	62
<i>Tabela 25 - Áreas estimadas de contribuição à vazão na seção extrema dos canais longitudinais</i>	63
<i>Tabela 26 – Coeficientes de escoamento superficial avaliados em campo</i>	65
<i>Tabela 27 – Coeficientes de escoamento médios nos segmentos observados nos segmentos</i>	66
<i>Tabela 28 – Vazões solicitantes da seção extrema de canais longitudinais para drenar</i>	67
<i>Tabela 29 – Declividades longitudinais do eixo de segmentos estudados</i>	67
<i>Tabela 30 – Coeficientes de rugosidade de Manning avaliados em campo</i>	68
<i>Tabela 31 – “n” de Manning médio para os componentes da seção transversal que contribuem para a vazão em canal longitudinal</i>	69
<i>Tabela 32 – Capacidade e características de fluxo nos canais longitudinais de segmentos, lado esquerdo da via, observador no sentido Araraquara Gavião Peixoto</i>	70
<i>Tabela 33 – Capacidade e características de fluxo nos canais longitudinais, lado direito da via, observador no sentido Araraquara Gavião Peixoto</i>	71
<i>Tabela 34 – Existência e significância de coeficientes da função para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores após reconstrução e manutenção de segmentos de rodovia</i>	73

<i>Tabela 35 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos</i>	74
<i>Tabela 36 – Ordem de prioridade de intervenção nos segmentos observados</i>	76
<i>Tabela 37 - Ordem de coeficientes de regressão associados às variáveis que mais participam da função de estimativa das notas e indicações sobre explicações sobre qualidade de viagem</i>	77
<i>Tabela 38 – Estimativa de notas usando a função de estimativa obtida</i>	77
<i>Tabela 39 – Diferenças e médias de diferenças entre estimativas e notas de avaliadores</i>	79

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

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

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transportes

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

RIBEIRO, R. L. (2006). Qualidade de viagens e manutenção de equipamentos de drenagem de rodovias na região de Araraquara, estado de São Paulo, Brasil. São Carlos, 2006. 106p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RESUMO

As características de estado de componentes de drenagem de setenta e dois quilômetros de rodovias vicinais próximas a Araraquara, estado de São Paulo, que foram submetidos à reconstrução e manutenção durante os anos 2001 e 2003 puderam ser medidas em campo e as características do movimento de água puderam ser simuladas usando estimativa de vazões. Ainda, a qualidade de viagem por estes segmentos pode ser levantada por opiniões de avaliadores treinados para observação de pavimentos. O trabalho relata e discute resultados obtidos ao mostrar que a análise de regressão é eficiente para identificar processos que definam a ordem de prioridade de manutenção de dispositivos de drenagem de segmentos de vias e orientar a escolha de ações coerentes com a melhoria de qualidade de viagens por rodovias, que coincide com a proteção dos pavimentos. Os dados utilizados foram avaliações por avaliadores treinados, levantamentos de estado de seções das vias, e estimativa de condições de escoamento de água por simulação em computadores. Espera-se que a informação sobre o comportamento de relações entre notas e propriedades de dispositivos de drenagem contribua para orientar critérios e métodos que definam prioridades de ações para reconstruir, manter e melhorar a qualidade de viagens em rodovias e proteger pavimentos e faixa de domínio.

Palavras-chave: rodovias, qualidade de viagem, drenagem, desempenho, simulação

ABSTRACT

RIBEIRO, R. L. (2006). Quality of trips and maintenance of equipments of drainage of highways in the Araraquara Region, State of São Paulo, Brazil. São Carlos, 2006. 106p. Dissertation (Master's degree) - Engineering School of São Carlos, University of São Paulo.

The characteristics of state of components of drainage of seventy two kilometers of local highways close to Araraquara, state of São Paulo, Brazil, submitted to reconstruction and maintenance during the years 2001 and 2003 could be measured in field and the characteristics of water movement could be simulated using estimated flows. Still, the trip quality for these segments can be lifted up from user's opinions trained to observe pavements. The work discusses results obtained when showing that the regression analysis is efficient to identify processes to define the order of priority of maintenance of equipments of drainage on segments of roads and to guide the choice of coherent actions to improve the quality of trips for highways, because it coincides with the protection of the pavements. The used data were evaluations for trained appraisers, risings of state of sections of the roads, and estimate of conditions of drainage simulated in computers. It is waited that the information about the behavior of relationships between notes and properties of drainage equipments contributes to guide criteria and methods that define priorities of actions to rebuild, to maintain and to improve the quality of trips in highways and to protect pavements and the domain strip.

Keywords: highways, trip quality, drainage, performance, simulation

1 INTRODUÇÃO

Entende-se por *estradas de rodagem* as “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.

1.1 Generalidades sobre rodovias

Segundo o GEIPOT (2002), o Brasil tem uma malha rodoviária com uma extensão de 1.724.924 quilômetros de extensão, sendo que aproximadamente 9,5% (164.246 km) desse total são pavimentadas e a grande maioria (90,5%) ainda é constituída por estradas de terra. Estimativas feitas pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2001) mostram que as rodovias pavimentadas são subdivididas em 149.464 quilômetros (91% do total) de rodovias de pista simples e apenas 14.782 quilômetros (9% do total) de pista dupla.

Essa infra-estrutura rodoviária é responsável por transportar 62% do total da carga existente no Brasil e 96% do transporte interurbano de passageiros. Todos esses números revelam que o transporte rodoviário desempenha um papel fundamental na economia brasileira, seja transportando produtos agrícolas, industrializados, semi-industrializados ou até mesmo passageiros.

Segundo GEIPOT (2001) os investimentos nas rodovias do Brasil foram estimados em R\$1.397.792.000,00 (Um bilhão, trezentos e noventa e sete milhões, setecentos e noventa e dois mil reais). GEIPOT (2001) ressalta a importância da rodovia, o meio para transporte mais utilizado no Brasil. O volume de investimentos neste meio para transporte é grande para satisfazer as necessidades do país. Assim, a busca por características de rodovias que satisfaçam necessidades e expectativas de usuários deve ser uma constante. Rodovias devem ser construídas, mantidas ou reabilitadas para satisfazer necessidades e expectativas de motoristas e passageiros.

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 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. A estrutura por onde se iniciam as obras das rodovias vicinais são caminhos sem forma geométrica definida e há pouco investimento em equipamentos, tais como, para drenar ou revestir a superfície de vias. Por isso, as rodovias vicinais:

- a) Têm geometria, construção e manutenção com características compatíveis com o volume e tipo de veículos ou motoristas e passageiros que por elas trafegam;
- b) Determinam as relações sociais, econômicas e culturais de 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;
- c) 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 prestada ao transporte colocado disponível por essas vias.

1.2 Drenagem em rodovias vicinais

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, facilite o controle de teores de umidade, ou o movimento de água infiltrada nos solos ou outros componentes da estrutura da via.

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.

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 o conjunto “*formato e componentes (acostamentos, áreas laterais, faixas para tráfego) de toda a seção transversal*” é 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.

1.3 Objetivo e método

O objetivo principal desta dissertação é mostrar que a análise de regressão é eficiente para identificar processos para definir a ordem de prioridade de manutenção de equipamentos de drenagem de segmentos de vias e mesmo contribuir para orientar a escolha de ações coerentes com a melhoria de qualidade de viagens por rodovias.

O *método* usado para identificar os argumentos que permitiriam cumprir o objetivo especificado pode ser resumido 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 de rodovias e suas relações com a capacidade de equipamentos para drenar;
- d) 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;

- e) 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.

1.4 Estrutura do trabalho

Além dessa introdução, o trabalho está assim organizado:

- a) No capítulo 2, relatam-se tópicos sobre a forma de rodovias, qualidade de viagens e as primeiras relações entre a forma definida pela seção transversal de rodovias e a drenagem;
- b) No capítulo 3, expõem-se resultados de pesquisa bibliográfica que visou identificar as principais maneiras de se aplicar hidrologia e hidráulica à drenagem de rodovias. Também se resumem conclusões de análise sobre trabalhos que publicaram resultados de estudos que relacionam a drenagem e a qualidade de viagem por rodovias;
- c) O capítulo 4 contém uma breve explanação sobre análise de regressão, a obtenção de dados e argumentos, o levantamento e o processamento de dados. Também são expostos os dados obtidos e seu uso para obter a função de estimativa;
- d) No capítulo 5, a análise de resultados, se sugerem processos para definir a ordem de prioridade de intervenções sobre segmentos rodovias coerentes com a melhoria de qualidade de viagem, comparar estimativas obtidas através da função de estimativa, e orientar para uso de classificação de coeficientes de regressão para classificar necessidades de manutenção. E, ilustram-se ocorrências nos segmentos observados para verificar as deduções decorrentes.
- e) No capítulo 6, conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE RODOVIAS E QUALIDADE DE VIAGENS

Neste capítulo relatam-se tópicos sobre a forma de rodovias, qualidade de viagens e as primeiras relações entre a forma definida pela seção transversal de rodovias e a drenagem.

O arcabouço de conceitos aqui adotado para relacionar componentes de rodovias e qualidade de viagem provém, na sua maioria, de dissertações de mestrado ou teses de doutorado 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); DNER (1978); HUDSON (1991); AASHTO (1994); HAAS; HUDSON & ZANIEWSKI (1994); HAAS & HUDSON (1996); MELO (1998); PADULA (1999); MARQUES (1999), FREITAS (2000), VASCONCELOS (2000), PALMA (2000) e ÁVALOS (2005).

Para estudos sobre qualidade de viagens e suas relações com propriedades de componentes de rodovias, MELO (1998); PADULA (1999); MARQUES (1999), FREITAS (2000), VASCONCELOS (2000), PALMA (2000) e ÁVALOS (2005) são produtos do uso de rotinas relatadas em FELEX (1983) e FELEX (1990) para análise de relações entre economia e atividades e equipamentos de transporte 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 é metodologia que pode ser usado para estudo sobre outros problemas no transporte, em particular a avaliação de qualidade de viagens em rodovias, que depende da opinião de quem viaja, ou seus representantes.

Em resumo, são as seguintes as propostas para manuseio de dados expostos em FELEX (1983) e que foram utilizadas para orientar raciocínios usados nos trabalhos relatados em MELO (1998); PADULA (1999); MARQUES (1999), FREITAS (2000), VASCONCELOS (2000), PALMA (2000) e ÁVALOS (2005):

- 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.

2.1 Formato de rodovias

Formato é a forma, levando-se em conta as dimensões. Conceitos, formato e declividade de componentes de seção transversal são publicados em referências específicas, [AASHTO (1994), DNER (1977), etc.] que contêm informações para:

- a) Garantir o formato adequado ao atendimento de necessidades de condutores de veículos para dirigir-los sobre a via;
- b) Contribuir com a segurança na frenagem dos veículos;
- c) Contribuir para a eficiência da drenagem de água;
- d) Garantir a coerência nas relações ao pavimento;
- e) Contribuir com o conforto aos usuários.

A Figura 1 é uma perspectiva para representar um segmento de rodovia.

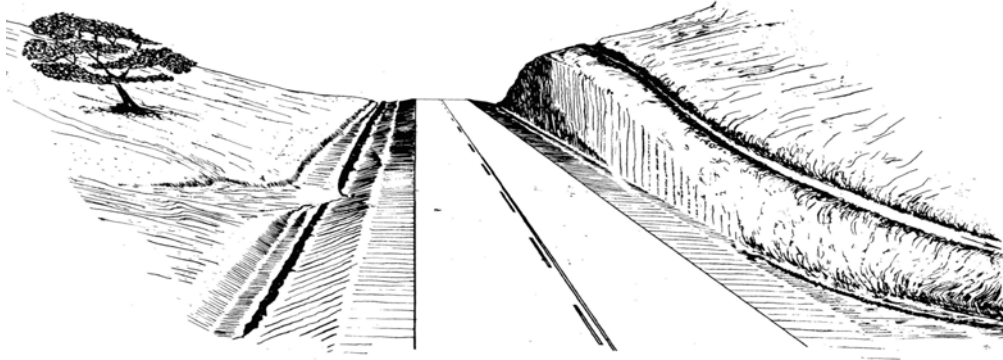


Figura 1 – Perspectiva de um segmento de rodovia (FREITAS, 2000)

Seções transversais são desenhos de projeções dos componentes da geometria de vias, usados para representar o formato em um plano perpendicular ao eixo. A Figura 2 ilustra a imagem básica de uma seção transversal.

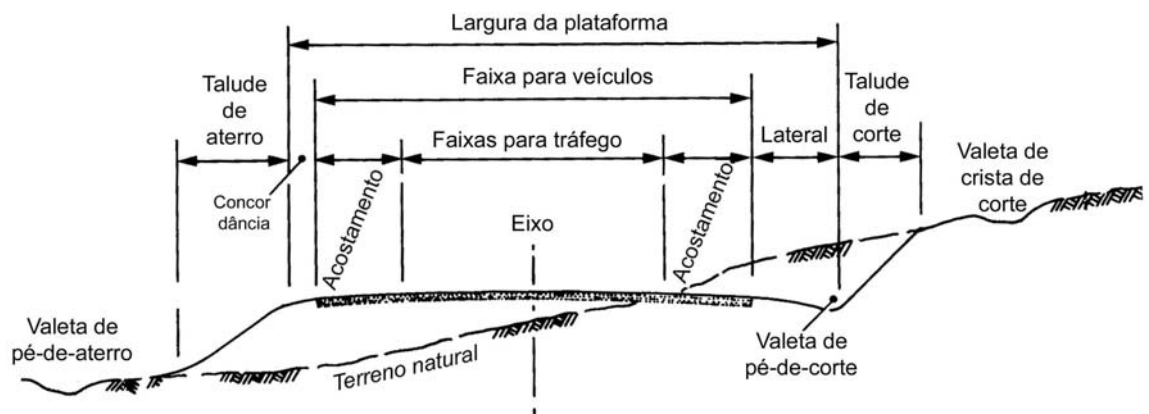


Figura 2 – Imagem básica de uma seção transversal de rodovias (FREITAS, 2000)

A Tabela 1 contém resumo de definições de componentes de vias representados em seções transversais.

Tabela 1 – Componentes de seção transversal de rodovias (FREITAS, 2000)

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

Segundo a AASHTO (1994), p. 424, a seção transversal deve:

- 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.

AASHTO (1994), p. 425, publica que a largura requerida da faixa de domínio é no mínimo a soma da largura de todos os componentes da seção transversal. Para DNER (1977), a largura livre para a faixa de domínio tem influência sobre as características de operação, estéticas e de segurança das vias.

Diz a AASHTO (1994), p. 334, que a capacidade de uma rodovia depende da largura de faixa para tráfego. Segundo a AUSTROADS (1993), faixa para tráfego se destina para o movimento normal do tráfego de veículos, e que a largura de faixa para

tráfego das rodovias vicinais deve ser de 3,5m. Entretanto, largura de 3,0m pode ser usada em rodovias de baixo volume de tráfego.

Acostamentos, AASTHO (1994), p.449, são uma parte contígua da faixa para tráfego de uma rodovia para acomodar veículos parados ou em emergências. A largura de acostamentos deve contribuir para conforto e segurança de motoristas, ciclistas, pedestres, e outros. Também contribuir para minimizar o volume de acidentes nas vias.

Segundo a AASHTO (1994), p. 339, ou SCHOON (1993), p. 42, a largura mínima para acostamentos de estradas de rodagem deve ser de 0,6m. O mais usual é que as larguras para acostamentos estejam entre 1,8m e 2,4m.

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.

Os *taludes* são superfícies que delimitam cortes e aterros. Os taludes devem ser adaptados à declividade transversal do terreno e poderão variar ao longo de cortes e aterros. Para o DNER (1977), os taludes com declividade adequada podem contribuir para:

- a) O conforto e a segurança do tráfego;
- b) Melhorar a visibilidade nas curvas em corte;
- c) A estabilidade dos componentes da via;
- d) Melhores condições para plantio de vegetação e paisagismo da faixa de domínio.

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

- a) As *larguras de componentes da faixa de domínio* devem, além de áreas para o movimento e a segurança de veículos, conterem os elementos para drenagem, e áreas para equipamentos de manutenção de rodovia;
- b) Se a *faixa de domínio* tiver dimensões que permitam a construção de taludes pouco inclinados, haverá melhor segurança, e a manutenção é mais fácil;
- c) 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.

Segundo a AASHTO (1994), o formato dos componentes de seção transversal de uma rodovia tem grande influência sobre o conforto e segurança do tráfego para os motoristas. A escolha do formato de componentes de seção transversal para as estradas de rodagem pode partir de padrões recomendados por órgãos rodoviários, 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.

Dentre as funções associadas ao formato de seções transversais de rodovias destacam-se:

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

2.2 Qualidade de viagens em rodovias

A Norma NBR ISO 8402 (ABNT, 1994) sugere o termo “qualidade” para expressar “nível de 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.

A expressão “nível de qualidade de viagem em rodovias” é aqui usada para expressar “nível de adequação ao uso de componentes constituintes de rodovias para viagens seguras e confortáveis”, conforme proposto em PADULA (1999). Nota sobre qualidade de viagem é um tipo de classificação associada à opinião emitida por um indivíduo em escala ordenada de números naturais.

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 as necessidades, expectativas e desejos de motoristas e passageiros através de prestação de serviços, seria “negócio bem sucedido da rodovia” quando o tráfego de veículos fosse confortável e seguro do ponto de vista de seus usuários.

A qualidade (do ponto de vista de engenharia, resistência e estabilidade) é produto de funções internas ao pavimento. Mas, motorista, passageiro ou embarcador expressa aquilo que sente durante o movimento de veículos, ou seja, não mede variáveis que caracterizem componentes de vias.

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

Os destinatários dos serviços providos pela rodovia são principalmente motoristas, passageiros ou embarcadores. Convém lembrar que estes são quem define a qualidade de viagem, é deles a palavra final sobre vias, obras e serviços. Ou, “motoristas e passageiros 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).

Para rodovias “prestarem serviços” com qualidade aos usuários, as sensações durante o tráfego de veículos deve contribuir para que motoristas e passageiros sintam conforto e segurança ao viajar.

A satisfação de motoristas, passageiros e embarcadores pode ser medida ou classificada durante o processo de uso da via, ou seja, durante a própria viagem. CAREY & IRICK (1960, p. 42), em tentativa para identificar uma variável para expressar o nível para a qualidade de superfície de pavimentos, 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) – definição válida 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.

As ações de técnicos para reconstrução ou manutenção de rodovias devem produzir intervenções físicas e operacionais eficazes e eficientes para o aprimoramento do nível de qualidade das viagens em rodovias, ou seja, compatíveis com a classificação de opiniões sobre as viagens emitidas por indivíduos que trafegam as rodovias. Cada indivíduo sente de forma diferente esta ação mecânica.

São dois processos diferentes e independentes: a ação entre o pneu e o pavimento e a formação da sensação por quem viaja. Mas é assim que se forma opinião sobre qualidade de ação física entre pneu e o revestimento da rodovia - isto pode ser útil para orientar processos de avaliação sobre conforto e segurança de viagens através de notas por classificação de opiniões emitidas por indivíduos que usam as rodovias.

Comenta-se em NAIR & HUDSON (1986) que, durante o movimento de veículos, as *vibrações*, transmitidas pela suspensão, são estímulos físicos que provocam variações contínuas nas sensações de indivíduo que viaja por rodovia. Como este tipo de vibração é transmitido de diferentes maneiras, nem sempre se sente o mesmo tipo e volume de reações ao repetir o tráfego de veículo em dado segmento de rodovia, ou seja, a avaliação de qualidade é um fato subjetivo característico de cada avaliador e

cada instante ou avaliação, mesmo fixadas as outras condicionantes, como o tipo de veículo.

Em PADULA (1999) lê-se que: “quem viaja por rodovias forma sensações de conforto e segurança. Quem viaja “sente” a viagem. Quem sente a viagem, tem o potencial de julgar esse deslocamento. Esse processo se confunde com o de formação da “sensação” sobre qualidade de viagens. A sensação sobre qualidade de viagem é diferente de pessoa a pessoa. Mas, o que se sente são as conseqüências de ações físicas entre o pneu do veículo e o revestimento do pavimento por onde se trafega.”

As sensações dos indivíduos podem ser transformadas em notas. Tais distribuições de notas emitidas por opiniões, de um único, ou diferentes indivíduos definem médias, variâncias e outras estatísticas que caracterizam os parâmetros de controle das ocorrências de notas sobre o comportamento de pavimentos e qualidade de viagens.

As notas obtidas a partir de opiniões de diferentes indivíduos pertencerão a uma distribuição de medidas (valores obtidos por medições), que associa diferentes sensações de motoristas e passageiros a características de componentes de vias. Entretanto, estes dados referem-se à classificação de um único sujeito, um único revestimento de pavimento e ao conjunto de ações entre pneu e pavimento que pessoas sentem de maneiras diferenciadas. Pode-se afirmar então: pessoas que julgam a qualidade da viagem produzem uma distribuição de medidas com parâmetros que poderiam ser usados para representar o julgamento da qualidade de viagem e expressar as sensações que cada um tem ao viajar.

CAREY & IRICK (1960) e HRB (1961) relatam um processo para avaliação do nível de qualidade de viagens através de notas obtidas a partir de opiniões emitidas por indivíduos, conforme conclusões de estudos sobre os experimentos na pista experimental da AASHO: treinar avaliadores para emitir opiniões sobre a viagem e classificar as respostas numa escala de “1” a “5”. Durante o levantamento de dados para avaliações de pavimentos, as notas atribuídas por cada avaliador, “individual present serviceability rating”, foi definida como “uma nota independente por um único indivíduo em segmento de rodovia, marcando um valor específico numa escala específica” (CAREY & IRICK, 1960, p. 42). Apesar do processo exposto em

CAREY & IRICK (1960) ser antigo, é ainda o que usa para avaliar qualidade de viagens em pavimentos de segmentos de rodovias.

Este tópico foi também discutido ou aplicado por outros autores como NAIR & HUDSON (1986); GARG et al. (1988); FWA & GAN (1989); GUALDA et al. (1992); AL-OMARI & DARTER (1994) e GULLEN et al. (1994) na discussão de resultados de avaliação de superfície de pavimento e estimativas de índices que expressem o nível para a qualidade de tráfego de veículos. O uso desses métodos pode fornecer critérios para projetos, reconstrução ou manutenção de rodovias.

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 estímulos físicos que provocam 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.

No Brasil, obter notas a partir de opiniões de indivíduos foi especificado, por exemplo, em DNER (1978), hoje substituído por DNIT (2003d). E, o assunto foi analisado e discutido, por exemplo, em MELO (1998). Ali se concluiu que processos de avaliação de qualidade de viagem a partir de notas atribuídas por avaliadores

poderão fornecer resultados de classificação de qualidade de viagem compatíveis com a cultura sobre conforto e segurança durante o tráfego de veículos daqueles que usam as vias.

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), introduziu na tecnologia a estimativa de índices para medir a serventia de pavimentos:

- a) De um lado, observadores treinados atribuíam notas à viagem pela superfície de pavimento;
- b) De outro se identificavam relações entre características de componentes da geometria da superfície de pavimento e as 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 de pavimento atribuiriam ao conforto de viagem para explicar o comportamento de pavimentos.

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 componente da via contribuir 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.

2.3 Seção transversal de rodovias e drenagem

Nas rodovias toda a *seção transversal* participa da drenagem de água. Mas, elementos específicos para drenar contribuem para assegurar o controle do fluxo de águas nas superfícies do pavimento e outros componentes da via.

O processo para drenar superficialmente as rodovias consiste em 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 via, 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 3 ilustra o exposto.

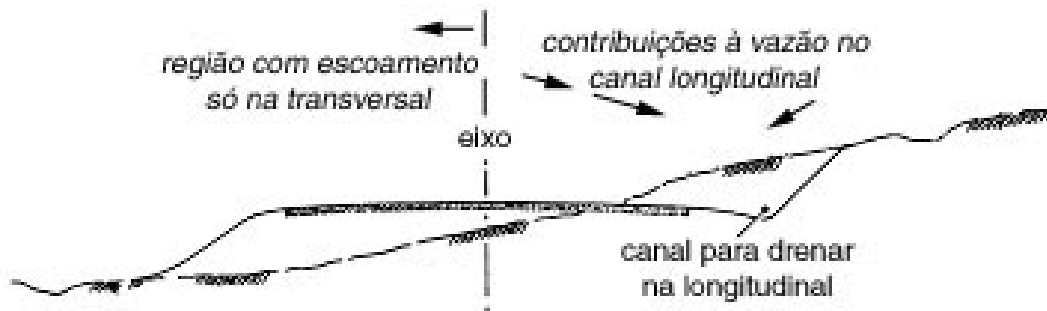


Figura 3 – O processo de drenagem nas rodovias

Comenta, por exemplo, FHWA (1984), p.2: “Os pavimentos devem possuir declividade transversal razoável para favorecer a drenagem, e ao mesmo tempo, pequena para garantir conforto a motoristas”.

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.

Para o DNER (1977), os acostamentos devem, sempre que possível, possuir declividade transversal oposta que a da faixa para tráfego, ou seja, não inferior aos valores mínimos estabelecidos, de forma a permitir a saída das águas. Acostamentos pavimentados devem ter declividade transversal entre 2% e 5% e, não pavimentados, entre 4% e 6%.

DNER (1981) relata que os objetivos de uso de elementos específicos para drenagem podem ser:

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

E, 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.

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.

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", dever-se-ia dizer "da rodovia" 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.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE HIDROLOGIA E HIDRÁULICA APLICADA A RODOVIAS

Relatam-se neste capítulo resultados de pesquisa bibliográfica que visou identificar as principais maneiras de se aplicar hidrologia e hidráulica à drenagem de rodovias. Também se resumem conclusões de análise sobre trabalhos que publicaram resultados de estudos que relacionam a drenagem e a qualidade de viagem por rodovias.

3.1 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. Relata o processo de trocas de água no entorno da superfície terrestre, ou seja, o transporte de água sob a forma de vapor pelas massas de ar, e a condensação, que forma as nuvens que podem fazer a água cair sobre a Terra (na forma de 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 talvegues, 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 4 ilustra o conceito de bacia hidrográfica.

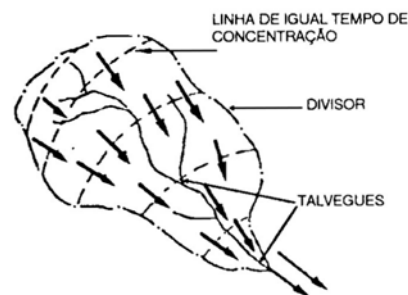


Figura 4 – Ilustração do conceito de bacia hidrográfica [PEIXOTO JR. & FELEX, 1997]

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 estudam em projetos, os dados são obtidos 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 quilômetro quadrado:

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

Onde:

A (km^2) 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 escoou 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, adotam-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 freqüência 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; canais 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 .

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:

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

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 à 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 2 resume os valores recomendados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem [DNER, 1990].

Tabela 2 – 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.

3.1.1 Estimativa da intensidade de chuva na região de Araraquara

Para a região de Araraquara, onde se localizam os trechos observados [Figura 9], a função mais confiável para estimativa de chuvas sugerida em PALMA (2000) foi sugerida em relatório técnico [FIPAI, 1995], válida 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 3 contém um resumo dos resultados publicados no estudo do Instituto Astronômico e Geofísico de São Paulo.

Tabela 3 – 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 3 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 4.

Tabela 4 – 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 médias 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 4.

Usando os multiplicadores sugeridos nas Tabela 3 e Tabela 4, 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 5 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 5 – 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 6. 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 6 – 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 frequências 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 frequência 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 frequência”, 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 7 resume os valores de K e estimativa de alturas de chuva para Chibarro em função do período de retorno.

Tabela 7 – Alturas de chuva máximas diárias 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 5 ilustra a aderência da série histórica de alturas máximas de chuva à função para estimativa pelo modelo de GUMBEL.

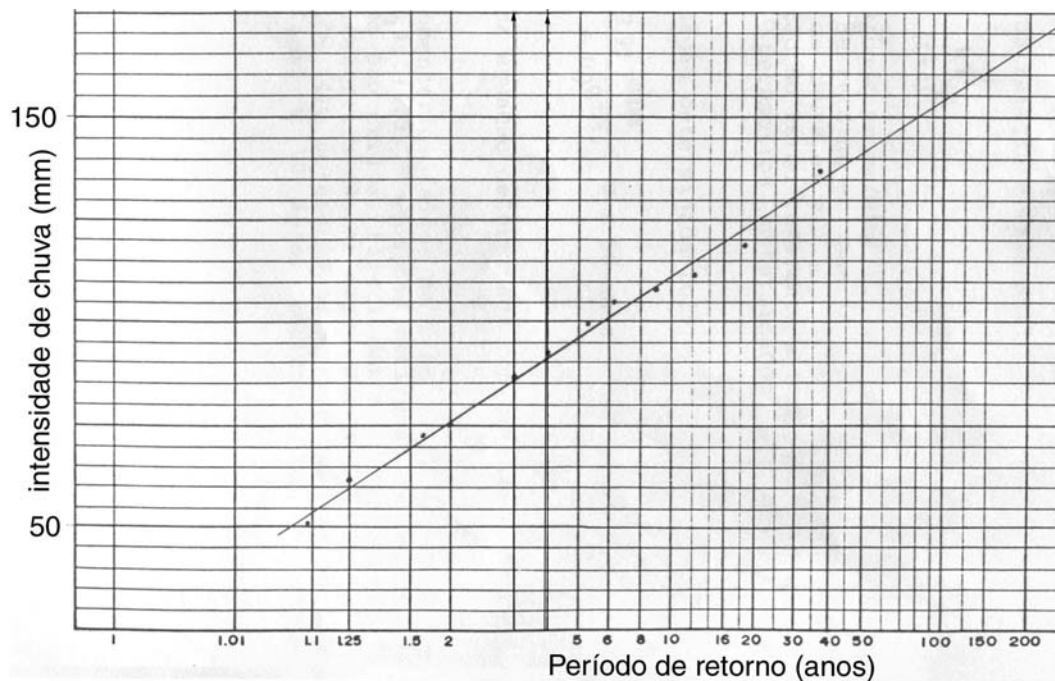


Figura 5 – Série histórica de alturas máximas de chuva em Chibarro, no papel de GUMBEL. [Fonte: FIPAI (1995)]

Combinando os dados contidos nas Tabela 3 até a Tabela 7, os autores de FIPAI (1995) obtiveram as estimativas de alturas de chuvas para Chibarro, expostas na Tabela 8.

Tabela 8 – 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 9.

Tabela 9 – 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 9 foram usados para obter, por análise de regressão, a equação de chuva para Chibarro:

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

3.2 Hidráulica de canais para drenar rodovias

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), FHWA (1986) e FHWA (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). Este item é fundamental para o estudo de comportamento e estabilidade de paredes e fundo de equipamentos 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), FHWA (1983), FHWA (1986) e FHWA (1991) para estudos de canais para conduzir água na superfície da Terra. A Figura 6 ilustra um esquema sobre a geometria de canais para drenar.

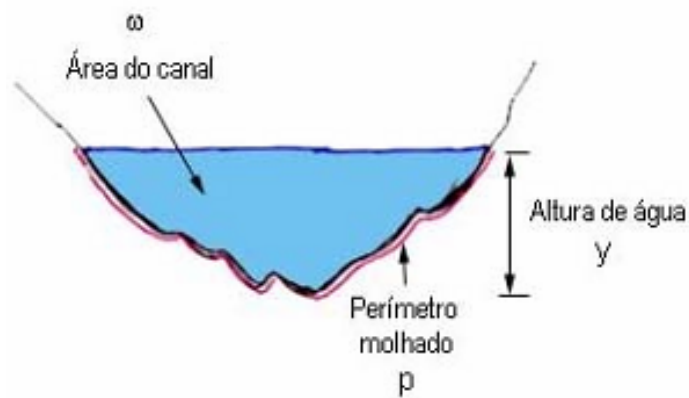


Figura 6 – Esquema da geometria de canais

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.

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. A Tabela 10 resume sugestões para o coeficiente de rugosidade de Manning, (n), conforme publicado em DNER (1990).

Tabela 10 – 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
Gunite, seção boa 0.016 a 0.019	Terra, seção bem uniforme:
Gunite, 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

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:

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

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

A Tabela 11 ilustra sugestões publicadas em DNER (1980) de estimativas de velocidades máximas da água antes de início do processo de erosão de canais.

Tabela 11 - 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 tem a água. É o manuseio de um conjunto de funções sobre a 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. 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:

$$E_1 = E_2 \quad e$$

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

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 se associa velocidades menores que a crítica – nessas condições, o movimento da água tende a assumir estado de fluxo fluvial que se dá o nome de *regime de fluxo subcrítico*.

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

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 12 resume os critérios para classificar o movimento de água em canais:

Tabela 12 – 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 pode contribuir para identificar as relações da água com as paredes e fundo de canais e classificar as condições e tipos de regime de fluxo.

3.3 Trabalhos anteriores que relacionam drenagem com qualidade de viagens

O funcionamento de equipamentos para drenar a seção transversal de vias, pode ser um dos principais determinantes da qualidade de viagens. Para identificar relações entre formato de seção transversal, que define a drenagem, e a qualidade de viagem, podem-se usar distribuições de notas atribuídas às viagens em segmentos de via e o funcionamento de equipamentos para drenar. Assim, podem-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. Mais especificamente para drenagem e suas relações com a qualidade de viagem esse assunto foi discutido em FREITAS (2000) e PALMA (2000), que usaram para teste os mesmos segmentos aqui adotados, antes das ações para reconstrução e manutenção.

Os tipos de variáveis e características usadas para orientar raciocínios e tratamentos estatísticos sobre qualidade de viagem por segmentos de rodovias serão:

- a) Distribuição de notas fornecidas às viagens em segmentos de rodovias por avaliadores treinados, 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 sobre variáveis que caracterizem o estado de equipamentos para drenar a água superficial de vias;
- d) Estimativas de vazão ou capacidade de equipamentos para drenar.

As notas para qualidade de viagem usadas em FREITAS (2000) e PALMA (2000) foram as publicadas em PADULA (1999); FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000), que usaram critérios para amostragem sobre segmentos observados similares ao que se expuseram 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 formalmente o mesmo que para os pavimentos.

No conjunto de vias observadas foram demarcados 37 segmentos de aproximadamente 600 metros, escolhidos por sorteio dentre os 120 segmentos que constituiriam o conjunto de vias vistoriado se fossem aplicados os processos de amostragem sugeridos em DNER (1978).

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 está 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;

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 durante 8 horas por esse segmento de rodovia?”.

A Tabela 13 (PADULA, 1999) 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 13 – 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.	

3.3.1 O relato publicado em FREITAS (2000)

FREITAS (2000) relata os produtos de 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.

Dentre as conclusões expostas em FREITAS (2000) está: “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 a qualidade de viagens em estradas vicinais, quando associados à distribuição de notas atribuídas por avaliadores à viagens por segmentos de rodovias”.

As variáveis adotadas em FREITAS (2000) para estudos sobre a existência de relações com a qualidade de viagem classificada por notas atribuídas por avaliadores a segmentos de rodovias foram características geométricas das seções transversais e estado de equipamentos para drenar. Ali se classificou as medidas observadas em três grupos: “propriedades dos equipamentos para drenar”, “declividades transversais na seção transversal” e “larguras de componentes da seção transversal”. Convém relatar

que o eixo da rodovia impõe a necessidade de medir “à esquerda” e “à direita” do observador. Os principais componentes da seção transversal, ilustrados na Figura 2 são: as laterais, os acostamentos e as faixas de tráfego.

As “propriedades dos equipamentos para drenar”, adotadas em FREITAS (2000), constam da lista que se segue:

- a) Existência de equipamentos para drenar
- b) Estado de conservação
- c) Estado do revestimento
- d) Limpeza de equipamento
- e) Capacidade
- f) Existência de acúmulo de água
- g) Obstáculos
- h) Erosão
- i) Saídas
- j) Presença de vegetação
- k) Declividades transversais

Consta em FREITAS (2000) a lista de equipamentos e processos para medir as “declividades transversais na seção transversal” e as “larguras de componentes da seção transversal”. Em resumo, se adotou trena, corrente de agrimensor e um clinômetro desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos para medir declividades, ilustrado nas duas fotos da Figura 7.



Figura 7 – Clinômetro desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos

O *estado de elemento para drenar* foi uma variável discutida e definida por FREITAS (2000) como: “a capacidade de componente da via provocar danos à qualidade de viagem”. A variável exigiu obter critérios para classificar *qualitativamente* elementos para drenagem de seção transversal de rodovia.

A Tabela 14 resume as variáveis selecionadas por FREITAS (2000) para caracterizar o estado de equipamentos para drenagem nos segmentos observados.

Tabela 14 - Variáveis selecionadas para estudos sobre o estado de equipamentos para drenar
[Fonte: FREITAS (2000)]

Variável	Breve descrição
<i>Existem os equipamentos?</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.

Usou-se, para classificar equipamentos para drenar, conceitos publicados em WALKER & SCHERER (1987), sugestões de notas a variáveis que caracterizem o 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 a 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 15 resume a classificação proposta por WALKER & SCHERER (1987) para classificar o estado de equipamentos para drenar.

Tabela 15 – 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 Tabela 16 contém um resumo sobre os critérios e intervalos para atribuição de notas a equipamentos para drenar adotados.

Tabela 16 - 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

FREITAS (2000) adotou a notação exposta na Tabela 17 para escrever a função de estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores.

Tabela 17 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos (FREITAS, 2000)

Variável	Notação	Variável	Notação
Notas atribuídas pelos avaliadores	Y_1	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}

E, a função de estimativa de notas proposta em FREITAS (2000), para as rodovias que se observou, pode ser escrita:

$$Y_1 = 2,17 + 0,375 X_1 - 0,013 X_2 - 0,037 X_3 + 0,105 X_4 + 0,395 X_5 - 0,188 X_6 + -0,086 X_7 - 0,063 X_8 - 0,336 X_9 + 0,136 X_{10} - 0,156 X_{11} + 0,024 X_{12}$$

Em FREITAS (2000), relatou-se que das vinte e três variáveis observadas, doze participaram das estimativas de explicações das notas fornecidas pelos avaliadores porque foram aceitas na função de estimativas.

3.3.2 O relato publicado em PALMA (2000)

PALMA (2000) relata conjunto de dados e resultados de análise estatística da relação entre distribuição de notas sobre qualidade de viagem e variáveis que descrevem o formato da seção transversal e medidas sobre variáveis que classifiquem o estado ou funcionamento de equipamentos para drenar água de chuva de rodovias. Mostrou-se que a distribuição de notas sobre qualidade de viagem, o formato da seção transversal e medidas sobre variáveis que classifiquem o estado de equipamentos para drenar água superficial, podem classificar e identificar informações que contribuam para orientar a manutenção ou reconstrução de componentes de vias – foram informações quantitativas.

PALMA (2000) acrescentou ao analisado em FREITAS (2000) as medidas sobre variáveis que caracterizem o fluxo de água em equipamentos para drenar e propriedades do movimento de água pela rodovia. Foram dois grupos de variáveis: “estimativa de vazão solicitante de equipamentos para drenar” e “capacidade hidráulica de canais longitudinais e classificação de tipo de regime de fluxo”.

As variáveis discutidas em PALMA (2000) para “estimativa de vazão solicitante de equipamentos para drenar” constam da lista que se segue:

- a) Áreas contribuintes para vazão em canal longitudinal;
- b) Coeficientes de escoamento superficial na seção transversal;
- c) Coeficientes de escoamento superficial médios;
- d) Vazões solicitantes de canais longitudinais.

As variáveis discutidas em PALMA (2000) para estimar “capacidade hidráulica de canais longitudinais e classificação de tipo de regime de fluxo” constam da lista que se segue:

- a) Declividade longitudinal de canais longitudinais;
- b) “ n ” de Manning da área de vazão de canal longitudinal;
- c) Capacidade de vazão de canal longitudinal;

- d) Energia específica de partículas de água;
- e) Número de Froude;
- f) “*n*” de Manning na seção transversal;
- g) “*n*” de Manning médio para componentes da seção transversal.

Dentre outras contribuições relatadas em PALMA (2000) consta introduzir soluções para a montagem de modelos de simulação do funcionamento de canais de drenagem de rodovia, baseados hora em hipóteses teóricas, hora em hipóteses decorrentes da prática e da observação sobre a hidráulica de equipamentos para drenar e suas formas geométricas. Por exemplo, a hipótese de que a forma do canal longitudinal ao lado do acostamento de rodovias tenha a largura máxima de um metro, como é usual nas seções transversais das rodovias vicinais, ilustrada na Figura 8.

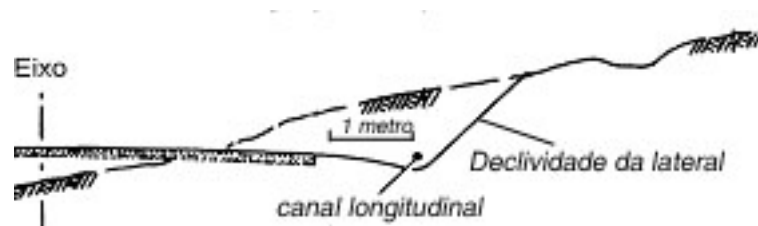


Figura 8 – Canal longitudinal hipotético ao lado do acostamento (PALMA, 2000)

Também, PALMA (2000) introduziu rotinas de levantamento de dados e obtenção de características de hidrologia e hidráulica na drenagem de rodovias, que puderam ser processados com uso do programa para computador FLOWMASTER (HAESTAD, 1999) para fornecer dados de vazões (simuladas) para previsão de variáveis que contribuíram na análise de qualidade de viagens.

A Tabela 18 expõe uma notação elaborada para as variáveis que participariam da função de estimativa de notas de PALMA (2000).

Tabela 18 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos (PALMA, 2000)

Variável	Notação
Intercepto	<i>b</i>
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_{132}
Acúmulo de água	X_{114}
Declividade da faixa de tráfego à direita	X_{15}
“n” médio da seção transversal, canal à direita	X_{16}
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 18, a função de estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores, Y_1 , 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, PALMA (2000) relatou que a análise de regressão “passo a passo”, para obter relações numéricas lineares entre notas e qualidade de viagem, mostrou que, das cinquenta e três variáveis levantadas nas suas pesquisas, dezoito participariam das estimativas de explicações das notas fornecidas pelos avaliadores, porque foram aceitas na função de estimativas.

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo contém uma breve explicação sobre análise de regressão, a obtenção de dados e argumentos, o levantamento e o processamento de dados. Também são expostos os dados obtidos e seu uso para obter a função de estimativa.

4.1 Análise de regressão

Relata-se neste item conceitos sobre modelos decorrentes da análise de regressão.

É usual representar valores de medidas sobre variáveis aleatórias por funções matemáticas, principalmente em tentativas de descrição da tendência de valores de variáveis que representam processos físicos ou assemelhados – as representações obtidas são conhecidas como *modelos matemáticos, ou estatísticos*. Em particular, pode ser possível derivar modelos matemáticos a partir de leis físicas que permitem estimar valores de alguma variável dependente de outras de maneira quase exata.

MILLS (1969) relata que as estimativas de *médias* podem contribuir para facilitar estudos de tendências de comportamento de variáveis dependentes. Conceitos e processos desenvolvidos a partir de estudos sobre médias são ferramentas importantes para a análise de variáveis dependentes.

Define-se *regressão*: a estimativa de valores associados a relações numéricas entre médias de medidas sobre uma variável aleatória e valores correspondentes, de medidas simultâneas, sobre uma ou mais variáveis independentes. Regressão é um tipo de modelo estatístico.

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 que resumiram e sistematizaram o uso das técnicas de estudo de regressão expostas em PADULA (1999), FREITAS (2000) e VASCONCELOS (2000) e PALMA (2000).

Dentre as questões básicas de uso da estatística está investigar relações entre medidas, ou contagens sobre as ocorrências de variáveis distintas. São propostas duas questões:

- a) Há relações entre as medidas, ou contagens, simultâneas sobre conjuntos de variáveis?
- b) Se existir, qual é a expressão de estimativa para essa relação? Quando existe a expressão obtida é conhecida como “função de estimativa da variável dependente”.

As respostas às questões sobre as relações entre medidas simultâneas sobre variáveis distintas, dentre outros processos, podem ser fornecidas através do uso de técnicas da Estatística como:

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

Expressões numéricas para exprimir relações entre médias de variáveis podem assumir diferentes formatos matemáticos. O mais simples dentre eles é o linear reto (dito: reta no plano cartesiano) para explicar relações entre medidas de duas variáveis, uma dependente, outra independente. A maioria das tentativas de identificação de relações entre médias assume modelos lineares.

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 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$

podem ser anotados e representados pelo modelo matemático para uma regressão linear que 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 .

Ao definir:

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

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”: $u = \begin{vmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_N \end{vmatrix}$

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

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 19.

Tabela 19 - 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	$(N - k - 1)$	$SQRs = Y^T \cdot Y - B^T \cdot X^T \cdot Y$	$QMRs = \frac{SQRs}{N - 3}$
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 estimada e coeficientes de determinação múltipla calculada como estatísticas para controle (que,

por exemplo, podem ser obtidos em tabelas como exposto em CHASE & BROWN (1992), página A 22, tabela B.7).

Grande parcela da verificação da existência da função de estimativa se confunde com o estudo de existência ou da significância dos coeficientes da função para estimar.

O uso da hipótese de que os erros têm distribuição normal fez montar um teste de hipótese para os coeficientes de regressão. Quando $a, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são os coeficientes da regressão:

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

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

A existência dos coeficientes da função para estimar é verificada usando a estatística

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

Se $F_{\text{estimado}} \geq F[k, (N - k - 1)]$, rejeita-se a hipótese $H_0 : a = \beta_1 = \beta_2, \dots = \beta_k = 0$ em favor da hipótese alternativa $H_1 : a \neq 0$ ou $\beta_1 \neq 0$ ou $\beta_2 \neq 0 \dots$ ou $\beta_k \neq 0$, ao nível de significância adotada para estudo.

As estimativas de variâncias dos coeficientes a e $\beta_j, j = \{0, 1, \dots, k\}$, $s^2(a)$ 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*”:

- a) 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;
- b) Testar a significância dessas funções em cada etapa.

A definição para a estatística de controle da existência de dependência entre as

variáveis, F , pode ser escrita $F = \frac{\left(\frac{R^2}{k'}\right)}{\left(\frac{1-R^2}{N-k'-1}\right)}$, para cada função de estimativa obtida

das medidas associadas a $k' < k$ 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 existência 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 independentes e a variável dependente;
- 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 F_p , associado à variável independente seja maior que a estatística F para valores estimados pela regressão, ou seja, que, no conjunto de relações, exista significância associada à participação das medidas da variável independente analisada.

A regressão passo a passo é processo que pode envolver grande número de dados e variáveis independentes. Isto faz crescer o volume de cálculos e a sofisticação necessária para processarem dados e obter a função de estimativa, e controlar a existência e significância de seus coeficientes ou da existência das relações entre as variáveis envolvidas. Agora, o uso de computadores e seus programas facilitam o trabalho. Cita-se, como exemplo, o programa STATISTICA 7.1 (MATHSOFT, 2005) que se utilizou neste trabalho.

BOX & JENKINS (1976) publicaram um conjunto de princípios para orientar o uso de médias, técnicas para a remoção de irregularidade em variações de valores de elementos de séries sem perda das demais características de variações nesses valores. Mas, os autores comentam que apesar da sofisticação matemática e estatística dos processos hoje adotados nada substitui a interpretação da realidade e a verificação das hipóteses que devem ser associadas à interpretação de resultados obtidos através do uso de modelos, um desafio aos estudiosos.

A maior crítica quanto à utilização de análise de regressão em tentativas de isolamento de tendências e previsão de valores de elementos de variáveis dependentes é que a reta, ou outro tipo de curva, não garantem estimativa compatível com a realidade fora do intervalo de observações. Mais ainda, estima-se um “valor provável”, que deve ser analisado e interpretado para verificar qual tendência se identificou.

A reta de regressão, por exemplo, “passa sempre pela média”, mas não tem vínculos diretos com os pontos extremos de valores observados. Dentre outros, isto poderia desautorizar o seu uso para previsões, exceto quando os quadrados dos desvios se

aproximem de zero, ou seja, os valores observados estejam muito próximos da reta ou curva ajustada à série.

4.2 Obtenção de dados e argumento

O caso estudado para obtenção dos argumentos adotados usou observações sobre um conjunto de setenta e dois quilômetros de rodovias vicinais, ligando Araraquara, Gavião Peixoto, Nova Paulicéia, Nova Europa e o segmento de ligação entre Gavião Peixoto e a via Nova Europa - Via Washington Luís, no estado de São Paulo.

Os segmentos, que liga Araraquara a Gavião Peixoto, da ligação Nova Europa - Via Washington Luís, foram submetidos à reconstrução e manutenção que interferiu na percepção dos que viajam por estas rodovias, e introduziu uma nova distribuição sobre a qualidade de viagem nestas vias. Isto se deu entre os anos de 2001 a 2003. São vias vicinais de duas faixas para tráfego, uma em cada sentido. Estes segmentos foram observados por pesquisadores da Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, desde a década dos 70. A Figura 9 ilustra esquematicamente os segmentos de vias observados.

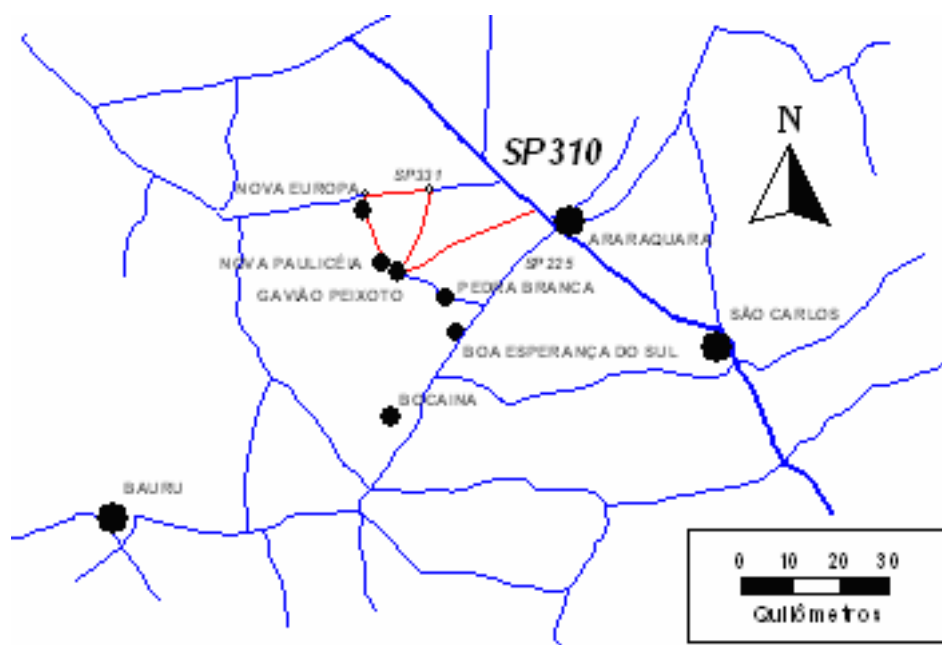


Figura 9 – Segmentos de rodovias analisados, 72km próximos à Araraquara, estado de São Paulo, Brasil [Fonte: PADULA (1999)]

A Figura 10, ilustra as posições em relação a origem, portão no início do segmento que liga Araraquara a Gavião Peixoto.

Figura 10 – Esquema de segmentos observados.

Araraquara (origem) – Gavião Peixoto							
Posição (km)	0,0	1,4	2,0	3,1	3,7	4,0	4,6
Segmentos		11		12		13	
Posição (km)	6,4	7,0	10,0	10,6	13,6	14,2	15,1
Segmentos	14		15		16		17
Posição (km)	15,7	15,8	16,4	17,6	18,2	19,4	20,0
Segmentos		18		19		20	21
Posição (km)	20,6	21,2	21,8	22,0	22,6	22,7	23,3
Segmentos		22		23		24	
Posição (km)	23,8	24,4	24,8	25,4	26,0	26,6	27,2
Segmentos	25		26		27	28	
Posição (km)	28,2	28,8	29,7	30,3	31,1		
Segmentos	29		30				
Gavião Peixoto – Nova Paulicéia							
Posição (km)	31,1	31,4	32,0	32,1	32,7	32,9	33,5
Segmentos		31		32		33	
Posição (km)	33,7	34,3	34,7				
Segmentos	34						
Nova Paulicéia – Nova Europa							
Posição (km)	34,7	35,3	35,9	36,1	36,7	37,8	38,4
Segmentos	35	36		37		38	
Posição (km)	38,5	39,1	39,2	39,8	40,6	41,2	42,0
Segmentos	39		40		41		
Nova Europa – Trevo Rodovia Araraquara a Ibitinga							
Posição (km)	42,0	43,0	43,6	44,0	44,6	45,0	45,6
Segmentos		42		43			
Trevo Rodovia Araraquara a Ibitinga - Trevo Ibitinga							
Posição (km)	45,6	46,2	49,0	49,6	54,4	55,0	57,8
	44		45		46		47
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		48		49		50	
Posição (km)	66,7	67,3	68,4	69,0	69,5	70,1	71,1
Segmentos	51		52		53		54
Posição (km)	71,7	72,0					

A Figura 11 é esquema que ilustra a nomenclatura e descrição sucinta dos segmentos observados.

Segmento		Nome e descrição
11	Red	Araraquara – Gavião Peixoto
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31	Green	Gavião Peixoto – Nova Paulicéia
32		
33		
34		
35	Orange	Nova Paulicéia – Nova Europa
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42	Blue	Nova Europa – Trevo SP 331
43		
44	Purple	Trevo SP 331 – Ligação a Gavião Peixoto
45		
46		
47		
48	Green	SP331 a Gavião Peixoto
49		
50		
51		
52		
53		
54		

Figura 11 – Esquema de nomenclatura e descrição dos segmentos observados

No conjunto de segmentos observados foram demarcados 44 segmentos de aproximadamente 600 metros, escolhidos por sorteio dentre os 58 segmentos que

constituiriam o conjunto de vias vistoriadas se fossem aplicados os processos de amostragem sugeridos em DNIT (2003b). Foram vinte os segmentos entre Araraquara e Gavião Peixoto, segmento reconstruído; 4, de Gavião Peixoto a Nova Paulicéia, 7 de Nova Paulicéia a Nova Europa, 2 de Nova Europa à SP 331; 4 do Trevo da SP 331 ao Trevo de Ligação a Gavião Peixoto, segmento também reconstruído, e 7 até Gavião Peixoto.

Os principais meios, equipamentos e processos usados para obter dados sobre a geometria de componentes de seção transversal estão descritos e publicados em PADULA (1999); FREITAS (2000), VASCONCELOS (2000), PALMA (2000) e ÁVALOS (2005). As variáveis levantadas foram os conjuntos adotados em PALMA (2000) e FREITAS (2000). Foram estudadas 3 a 5 seções transversais em cada segmento e adotado o valor médio das medidas obtidas.

As Tabela 20 e Tabela 21 resumem os resultados obtidos para as declividades e larguras de elementos da seção transversal das rodovias analisadas.

A avaliação do estado de equipamentos para drenar foi conduzida usando processo e roteiro expostos em FELEX (1983) para uso da técnica do Oráculo de Delfos usando as variáveis e critérios expostos em FREITAS (2000). Participaram da avaliação dois engenheiros da Prefeitura de Nova Europa SP, dois engenheiros do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo sediados em Araraquara SP, dois professores universitários e três engenheiros vinculados a concessionários de rodovias.

O conjunto de avaliadores foi treinado explicando-se as finalidades da avaliação e discutindo a aplicação dos conceitos contidos nos procedimentos expostos em DNIT (2003a), DNIT (2003b), DNIT (2003c), DNIT (2003d) ao estudo de conseqüências de conservação e manutenção sobre a qualidade de viagens em rodovias. Os segmentos foram percorridos várias vezes, processavam-se os dados, e os resultados médios eram mostrados aos observadores. Novamente se avaliava os segmentos, e perguntava-se aos avaliadores sobre a manutenção ou modificação de sua resposta, até que as alterações nas opiniões representassem menos que cinco por cento do número de observações. Seis foram os ciclos para obter a condição de controle.

**Tabela 20 – Médias de declividades transversais nos segmentos observados (%)
(convenção: sinal positivo, elemento para cima do plano horizontal)**

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego à esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	39,33	-5,92	-1,67	-1,50	-4,75	17,33
12	24,00	-4,75	-3,17	-2,00	-4,67	20,17
13	9,33	-3,83	-2,75	-1,83	-4,67	5,83
14	4,33	-5,50	-3,00	-3,42	-3,92	21,00
15	15,00	-4,92	-1,74	-2,75	-4,58	29,33
16	5,00	-3,92	-1,32	-1,00	-3,17	0,83
17	1,83	-5,25	-3,00	-1,25	-4,08	11,67
18	4,67	-4,92	-3,75	-3,17	-3,17	-0,67
19	-7,33	-3,75	0,52	-2,83	-5,25	-9,17
20	-5,33	-4,92	-2,83	-2,25	-2,58	-8,50
21	-8,17	-6,25	-3,08	-1,67	-3,33	-0,50
22	-9,33	-4,42	-3,58	-3,00	-4,42	-12,33
23	6,00	-4,92	-1,70	3,21	-5,25	-3,17
24	8,83	-3,83	2,42	-5,16	-6,08	6,67
25	-0,67	-2,58	-2,79	-2,17	-5,17	-3,33
26	4,33	-3,58	2,28	-0,15	-2,50	-0,83
27	4,17	-4,00	-2,61	-1,98	-3,67	-2,50
28	7,83	3,42	1,95	-1,83	-4,75	7,50
29	8,50	-5,17	-4,42	-2,58	-2,58	4,17
30	0,00	-5,33	-5,00	-2,00	-1,67	0,00
31	16,33	-4,67	2,77	-1,93	-3,10	0,33
32	15,17	-2,92	-1,97	-0,67	-4,83	8,67
33	14,83	-8,33	-1,83	1,58	-6,50	-0,67
34	4,70	-9,42	-0,93	1,17	-9,25	-4,41
35	-3,28	-0,50	5,17	-1,50	-4,83	0,00
36	0,00	-10,17	-3,83	3,25	-6,33	0,00
37	-12,14	-5,23	-2,83	1,50	-11,83	-5,50
38	5,00	-7,17	-1,33	-1,00	-6,50	-9,22
39	14,57	-10,38	-1,17	0,33	-18,33	-11,37
40	16,00	-11,67	-1,75	3,50	-15,92	-11,55
41	-11,17	-0,83	-0,75	-0,50	-7,50	-15,67
42	-24,68	-3,50	-1,00	-2,33	-4,83	-9,53
43	4,83	-1,17	-0,67	-3,00	-6,17	-5,83
44	20,08	-3,00	-0,83	-1,33	-4,50	-4,49
45	4,81	-7,17	-0,17	-2,67	-6,33	19,86
46	44,33	-2,83	-0,82	-2,00	-5,67	19,00
47	-26,01	-5,33	-2,17	-0,82	-1,33	18,02
48	3,52	-10,17	-0,92	-0,25	-6,67	4,74
49	22,36	-1,50	-1,33	-1,83	-4,33	8,20
50	-12,85	-7,33	1,75	-0,75	-0,67	-9,04
51	-8,50	-7,83	-0,17	-1,83	-4,08	-11,67
52	7,39	-2,50	-3,67	-2,92	-2,00	-1,33
53	-12,27	-0,67	-1,58	2,67	-3,50	-7,74
54	6,83	-0,58	-1,67	3,33	-4,83	1,67

Tabela 21 – Médias de larguras nos segmentos observados (m)

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego à esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	1,94	1,50	3,79	4,79	2,31	3,52
12	2,95	1,63	3,53	3,50	2,28	5,04
13	4,85	2,35	3,65	3,52	1,72	4,79
14	3,69	2,28	3,50	3,37	2,43	4,45
15	2,75	2,24	5,31	3,63	2,15	4,00
16	4,14	2,15	5,25	3,57	2,35	1,97
17	4,56	2,15	3,63	3,53	2,23	4,25
18	4,54	2,16	3,64	3,56	2,15	4,36
19	4,42	2,20	3,60	3,57	2,26	3,85
20	4,65	2,18	3,60	3,55	2,37	5,44
21	5,00	1,08	3,61	3,56	2,26	3,71
22	5,70	1,00	3,55	3,62	2,19	4,61
23	2,82	1,07	7,14	7,14	2,55	3,17
24	1,44	2,07	3,67	6,99	2,45	1,49
25	1,61	2,10	6,74	3,38	1,18	4,43
26	4,04	2,20	5,27	5,17	2,67	4,59
27	3,50	2,13	5,33	5,32	2,24	2,93
28	3,69	2,15	6,90	3,58	2,30	3,15
29	3,55	2,10	3,59	3,60	2,21	2,99
30	3,68	2,34	3,54	3,58	2,26	2,41
31	4,30	1,95	3,57	3,44	2,16	4,05
32	3,23	2,10	3,80	4,07	1,79	5,13
33	1,89	1,17	3,57	3,45	2,10	3,15
34	1,71	1,74	7,12	4,52	2,00	9,60
35	2,15	1,08	3,37	3,22	2,07	0,58
36	2,15	1,33	3,52	3,25	1,89	0,48
37	1,85	1,95	3,62	3,37	2,26	0,50
38	1,75	1,60	3,50	3,28	2,24	0,50
39	3,41	1,77	3,34	3,38	2,39	1,50
40	4,25	1,88	3,45	3,48	2,00	1,87
41	1,51	1,50	3,07	3,42	2,00	2,00
42	2,24	1,25	3,24	3,35	2,08	1,25
43	2,28	2,00	3,59	3,34	2,00	2,17
44	1,11	1,47	3,57	3,40	2,00	0,58
45	5,43	2,55	3,45	3,50	2,44	2,70
46	3,23	1,88	7,02	3,50	2,85	1,00
47	1,25	1,45	3,42	3,47	2,06	0,60
48	2,25	1,50	3,46	3,38	2,05	5,98
49	4,00	2,43	3,44	3,39	2,64	5,30
50	5,79	1,95	3,34	3,30	1,88	2,35
51	3,75	1,75	3,34	3,23	1,75	3,79
52	9,23	1,93	3,22	3,25	1,75	6,16
53	10,83	1,95	3,20	3,27	2,00	5,58
54	3,25	1,50	3,29	3,33	2,00	4,90

As Tabela 22 e Tabela 23, dados publicados em ÁVALOS (2005), resumem a classificação de estado de equipamentos de drenagem, obtidas aplicando-se os conceitos expostos na Tabela 16.

Tabela 22 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar após manutenção e reconstrução (parte 1). [Fonte: ÁVALOS (2005)]

Segmento	Existem equipamentos para drenar?	Estado de conservação	Revestimento	Limpeza de equipamentos	Capacidade
11	3	3	3	3	3
12	2	3	3	3	3
13	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1
15	2	2	3	1	2
16	2	2	3	2	2
17	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	2
21	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1
23	2	3	3	2	3
24	2	3	3	2	2
25	1	1	1	1	3
26	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	2
29	2	2	3	3	3
30	2	2	2	2	2
31	1	1	1	1	1
32	2	1	1	2	2
33	1	1	1	2	2
34	2	1	1	2	2
35	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	2
41	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1
44	1	1	1	2	2
45	1	1	1	2	2
46	3	3	3	3	3
47	1	1	1	1	2
48	1	1	1	1	2
49	1	1	1	1	2
50	1	1	1	1	2
51	1	1	1	1	2
52	1	1	1	2	2
53	1	1	1	1	2
54	3	3	3	3	3

Tabela 23 – Resumo de classificação de estado de equipamentos para drenar, após manutenção e reconstrução (parte 2).[Fonte: ÁVALOS (2005)]

Segmento	Acúmulo de água	Obstáculos	Presença de erosão	Saídas	Presença de vegetação	Declividades
11	3	3	2	2	3	3
12	3	2	2	2	2	3
13	2	3	2	2	2	2
14	2	2	2	2	1	2
15	3	2	2	2	1	3
16	3	2	3	3	1	3
17	3	2	3	2	1	3
18	3	2	3	2	2	3
19	3	3	2	3	2	3
20	3	2	3	2	2	3
21	3	3	2	2	2	3
22	3	2	2	2	2	3
23	3	2	2	2	2	3
24	3	3	2	2	2	3
25	3	2	2	2	2	3
26	3	3	2	2	2	3
27	3	3	3	2	2	3
28	3	3	3	2	2	3
29	3	3	3	3	2	3
30	3	3	3	2	2	3
31	3	3	3	2	2	3
32	3	3	3	2	2	3
33	3	3	3	2	2	3
34	3	3	3	2	2	3
35	3	3	3	2	2	2
36	3	3	3	2	2	2
37	3	3	3	2	2	2
38	3	3	3	2	2	2
39	3	3	2	2	2	2
40	3	3	3	2	2	2
41	3	3	2	2	2	2
42	3	3	2	3	2	3
43	3	3	2	3	2	3
44	3	3	3	3	3	3
45	3	3	3	3	2	3
46	3	3	3	3	3	3
47	3	3	2	2	2	2
48	3	3	2	2	2	2
49	3	3	3	2	2	3
50	3	3	3	2	2	3
51	3	3	3	2	2	2
52	3	3	3	2	2	2
53	3	3	3	2	2	2
54	3	3	3	3	3	3

Para avaliação e obtenção de distribuições de opiniões sobre qualidade de viagem adotaram-se notas fornecidas por trinta e seis observadores treinados, processos e critérios similares ao que se expuseram no procedimento PRO 07/78 (DNER, 1978b). Isto porque, segundo PADULA (1999), o processo de atribuir nota à qualidade de viagem por observadores treinados para avaliar qualidade de pavimentos é similar à classificação de qualquer equipamento que verifique a qualidade de sensações de observadores sobre a via.

Em relação ao que se publicou em PADULA (1999) introduziram-se pequenas modificações, decorrentes das atualizações metodológicas que DNIT (2003a), DNIT (2003b), DNIT (2003c) e DNIT (2003d) recomendaram. Por exemplo, a ficha de avaliação em campo foi aperfeiçoada para o que se ilustra na Figura 12.

5	ÓTIMO
4	BOM
3	REGULAR
2	RUIM
1	PÉSSIMO
0	

Rodovia: _____

Observações: _____

Nº do Avaliador: _____

Data: ___/___/___

Figura 12 – Ficha de avaliação de qualidade de viagem em campo

Os segmentos de via foram percorridos de automóvel a velocidade constante de 80km/h, e ao final de cada segmento os avaliadores atribuíram nota ao nível de qualidade da viagem pelo segmento observado.

Tabela 24 – Número de ocorrências de notas sobre qualidade de viagens nos segmento observados, após manutenção e reconstrução, para cada um dos 44 segmentos avaliados

segmento	Avaliação					Viajaria por 8 horas neste segmento?		
	Péssima 1	Ruim 2	Regular 3	Boa 4	Ótima 5	sim	não	não sei
11	0	1	2	16	17	34	2	0
12	0	1	2	26	7	33	1	2
13	0	1	3	20	12	34	1	1
14	0	1	5	19	11	34	1	1
15	0	1	5	20	10	34	1	1
16	0	1	3	19	13	33	1	2
17	0	1	11	20	4	25	9	2
18	0	2	4	23	7	32	4	0
19	0	1	4	21	10	35	1	0
20	0	1	7	18	10	28	7	1
21	0	3	7	17	9	28	8	0
22	0	2	13	15	6	25	9	2
23	0	3	9	18	6	28	7	1
24	0	1	5	24	6	34	1	1
25	0	2	8	20	6	30	3	3
26	1	9	16	7	3	14	15	7
27	0	4	8	19	5	25	9	2
28	0	6	15	12	3	18	12	6
29	2	3	11	17	3	24	9	3
30	5	7	19	5	0	9	21	6
31	12	20	3	1	0	4	30	2
32	14	17	5	0	0	2	31	3
33	4	16	16	0	0	9	23	4
34	6	10	30	0	0	7	22	7
35	19	14	3	0	0	3	33	0
36	5	9	19	2	0	7	23	6
37	2	9	25	0	0	10	20	6
38	4	11	21	0	0	10	23	3
39	3	14	18	1	0	5	28	3
40	10	14	11	1	0	5	29	2
41	3	10	21	2	0	14	18	4
42	0	3	11	19	3	30	5	1
43	0	2	9	24	1	31	2	3
44	0	0	3	17	16	34	1	1
45	0	1	4	15	16	35	0	1
46	0	3	4	17	12	30	4	2
47	0	2	15	18	1	30	3	3
48	0	1	16	15	4	30	3	3
49	0	2	20	12	2	23	8	5
50	0	1	20	13	2	24	8	4
51	0	4	25	6	1	19	11	6
52	0	2	15	18	1	26	7	3
53	0	1	14	20	1	24	6	6
54	0	3	20	11	2	24	7	5

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.

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

- a) 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;
- b) 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;
- c) Supor-se-á “*n*” de Manning “igual a infinito (∞)” para denotar a vazão longitudinal igual a zero, quando não existir a contribuição aos canais longitudinais de vazão.

A Tabela 25 resume as áreas de contribuição à vazão estimadas para este trabalho, na seção extrema dos canais longitudinais.

Tabela 25 - Áreas estimadas de contribuição à vazão na seção extrema dos canais longitudinais

Segmento	Á esquerda (m2)	Á direita (m2)	Segmento	Á esquerda (m2)	Á direita (m2)
11	4338	6366	33	6045	3147
12	4860	6489	34	9051	6960
13	6504	6012	35	1935	5535
14	5682	6144	36	6147	1422
15	6177	5868	37	6474	1656
16	6921	4734	38	4110	3612
17	6201	6000	39	7128	2334
18	6201	6033	40	7827	2322
19	3972	7965	41	3645	4449
20	6252	6816	42	4035	4008
21	5808	5712	43	4722	4500
22	6144	6249	44	3687	3582
23	10899	3429	45	6855	5181
24	2106	8757	46	7272	4407
25	6261	5391	47	3672	3678
26	3741	10614	48	4323	6840
27	6570	6288	49	5922	6792
28	0	13062	50	4638	6513
29	5535	5274	51	5304	5262
30	5730	4941	52	8625	6696
31	3750	7923	53	11544	4545
32	5475	6591	54	6822	4140

A *intensidade de chuva* adotada para estimativa de vazões pelo método racional foi obtida adotando-se o exposto em FIPAI (1995), item 3.1.1, 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:

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

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 setembro de 2005, 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 na Tabela 2.

A Tabela 26 resume os dados e estimativas 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 26 – Coeficientes de escoamento superficial avaliados em campo

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego à esquerda	Faixa para tráfego à direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,6
12	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,6
13	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
14	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
15	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
16	0,4	0,8	0,85	0,85	0,8	0,4
17	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
18	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
19	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,55
20	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,6
21	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
22	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,6
23	0,4	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
24	0,4	0,7	0,85	0,85	0,8	0,5
25	0,6	0,8	0,85	0,85	0,8	0,6
26	0,4	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
27	0,4	0,8	0,85	0,85	0,8	0,4
28	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,4
29	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,4
30	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,4
31	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5
32	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5
33	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5
34	0,5	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5
35	0,4	0,4	0,8	0,8	0,4	0,4
36	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5
37	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5
38	0,5	0,4	0,8	0,8	0,5	0,5
39	0,4	0,5	0,8	0,8	0,5	0,4
40	0,4	0,5	0,8	0,8	0,5	0,4
41	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,4
42	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5
43	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5
44	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
45	0,7	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
46	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
47	0,5	0,8	0,85	0,85	0,8	0,5
48	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5
49	0,5	0,6	0,8	0,8	0,5	0,5
50	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5
51	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,5
52	0,4	0,6	0,8	0,8	0,6	0,5
53	0,4	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4
54	0,4	0,6	0,8	0,8	0,6	0,5

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 3.1. “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 27 resume as estimativas obtidas.

Tabela 27 – 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	0,746	0,756	33	0,662	0,619
12	0,713	0,723	34	0,735	0,609
13	0,683	0,674	35	0,604	0,619
14	0,702	0,686	36	0,632	0,64
15	0,746	0,696	37	0,646	0,665
16	0,679	0,723	38	0,63	0,663
17	0,685	0,69	39	0,578	0,619
18	0,686	0,688	40	0,564	0,617
19	0,688	0,719	41	0,652	0,611
20	0,684	0,72	42	0,626	0,619
21	0,664	0,702	43	0,611	0,607
22	0,65	0,729	44	0,775	0,8
23	0,73	0,754	45	0,768	0,726
24	0,716	0,791	46	0,749	0,783
25	0,802	0,72	47	0,767	0,799
26	0,682	0,71	48	0,623	0,571
27	0,697	0,714	49	0,629	0,59
28	0,74	0,68	50	0,573	0,607
29	0,704	0,685	51	0,594	0,591
30	0,703	0,705	52	0,516	0,603
31	0,609	0,607	53	0,505	0,557
32	0,625	0,611	54	0,601	0,617

Com as informações contidas nas Tabela 25 e Tabela 27 pode-se estimar *vazões solicitantes* de canais longitudinais. As hipóteses de “áreas zero”, 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 28 contém resumo das estimativas efetuadas.

Tabela 28 – Vazões solicitantes da seção extrema de canais longitudinais para drenar

Segmento	À esquerda (m ³ /s)	À direita (m ³ /s)	Segmento	À esquerda(m ³ /s)	À direita (m ³ /s)
11	0,115	0,171	33	0,142	0,069
12	0,123	0,167	34	0,237	0,151
13	0,158	0,144	35	0,042	0,122
14	0,142	0,15	36	0,138	0,032
15	0,164	0,145	37	0,149	0,039
16	0,167	0,122	38	0,092	0,085
17	0,151	0,147	39	0,146	0,051
18	0,151	0,148	40	0,157	0,051
19	0,097	0,204	41	0,084	0,097
20	0,152	0,174	42	0,09	0,088
21	0,137	0,143	43	0,103	0,097
22	0,142	0,162	44	0,102	0,102
23	0,283	0,092	45	0,187	0,134
24	0,054	0,246	46	0,194	0,123
25	0,178	0,138	47	0,1	0,104
26	0,091	0,268	48	0,096	0,139
27	0,163	0,16	49	0,132	0,142
28	0	0,316	50	0,094	0,14
29	0,139	0,128	51	0,112	0,11
30	0,143	0,124	52	0,158	0,144
31	0,081	0,171	53	0,207	0,09
32	0,122	0,143	54	0,146	0,091

A Tabela 29 resume as informações sobre declividades longitudinais. Os canais à esquerda e os canais à direita foram admitidos com mesma declividade longitudinal.

Tabela 29 – Declividades longitudinais do eixo de segmentos estudados

Segmento	Declividade Longitudinal	Segmento	Declividade Longitudinal
11	0,052	33	0,034
12	0,041	34	0,067
13	0	35	0,005
14	0	36	0,01
15	0,005	37	0,008
16	0,023	38	0,019
17	0,024	39	0,02
18	0,04	40	0,018
19	0,025	41	0,025
20	0,039	42	0,019
21	0,06	43	0,036
22	0,046	44	0,03
23	0,059	45	0,027
24	0,046	46	0
25	0,048	47	0,015
26	0,062	48	0,01
27	0,048	49	0,01
28	0,073	50	0,005
29	0,013	51	0
30	0,014	52	0,01
31	0,052	53	0
32	0,075	54	0,015

A Tabela 30 resume os dados e estimativas obtidas para os coeficientes de rugosidade de Manning, para superfícies dos segmentos classificadas após vistoria em campo (setembro de 2005), e conforme informações expostas na Tabela 10.

Tabela 30 – Coeficientes de rugosidade de Manning avaliados em campo

Segmento	Lateral esquerda	Acostamento esquerdo	Faixa para tráfego à esquerda	Faixa para tráfego direita	Acostamento direito	Lateral direita
11	0,1	0,014	0,013	0,013	0,014	0,022
12	0,1	0,016	0,015	0,015	0,016	0,08
13	0,08	0,016	0,015	0,015	0,016	0,08
14	0,08	0,014	0,013	0,013	0,014	0,1
15	0,08	0,015	0,014	0,014	0,015	0,1
16	0,05	0,016	0,015	0,015	0,016	0,08
17	0,08	0,016	0,015	0,015	0,016	0,06
18	0,08	0,015	0,014	0,014	0,015	0,08
19	0,035	0,015	0,014	0,014	0,015	0,025
20	0,08	0,014	0,013	0,013	0,014	0,1
21	0,1	0,015	0,013	0,013	0,015	0,1
22	0,05	0,015	0,014	0,014	0,015	0,05
23	0,08	0,015	0,014	0,014	0,015	0,05
24	0,025	0,016	0,014	0,014	0,016	0,1
25	0,05	0,015	0,014	0,014	0,015	0,05
26	0,08	0,014	0,013	0,013	0,014	0,08
27	0,08	0,014	0,014	0,014	0,014	0,1
28	0,08	0,014	0,014	0,014	0,014	0,08
29	0,022	0,013	0,013	0,013	0,013	0,022
30	0,03	0,015	0,015	0,015	0,015	0,03
31	0,08	0,03	0,016	0,016	0,03	0,05
32	0,1	0,04	0,016	0,016	0,04	0,1
33	0,04	0,035	0,016	0,016	0,035	0,04
34	0,1	0,016	0,016	0,016	0,03	0,1
35	0,05	0,05	0,016	0,016	0,05	0,05
36	0,1	0,035	0,016	0,016	0,035	0,1
37	0,08	0,035	0,016	0,016	0,035	0,08
38	0,08	0,04	0,016	0,016	0,04	0,08
39	0,04	0,04	0,016	0,016	0,04	0,04
40	0,1	0,04	0,016	0,016	0,04	0,1
41	0,08	0,035	0,016	0,016	0,035	0,08
42	0,08	0,03	0,016	0,016	0,04	0,08
43	0,08	0,04	0,016	0,016	0,04	0,08
44	0,017	0,014	0,013	0,013	0,014	0,015
45	0,015	0,014	0,013	0,013	0,014	0,015
46	0,015	0,014	0,013	0,013	0,014	0,015
47	0,12	0,014	0,013	0,013	0,014	0,015
48	0,05	0,035	0,015	0,015	0,035	0,05
49	0,05	0,035	0,015	0,015	0,035	0,05
50	0,04	0,035	0,015	0,015	0,025	0,04
51	0,03	0,03	0,016	0,016	0,035	0,035
52	0,04	0,035	0,015	0,015	0,035	0,04
53	0,04	0,035	0,016	0,016	0,03	0,035
54	0,08	0,035	0,016	0,016	0,04	0,08

Tabela 31 – “n” de Manning médio para os componentes da seção transversal que contribuem para a vazão em canal longitudinal

Segmento	"n" médio à esquerda	"n" médio à direita	Segmento	"n" médio à esquerda	"n" médio à direita
11	0,037	0,016	33	0,026	0,029
12	0,046	0,045	34	0,03	0,068
13	0,044	0,046	35	0,033	0,031
14	0,039	0,051	36	0,045	0,03
15	0,032	0,049	37	0,037	0,028
16	0,028	0,032	38	0,038	0,03
17	0,044	0,034	39	0,031	0,029
18	0,043	0,043	40	0,058	0,044
19	0,023	0,019	41	0,037	0,038
20	0,043	0,055	42	0,04	0,035
21	0,058	0,047	43	0,041	0,041
22	0,034	0,03	44	0,014	0,014
23	0,031	0,023	45	0,014	0,014
24	0,017	0,026	46	0,014	0,014
25	0,02	0,032	47	0,035	0,014
26	0,037	0,038	48	0,03	0,037
27	0,035	0,038	49	0,034	0,036
28	∞	0,037	50	0,032	0,025
29	0,016	0,016	51	0,025	0,028
30	0,021	0,019	52	0,034	0,032
31	0,047	0,033	53	0,035	0,028
32	0,051	0,059	54	0,045	0,051

Observação: ∞ : A declividade transversal é para fora, a área não contribui para a vazão longitudinal

Para estimar *capacidade hidráulica* e as condições de fluxo pelos canais longitudinais solicitados com a vazão estimada, usaram-se as informações expostas nas Tabela 29 e Tabela 30 e as hipóteses sobre contribuição à seção de vazão de área correspondente aos seiscentos metros de comprimento de cada segmento. A geometria adotada para os canais laterais usou as mesmas hipóteses de PALMA (2000).

As Tabela 32 e Tabela 33 resumem os resultados obtidos.

Tabela 32 – 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 (m ³ /s)	Energia (m)	Número de Froude
11	0,016	0,03	0,13	2,49
12	0,1	0,0206	0,18	0,36
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0,019	0,0049	0,0405	0,62
16	0,023	0,0036	0,0275	1
17	0,039	0,001	0,0147	0,55
18	0,026	0,0049	0,0325	1,19
19	0,035	0,0174	0,01	0,79
20	0,08	0,0057	0,00231	0,42
21	0,1	0,0112	0,00386	0,43
22	0,05	0,0244	0,0139	0,77
23	0,024	0,0078	0,04425	1,6
24	0,018	0,009	0,0499	1,86
25	0,05	0,0003	0,000483	0,54
26	0,022	0,0053	0,0336	1,65
27	0,023	0,0045	0,0304	1,39
28	0	0	0	0
29	0,015	0,0075	0,0433	1,19
30	0,03	8,51E-07	0,0001	0,27
31	0,035	0,0083	0,04696	1,07
32	0,044	0,004	0,03	0,95
33	0,037	0,012	0,06375	0,88
34	0,036	0,0071	0,04164	1,13
35	0,05	0,0015	0,00041	0,22
36	0,099	1,01E-05	0,00101	0,1
37	0,08	0,0097	0,00129	0,21
38	0,057	0,0022	0,03059	0,38
39	0,04	0,0105	0,06701	0,63
40	0,054	0,0088	0,07095	0,45
41	0,08	0,015	0,00366	0,36
42	0,08	0,0448	0,00671	0,33
43	0,044	0,0006	0,01014	0,56
44	0,017	0,2513	0,47345	2,06
45	0,015	0,1861	0,39883	2,21
46	0	0	0	0
47	0,12	0,0287	0,00248	0,2
48	0,045	0,0016	0,02693	0,34
49	0,036	0,0007	0,01453	0,39
50	0,04	0,0167	0,00346	0,33
51	0	0	0	0
52	0,036	0,0011	0,01947	0,41
53	0	0	0	0
54	0,037	0,0002	0,00558	0,4

Tabela 33 – 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	0,022	0,0788	0,33	1,87
12	0,08	0,0258	0,18	0,45
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0,017	0,0058	0,04	0,69
16	0,044	0,0003	0,0069	0,43
17	0,06	0,032	0,2051	0,45
18	0,08	0,0002	0,0002	0,31
19	0,025	0,0349	0,03	1,14
20	0,1	0,0097	0,00263	0,35
21	0,1	0,0001	0,000103	0,29
22	0,05	0,038	0,0194	0,79
23	0,05	0,0047	0,00459	0,76
24	0,027	0,0082	0,0452	1,29
25	0,05	0,0047	0,00399	0,69
26	0,08	0,0003	0,000327	0,4
27	0,1	0,0015	0,0007	0,33
28	0,021	0,0112	0,0598	2,07
29	0,015	0,0024	0,0205	1,06
30	0,03	2,6812E-07	0,0001	0
31	0,048	0,0001	0,0032	0,51
32	0,051	0,0053	0,03706	0,86
33	0,04	0,0003	0,00054	0,57
34	0,1	0,0044	0,00199	0,43
35	0,05	3,0744E-06	0,0004	0
36	0,1	0,000003166	0,0005	0
37	0,08	0,0027	0,00049	0,19
38	0,08	0,0096	0,00221	0,31
39	0,04	0,0275	0,01197	0,65
40	0,1	0,0107	0,00176	0,25
41	0,08	0,0255	0,00542	0,37
42	0,08	0,0101	0,0023	0,31
43	0,08	0,0063	0,00238	0,4
44	0,015	0,3043	0,56777	2,34
45	0,015	0,2217	0,44786	2,21
46	0	0	0	0
47	0,015	0,0017	0,01633	1,13
48	0,042	0,0019	0,02853	0,37
49	0,039	0,0021	0,02944	0,4
50	0,04	0,0096	0,00228	0,32
51	0	0	0	0
52	0,04	0,0006	0,00039	0,34
53	0	0	0	0
54	0,064	0,0004	0,01261	0,26

4.3 Processamento de dados

O processo de obtenção da função de estimativa de notas por análise de regressão passo a passo envolveu sessenta e duas variáveis. Adotou-se o programa para computador STATISTICA 7.1 (MATHSOFT, 2005) para atender ao volume de cálculos e a sofisticação necessária para estimar os coeficientes e controlar a existência e significância das relações entre as variáveis envolvidas.

Agrupando-se os dados expostos da Tabela 20 até a Tabela 33 em um banco de dados efetuou-se a análise de regressão linear múltipla passo a passo que indicou:

- a) Quarenta observações confiáveis;
- b) Um coeficiente de correlação $R_{\text{estimado}} = 0,97087 > R(40, 0.05) = 0,312$ [obtido em CHASE & BOWN (1992), página A-22], que permite sugerir que há dependência entre as médias das notas fornecidas pelos avaliadores e o conjunto de variáveis usados para análise de regressão;
- c) A estatística $F(22; 17)_{\text{estimado}} = 12,691 > F(22;17; 0,05) = 2,13$ [obtida em DRAPER & SMITH (1981), página 533], e há evidências de que 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 34 contém um resumo de nomes das variáveis cujas medidas participam das estimativas de notas, dos coeficientes de regressão, e das estatísticas para controle da existência e significância dos coeficientes da função para estimava de notas atribuídas pelos avaliadores.

Tabela 34 – Existência e significância de coeficientes da função para estimativa das notas atribuídas pelos avaliadores após reconstrução e manutenção de segmentos de rodovia

Variável	Coefficiente de Regressão	t(17) _{de Student estimado}	t(17)=2,110	Probabilidade de não existir o coeficiente
Intercepto	3,6959	2,96268	<i>Significativo</i>	0,008721
"n" acostamento esquerdo	0,105980	0,32840	Não significativo	0,746616
Classificação de saídas de água	0,650413	6,22657	<i>Significativo</i>	0,000009
Coefficiente de escoamento lateral direita	-0,013998	-0,15462	Não significativo	0,878945
Declividades longitudinais da faixa à esquerda	-0,483815	-4,32867	<i>Significativos</i>	0,000456
Classificação de presença de erosão	-0,201243	-2,54775		0,020806
Larguras de lateral esquerda	0,222735	2,97242		0,008542
Energia à Direita (m)	0,585104	3,54340		0,002498
"n" lateral direita	0,466258	4,49720		0,000318
Classificação de capacidade	0,689588	5,00983		0,000107
Limpeza de equipamentos	-0,693006	-3,66832		0,001904
Coefficiente de escoamento lateral esquerda	-0,085439	-0,84698		Não significativo
"n" acostamento direito	-0,672724	-2,09638	Não significativo	0,051318
Capacidade hidráulica (m ³ /s), à esquerda	-0,484541	-2,56098	<i>Significativo</i>	0,020247
Classificação de presença de vegetação	0,056052	0,48214	Não significativo	0,635856
Existem equipamentos para drenar?	-0,231706	-1,16706	Não significativo	0,259296
Número de Froude Esquerdo	0,308898	2,47755	<i>Significativos</i>	0,024026
Declividade de faixa para tráfego à esquerda	-0,197599	-2,32278		0,032856
Declividade de faixa para tráfego direita	-0,203507	-2,35714		0,030667
Estado de conservação	0,806586	2,53619		0,021306
Larguras de acostamento esquerdo	-0,231019	-2,20809		0,041262
Classificação de revestimento	-0,782571	-2,09474	Não significativo	0,051481
Declividade de lateral Esquerda	0,129538	1,38995	Não significativo	0,182478

A Tabela 35 expõe a notação aqui adotada para representar as variáveis que participam das estimativas de notas sobre qualidade de viagem.

Tabela 35 – Notação de variáveis para a função de estimativa de notas para viagem pelos segmentos

Notação	Variável
Y	Estimativa de nota de avaliação
3,6959	Intercepto
X ₁	Estado de conservação
X ₂	Limpeza de equipamentos
X ₃	Classificação de capacidade
X ₄	Classificação de presença de erosão
X ₅	Classificação de saídas de água
X ₆	Declividade de faixa para tráfego à esquerda
X ₇	Declividade de faixa para tráfego à direita
X ₈	Larguras de lateral esquerda
X ₉	Larguras de acostamento esquerdo
X ₁₀	Declividades longitudinais da faixa à esquerda
X ₁₁	Capacidade hidráulica (m ³ /s), à esquerda
X ₁₂	Energia de fluxo à direita (m)
X ₁₃	Número de Froude à esquerda
X ₁₄	"n" lateral direita

Ao adotar a notação exposta na Tabela 35, e arredondar para quatro casas os coeficientes de regressão, a função de estimativa de médias de notas atribuídas pelos avaliadores poderia ser escrita:

$$Y = 3,6959 + 0,8066X_1 - 0,6930X_2 + 0,6896X_3 - 0,2012X_4 + 0,6504X_5 + \\ - 0,1976X_6 - 0,2035X_7 + 0,2227X_8 - 0,2310X_9 - 0,4838X_{10} + \\ - 0,4845X_{11} + 0,5851X_{12} + 0,3089X_{13} + 0,4662X_{14}$$

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

- Verificar que há dependência linear entre as medidas desse conjunto de variáveis porque o coeficiente de correlação linear é significativo;
- 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 características de movimento de água;
- Das sessenta e duas variáveis independentes, catorze (ver Tabela 34) participariam das estimativas de explicações das notas fornecidas pelos avaliadores porque foram aceitas na função de estimativas com coeficientes de regressão significativos.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS DE USO DA FUNÇÃO DE ESTIMATIVA

Neste capítulo relatam-se os resultados de raciocínios que permitem:

- a) Sugerir processos para definir a ordem de prioridade de intervenções sobre segmentos de rodovias coerentes com a melhoria de qualidade de viagem;
- b) Comparar estimativas obtidas através da função de estimativa e as notas de avaliadores às viagens;
- c) Orientar para uso de classificação de coeficientes de regressão para classificar necessidades de manutenção,
- d) E, ilustram-se ocorrências nos segmentos observados para verificar as deduções decorrentes.

5.1 Ordem de prioridade de intervenções

Para verificar a ordem de prioridade de intervenção que, do ponto de vista de quem viaja pelos segmentos observados, pode-se usar a ordem crescente da estimativa de notas atribuídas pelos avaliadores. Convém, entretanto ressaltar que “qual o tipo de intervenção” é decisão técnica que exige aprofundamentos nos estudos sobre a seção transversal e os equipamentos de drenagem da rodovia.

A Tabela 36 resume a ordenação dos segmentos observados em ordem de prioridade de intervenção crescente, a mesma das notas estimadas usando a função de estimativa de notas obtida.

Mas, para identificar recomendações de ações e intervenção nos equipamentos de drenagem e seções de rodovia de maneira coerente com a qualidade de viagem (PALMA, 2000) pode-se classificar, em ordem crescente, o módulo dos coeficientes da função de estimativa (que podem ser interpretados como “medida do volume de participação” de dada variável). Quanto menor o coeficiente, maior a probabilidade de alterar a distribuição de notas fornecidas pelos avaliadores, ou os que usem a via, com alterações nas medidas das variáveis que participam da regressão.

Tabela 36 – Ordem de prioridade de intervenção nos segmentos observados

Segmento	Estimativa de nota	Ordem de prioridade de intervenção
24	1,17	1
19	1,64	2
15	1,78	3
50	2,16	4
28	2,22	5
13	2,33	6
53	2,33	6
14	2,34	8
43	2,38	9
26	2,45	10
31	2,47	11
46	2,52	12
52	2,71	13
35	2,74	14
49	2,77	15
51	2,78	16
42	2,88	17
25	2,89	18
22	2,92	19
12	2,96	20
20	2,97	21
16	3,04	22
21	3,15	23
45	3,15	23
48	3,23	25
39	3,28	26
18	3,41	27
41	3,51	28
30	3,53	29
47	3,53	29
17	3,60	31
23	3,71	32
27	3,77	33
11	3,78	34
29	4,01	35
38	4,07	36
54	4,21	37
40	4,28	38
32	4,39	39
37	4,68	40
44	5,10	41
34	5,14	42
36	5,49	43
33	5,54	44

Observação: valores "acima de cinco" só possuem significado numérico, porque a nota máxima atribuída a um segmento é "cinco".

A Tabela 37 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 37 - Ordem de coeficientes de regressão associados às variáveis que mais participam da função de estimativa das notas e indicações sobre explicações sobre qualidade de viagem

Segmento	Coefficiente	Sugestão decorrente
Declividade de faixa para tráfego à esquerda	0,1976	Há necessidade de harmonizar as declividades à esquerda com a sensação de conforto de quem viaja
Classificação de presença de erosão	0,2012	A erosão dá sensação de insegurança
Declividade de faixa para tráfego direita	0,2035	Há necessidade de harmonizar as declividades à direita com a sensação de conforto de quem viaja, mas é mais crítico à esquerda
Larguras de lateral esquerda	0,2227	Há sensação de confinamento provocada pelas dimensões à esquerda
Larguras de acostamento esquerdo	0,2310	
Número de Froude à esquerda	0,3089	Fluxo rápido é associado à erosão e insegurança, mais visível à esquerda
"n" lateral direita	0,4662	
Declividades longitudinais da faixa à esquerda	0,4838	
Capacidade hidráulica (m3/s), à esquerda	0,4845	
Energia à direita (m)	0,5851	
Classificação de saídas de água	0,6504	A estética da faixa da rodovia é uma característica responsável por sensação de segurança e conforto
Classificação de capacidade	0,6896	
Limpeza de equipamentos	0,6930	
Conservação de equipamentos	0,8066	

5.2 A comparação entre estimativas e notas de avaliadores

A Tabela 38 resume a estimativa de notas aos segmentos avaliados, obtidas por substituição das medidas sobre as variáveis que participam da regressão (Tabela 35) na função de estimativa, e também as notas emitidas pelos avaliadores.

Tabela 38 – Estimativa de notas usando a função de estimativa obtida

Segmento	Estimativa	Nota de avaliador	Segmento	Estimativa	Nota de avaliador
11	3,78	4,36	33	5,54	2,33
12	2,96	4,08	34	5,14	2,39
13	2,33	4,19	35	2,74	1,56
14	2,34	4,11	36	5,49	2,53
15	1,78	4,08	37	4,68	2,64
16	3,04	4,22	38	4,07	2,47
17	3,60	3,75	39	3,28	2,47
18	3,41	3,97	40	4,28	2,08
19	1,64	4,11	41	3,51	2,61
20	2,97	4,03	42	2,88	3,61
21	3,15	3,89	43	2,38	3,67
22	2,92	3,69	44	5,10	4,36
23	3,71	3,75	45	3,15	4,28
24	1,17	3,97	46	2,52	4,06
25	2,89	3,83	47	3,53	3,50
26	2,45	3,06	48	3,23	3,61
27	3,77	3,69	49	2,77	3,39
28	2,22	3,33	50	2,16	3,44
29	4,01	3,44	51	2,78	3,11
30	3,53	2,67	52	2,71	3,50
31	2,47	1,81	53	2,33	3,58
32	4,39	1,75	54	4,21	3,33

Observação: valores "acima de cinco" só possuem significado numérico, porque a nota máxima atribuída a um segmento é "cinco".

A Figura 13 ilustra e facilita a visualização da comparação entre dados da Tabela 38.

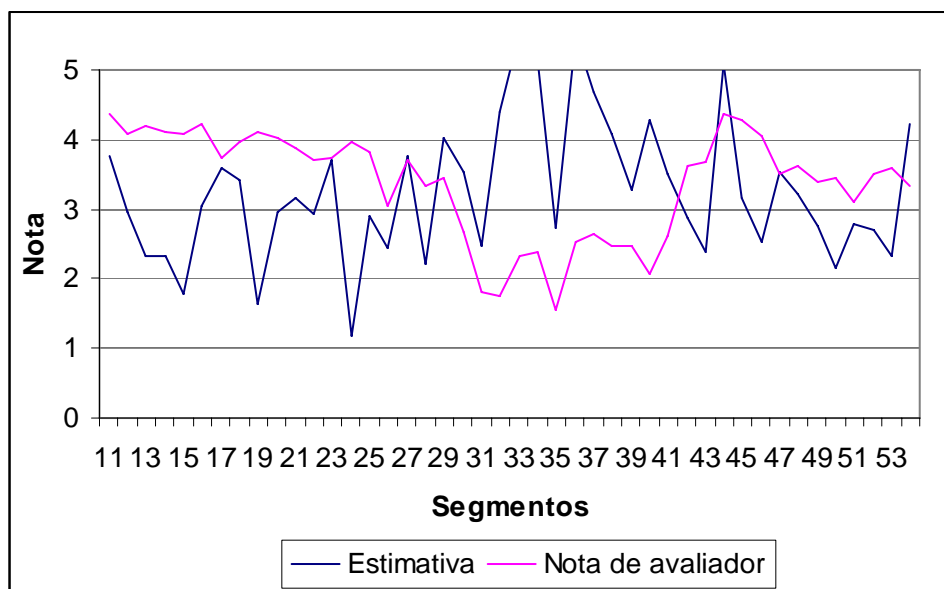


Figura 13 – Comparação entre notas obtidas com a função de estimativa e as médias de notas emitidas pelos avaliadores

A Tabela 39 contém as estimativas de diferenças e médias de diferenças nos tipos de segmentos observados.

Se analisados os resultados expostos na Tabela 39, com auxílio do que se ilustra na Figura 13 pode-se concluir que:

- a) Nos segmentos do tipo “mantidos e reconstruídos” as diferenças tenderiam a menores do que zero;
- b) Nos segmentos com maior tempo de uso, pavimentos e superfície de movimento de veículos em piores condições, a média de diferenças tende a ser maiores do que zero.

Tabela 39 – Diferenças e médias de diferenças entre estimativas e notas de avaliadores

Segmento	Diferenças entre estimativas e notas de avaliador		Nome e descrição	Média de diferenças entre estimativas e notas de avaliador
11	-0,58	Red	Araraquara – Gavião Peixoto 20 segmentos mantidos e reconstruídos	-0,9275
12	-1,12			
13	-1,86			
14	-1,77			
15	-2,3			
16	-1,18			
17	-0,15			
18	-0,56			
19	-2,47			
20	-1,06			
21	-0,74			
22	-0,77			
23	-0,04			
24	-2,8			
25	-0,94			
26	-0,61			
27	0,08			
28	-1,11			
29	0,57			
30	0,86			
31	0,66	Green	Gavião Peixoto – Nova Paulicéia 4 segmentos idade maior que 20anos	2,315
32	2,64			
33	3,21			
34	2,75			
35	1,18	Orange	Nova Paulicéia – Nova Europa 7 segmentos idade maior que 20anos	1,67
36	2,96			
37	2,04			
38	1,6			
39	0,81			
40	2,2			
41	0,9			
42	-0,73	Blue	Nova Europa – Trevo SP 331 2 segmentos, idade 15 anos	-1,01
43	-1,29			
44	0,74	Purple	Trevo SP 331 – Ligação a Gavião Peixoto 4 segmentos mantidos e reconstruídos	-0,475
45	-1,13			
46	-1,54			
47	0,03			
48	-0,38	Green	SP331 a Gavião Peixoto 7 segmentos – idade 8 anos	-0,539
49	-0,62			
50	-1,28			
51	-0,33			
52	-0,79			
53	-1,25			
54	0,88			

5.3 Ilustração de evidências da validade das relações identificadas pelo estudo da função de estimativa

A descrição, através de fotos dos segmentos observados, na ordem de prioridade de intervenções, listada na Tabela 36 é, no presente item, a ancora dos raciocínios que se fez para ilustrar o que se expôs nos itens 5.1 e 5.2.

A Figura 14 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 24, um segmento reconstruído, primeiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). O segmento tem erosão no acostamento à esquerda e vegetação nas laterais provocados pela má condução de água e falta de manutenção.

Da Tabela 37 pode-se obter, por exemplo, a orientação decorrente da sugestão “harmonizar as declividades a esquerda para aumentar a sensação de conforto de quem viaja”, porque o coeficiente de regressão desta variável participa significativamente da função de estimativa de notas.



Figura 14 - Aparência do segmento 24

A Figura 15 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 19, segundo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Não há equipamento específico para drenar. Parte da lateral revestida com betume tem início de erosão; e após chuva ocorrem poças de água. Uma das laterais é revestida por grama.



Figura 15 - Aparência do segmento 19

A Figura 16 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 15, reconstruído, terceiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Parte do segmento tem equipamento para drenar. Há erosão no acostamento e entulho na lateral. Após chuva, água permanece no acostamento e nas saídas laterais.



Figura 16 - Aparência do segmento 15

A Figura 17 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 50, de idade menor que a média dos segmentos não reconstruídos, quarto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36), onde parte possui grama alta, impedindo a água de chuva sair com rapidez para as laterais, escoando sobre a pista de rolamento.



Figura 17 - Aparência do segmento 50

A Figura 18 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 28, reconstruído, quinto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Lateral com início de erosão.



Figura 18 - Aparência do segmento 28

A Figura 19 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 13, reconstruído, sexto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36), onde se mostra o acostamento erodido e com entulhos jogados, prejudicando o escoamento da água.



Figura 19 - Aparência do segmento 13

A Figura 20 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 53, de idade menor que a média dos segmentos não reconstruídos, sexto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). O segmento possui parte do acostamento em nível mais elevado que a pista de rolamento, impedindo a água de chuva sair com rapidez para as laterais, percorrendo longitudinalmente sobre a pista de rolamento.



Figura 20 - Aparência do segmento 53

A Figura 21 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 14, reconstruído, oitavo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36), onde a lateral possui alta vegetação e entulhos, prejudicando a drenagem do pavimento.



Figura 21 - Aparência do segmento 14

A Figura 22 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 43, 15 anos, nono na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36), não reconstruído. Não se identificou qualquer indicação sobre o comportamento de equipamentos para drenar.



Figura 22 - Aparência do segmento 43

A Figura 23 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 26, reconstruído, décimo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Lateral com presença de vegetação alta.



Figura 23 - Aparência do segmento 26

A Figura 24 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 31, décimo primeiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). O desgaste do revestimento é sentido pelo forte ruído causado pelo contato com pneus do veículo. Há remendos na superfície do pavimento. Há claras evidências de necessidade de conservação da pista. Mas, não se identifica evidências quanto à drenagem.



Figura 24 - Aparência do segmento 31

A Figura 25 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 46, reconstruído, décimo segundo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Há muita vegetação nas laterais.



Figura 25 - Aparência do segmento 46

A Figura 26 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 52, décimo terceiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36).



Figura 26 - Aparência do segmento 52

A Figura 27 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 35, décimo quarto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Há equipamento para drenar na saída de Nova Paulicéia para Nova Europa, mas neste segmento não houve manutenção e reconstrução, continuando em condições ruins.



Figura 27 - Aparência do segmento 35

A Figura 28 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 49, décimo quinto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36), onde se mostra a presença de remendos.



Figura 28 - Aparência do segmento 49

A Figura 29 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 51, décimo sexto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Há presença de remendos na pista de rolamento e o acostamento fica intransitável em dias de chuva.



Figura 29 - Aparência do segmento 51

A Figura 30 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 42, décimo sétimo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). A pista de rolamento tem desgaste e estrias longitudinais. O acostamento está em nível abaixo da pista de rolamento, e,

ora está gramado, ora não. Há locais em que, durante chuva, a água atravessa de um lado para o outro da pista.



Figura 30 - Aparência do segmento 42

A Figura 31 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 25, décimo oitavo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Não há equipamento para drenar. Pequena presença de areia no acostamento. Na lateral há pouca grama, e ocorre início de erosão em pé de talude de corte.



Figura 31 - Aparência do segmento 25

A Figura 32 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 22, décimo nono na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Segmento sem equipamento para drenar. Em alguns lugares o acostamento asfaltado tem areia e apresenta início de erosão. Parte da lateral gramada e a parte sem grama com erosão.



Figura 32 - Aparência do segmento 22

A Figura 33 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 12, vigésimo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Após três dias consecutivos de chuva há água e muita areia no acostamento, onde em alguns lugares está começando a erodir.



Figura 33 - Aparência do segmento 12

A Figura 34 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 20, vigésimo primeiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36), onde mostra a lateral coberta por vegetação alta, prejudicando o escoamento da água.



Figura 34 - Aparência do segmento 20

A Figura 35 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 16, vigésimo segundo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Em dias de chuva, o volume de água sobre a pista e acostamento é grande. Entre acostamento e pé de talude de corte a erosão é crescente devido a forte enxurrada que é ali formada.



Figura 35 - Aparência do segmento 16

A Figura 36 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 21, vigésimo terceiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). O segmento não tem equipamento para drenar. O acesso à via secundária é em terra e tem erosão. Parcela de acostamento tem erosão. Parcela da lateral tem vegetação ou capim.



Figura 36 - Aparência do segmento 21

A Figura 37 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 45, vigésimo terceiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Segmento reconstruído. A maior parte da lateral possui vegetação alta.



Figura 37 - Aparência do segmento 45

A Figura 38 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 48, vigésimo quinto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Em dias de chuva o acostamento fica intransitável.



Figura 38 - Aparência do segmento 48

A Figura 39 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 39, vigésimo sexto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Na curva, quando chove, a água leva material terroso para a pista. Há buracos e remendos.



Figura 39 - Aparência do segmento 39

A Figura 40 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 18, vigésimo sétimo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Segmento sem equipamentos para drenar. Há locais onde a água de chuva escorre pela lateral e acostamento, e depositam -se areia e entulho.



Figura 40 - Aparência do segmento 18

A Figura 41 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 41, vigésimo oitavo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Há presença de buracos, remendos e estrias longitudinais na pista.



Figura 41 Aparência do segmento 41

A Figura 42 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 47, vigésimo nono na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Parte do segmento está com o acostamento coberto por capim alto e parte com erosão.



Figura 42 - Aparência do segmento 47

A Figura 43 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 30, vigésimo nono na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36), onde mostra marcas de freadas na pista de rolamento.



Figura 43 - Aparência do segmento 30

A Figura 44 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 17, trigésimo primeiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Em alguns lugares há equipamentos para drenar e em outros não. Faixa da lateral erodida.



Figura 44 - Aparência do segmento 17

A Figura 45 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 23, trigésimo segundo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). É a entrada da Fazenda Montana. Há equipamento para drenar em parte do segmento. Há capim nascendo dentro do equipamento para drenar e entulhos (árvore seca). Entre o acostamento asfaltado e o equipamento para drenar há presença de areia e de capim. Parte do segmento tem laterais com vegetação fazendo com que em dia de chuva a água escorra pelo acostamento e ali deposite areia. Acostamento estreito devido à ponte que se segue.



Figura 45 - Aparência do segmento 23

A Figura 46 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 27, trigésimo terceiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Parte do segmento tem equipamento para drenar e parte não. Em dia de chuva a água que escoar pela lateral vai para o acostamento e ali deposita areia e entulho. Início de erosão na lateral.



Figura 46 - Aparência do segmento 27

A Figura 47 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 11, trigésimo quarto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Há equipamento para drenar água

de chuva somente no lado direito da via. No lado esquerdo, a grama alta impede a água escoar para fora da via.



Figura 47 - Aparência do segmento 11

A Figura 48 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 29, trigésimo quinto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Parte tem equipamento para drenar. Parte de acostamento tem grama, parte sem grama com início de erosão. Há rotatória com acúmulo de água e acostamento com terra.



Figura 48 - Aparência do segmento 29

A Figura 49 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 38, trigésimo sexto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Parte do segmento tem acostamento com grama alta e parte sem grama. Há buracos na pista e remendos, além de estrias longitudinais e desgaste. A saída secundária à direita permite o acúmulo de areia sobre a pista, erosão e presença de água de chuva por mais tempo.



Figura 49 - Aparência do segmento 38

A Figura 50 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 54, trigésimo sétimo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Não há evidência de acúmulo de água sobre o pavimento. Há alguns remendos.



Figura 50 - Aparência do segmento 54

A Figura 51 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 40, trigésimo oitavo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Não há evidência de acúmulo de água sobre o pavimento.



Figura 51 - Aparência do segmento 40

A Figura 52 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 32, trigésimo nono na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Não há evidência de acúmulo de água sobre o pavimento.



Figura 52 - Aparência do segmento 32

A Figura 53 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 37, quadragésimo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Boas condições da faixa de rolamento.



Figura 53 - Aparência do segmento 37

A Figura 54 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 44, quadragésimo primeiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Segmento reconstruído com acostamento asfaltado. Laterais com equipamentos para drenar, permitindo que a água na pista em dia de chuva escoe para fora do acostamento.

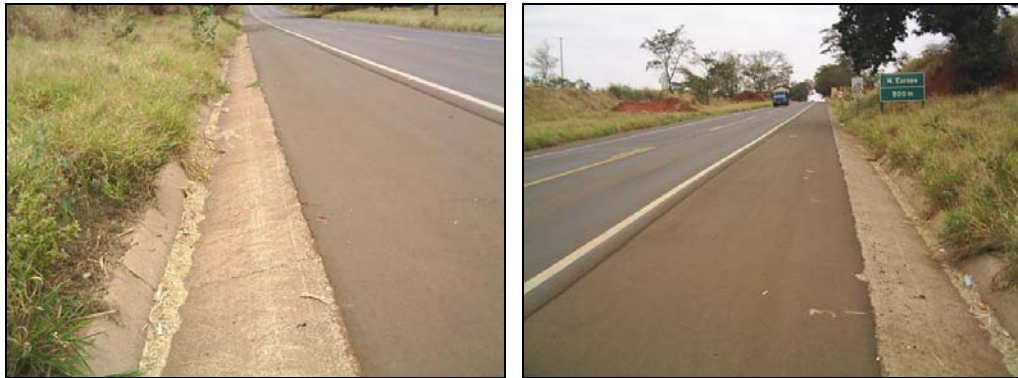


Figura 54 - Aparência do segmento 44

A Figura 55 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 34, quadragésimo segundo na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Há equipamento para drenar do lado esquerdo do segmento e água de chuva acumulada nas laterais. Do lado direito do segmento o acostamento hora é gramado, hora encontra-se sem grama. Há buracos e remendos. Acostamento tem inclinação que permite a saída rápida de água de chuva para fora do pavimento quando não for bloqueada por grama. Onde o acostamento tem grama, ela está mais alta que a pista de rolamento e impede a água de chuva sair para as laterais. Há remendos e dois quebra - molas. Na zona urbana de Nova Paulicéia.



Figura 55 - Aparência do segmento 34

A Figura 56 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 36, quadragésimo terceiro na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Não há evidências de acúmulo de água na pista de rolamento.



Figura 56 - Aparência do segmento 36

A Figura 57 ilustra, com duas fotos, a aparência do segmento 33, quadragésimo quarto na lista de prioridades para intervenção (Tabela 36). Não há evidências de acúmulo de água na pista de rolamento.



Figura 57 - Aparência do segmento 33

6 CONCLUSÕES

Mostrou-se que a análise de regressão é eficiente para identificar processos para definir a ordem de prioridade de manutenção de equipamentos de drenagem de segmentos de vias e mesmo contribuir para orientar a escolha de ações coerentes com a melhoria de qualidade de viagens por rodovias porque:

A bibliografia adotada indicou que toda a seção transversal da rodovia, sua geometria e materiais participam, define e interfere em notas para a qualidade de viagens emitidas por avaliadores treinados, representantes dos que viajam.

Outra parcela da bibliografia relata as principais maneiras de se aplicar hidrologia e hidráulica à drenagem de rodovias. Toda seção de rodovias vicinais participa do processo de drenagem, e há relações entre o estado de equipamentos para drenagem e a própria qualidade de viagem.

A combinação entre resultados de estimativas de vazões e características de fluxo fez publicar produtos de estudos que relacionam a drenagem e a qualidade de viagem por rodovias. A análise de regressão e interpretação da função de estimativa de notas é uma ferramenta da estatística útil para obtenção de dados e argumentos para ampliar a informação sobre o comportamento da qualidade de viagens em função de características da geometria e da drenagem de rodovias.

A função de estimativa, obtido no estudo de caso, e que incluía dados sobre avaliação de drenagem e a classificação de estimativas de notas aos segmentos fez sugerir processos para identificar a ordem de prioridade de intervenções sobre segmentos de rodovias coerentes com a melhoria de qualidade de viagem. Da mesma forma fez comparar estimativas de notas e orientar para classificar prioridades de

manutenção. Os produtos obtidos ilustraram ocorrências nos segmentos observados que podem verificar as deduções decorrentes através de fotografias.

Para verificar a ordem de prioridade de intervenção, do ponto de vista de quem viaja pelos segmentos observados, pode-se usar a ordem crescente das notas atribuídas pelos avaliadores.

“Qual o tipo de intervenção” é decisão técnica, que exige aprofundamentos nos estudos sobre a seção transversal e os equipamentos de drenagem da rodovia. Mas, identificar recomendações de ações e intervenção nos equipamentos de drenagem e seções de rodovia de maneira coerente com a qualidade de viagem pode ter o auxílio de classificação do módulo dos coeficientes da função de estimativa.

A análise de regressão faz estimativas que mantêm as médias de medidas observadas. Ou seja, a função de estimativa obtida por análise de regressão para estimar as notas que os que viajem pelos segmentos analisados fez classificar, de maneira indireta, a sensação de interferência na qualidade de viagens provocada pelos equipamentos de drenagem:

- a) Nos segmentos do tipo “mantidos e reconstruídos” os que viajam têm superfície de movimento de veículos em melhores condições, e por consequência, são mais sensíveis a visualizar os equipamentos de drenagem. Ou, no caso das vias vicinais, como as analisadas, toda a seção transversal da rodovia;
- b) Nos segmentos com maior tempo de uso, e pavimentos e superfície de movimento de veículos em piores condições, há maior tolerância com as ações da água e da drenagem.

Ou ainda, a convivência entre segmentos de rodovias vicinais mantidos e reconstruídos aumenta a demanda por ações que melhorem a drenagem, caso exista o desejo de melhorar a qualidade de viagem, conforme sentida pelos que usam aquelas vias.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS (1962). "The AASHO roads test: report 5 - pavement research" - HRB Special Report 61 E - Washington, D. C.
- AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1994). A Policy on Geometric Design of Highway and streets. Washington D.C.
- 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.
- AUSTROADS - Roads maintenance practice. (1991), Sydney.
- ÁVALOS, MARILDA SERRA (2005). Qualidade de viagens em rodovias e conseqüências de reconstrução e manutenção. São Carlos, 2005, 87 pág. Tese de doutoramento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M. (1976), Time series analysis, forecasting and control. Ed. rev. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- CAREY, W. N.; IRICK, P. E. (1960). The pavement serviceability - performance concept. Highway Research Board, 250. p. 40 - 58.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1986). Drenagem urbana. Manual de projeto. 3a. edição. CETESB. São Paulo.

- 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.
- 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.
- DNIT (2003a) -NORMA DNIT 006/2003 - PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. Brasília DF.
- DNIT (2003b) -NORMA DNIT 007/2003 – PRO: Levantamento da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias para gerência de pavimentos, estudos e projetos - Procedimento. Brasília DF.
- DNIT (2003c) -NORMA DNIT 008/2003 - PRO: Levantamento da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. Brasília DF.
- DNIT (2003d) -NORMA DNIT 009/2003 - PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. Brasília DF.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. (1981) Applied regression analysis. Second Edition. Wiley.
- 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 (Livredocência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1983). Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels. FHWA, Washington D.C.
- FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1984). "Drainage of Highway Pavements". United States Department of Transportation. Circular N°. 12. Virginia.
- 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.
- 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
- 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.
- GARG, A.; HOROWITZ, A.; ROSS, F. (1988). Establishing relationships between pavement roughness and perception of acceptability. Transport Research Record, n. 1196, p. 276 - 285.
- GEIPOT (2001) – Anuário Estatístico de Transportes – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – Ministério dos Transportes – Brasil, da internet. www.geipot.gov.br
- GEIPOT (2002) – Anuário Estatístico de Transportes – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – Ministério dos Transportes – Brasil, da internet. www.geipot.gov.br
- 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 Hydraulics 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 built for the user? ASTM Standardization News. v. 19, n. 2, p. 42 - 51.
- LEE, Shu Han (2003) - Projeto Geométrico de Estradas –Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1a edição.
- MARIOTONI, M. (1987). Rodovias vicinais: conceituação e importância. São Paulo. 118p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 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 (2005). STATISTICA 7.1. Programa para computador. Tulsa.
- 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.
- MILLS, F.C. (1969), Métodos estadísticos. Madrid: Aguilar.

- 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.
- PALMA, J. (2000). Da Avaliação de equipamentos para drenar à qualidade de viagens por rodovias. São Carlos, 90p. 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.
- 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.
- 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.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)