Campus de São Carlos

Tópicos sobre observação de drenagem
superficial de vias urbanas

Carlos Henrique Barreiro

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

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

**TÓPICOS SOBRE OBSERVAÇÃO DE
DRENAGEM SUPERFICIAL
DE VIAS URBANAS**

CARLOS HENRIQUE BARREIRO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Transportes (Estradas e Aeroportos)

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016928

Orientador: Professor Doutor José Bernardes Felex

São Carlos
1997

Class:	TESE
Curr:	0636
Tempo	T058/97

Área: Transportes

dt 0747279

B143p

Barreiro, Carlos Henrique

Tópicos sobre observação de drenagem superficial de vias urbanas /

Carlos Henrique Barreiro.--

São Carlos, 1997.

lv.

Dissertação (mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos -
Universidade de São Paulo, 1997

Orientador: Prof. Dr. José Bernardes Felex

1. Engenharia de Transportes - Infra-estrutura. I. Título

Ofereço este trabalho:

**A Deus,
À minha esposa Sandra,
Aos meus filhos Sara e Junior,
E, aos meus pais Agostinho e Áurea.**

Agradecimentos

Ao Professor Doutor *José Bernardes Felex*, nosso mestre, pela orientação segura, primordial durante a elaboração deste trabalho;

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro;

Aos Professores e funcionários do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, em especial aos amigos *Antonio Carlos Mariano* (pelo auxílio com os computadores); *Renato Motta Filho* e *Paulo Ceneviva* (pelo auxílio na captura das imagens) e *Eloisa Helena Belo* e *Nelson Ferreira França* (pelo auxílio técnico junto a coordenação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo);

Aos amigos do Departamento de Transportes;

Aos funcionários da Assessoria de Planejamento da Prefeitura Municipal de São Carlos, em especial aos engenheiros *Alguerto Genevícios* e *Paulo Vaz Filho*, pela contribuição no fornecimento de informações que tornaram possível este trabalho;

Ao Professor Doutor *Rodrigo de Mello Porto*, pelo fornecimento de material bibliográfico, pela atenção dedicada e valiosas sugestões;

Aos Diretores da Universidade de Uberaba – MG, em especial ao Magnífico Reitor Professor *Marcelo Palmério* e ao Diretor do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Professor *Márcio Augusto de Sousa Nogueira*, pelo apoio e compreensão;

A toda minha família, em especial ao meu cunhado Doutor *Luiz Henrique Mattoso* pelas sugestões, e,

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

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE FOTOS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUÇÃO	1
II. COMPONENTES DA DRENAGEM DE VIAS URBANAS.....	4
III. ESCOLHA E DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS PARA DRENAGEM.....	13
III.1. A ESTIMATIVA DE VAZÕES.....	14
III.2. MÉTODO RACIONAL E O USO DE TEORIA DA PROBABILIDADE	34
III.3. SOBRE A HIDRÁULICA NO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS PARA DRENAGEM.....	36
IV. SOBRE AS BOCAS-DE-LOBO	37
IV.1. ESCOLHA DO TIPO DE BOCA-DE-LOBO	48
IV.2. FATORES QUE AFETAM A CAPACIDADE DE CAPTAÇÃO DE BOCAS-DE-LOBO	51
IV.3. RESULTADOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE BOCA-DE-LOBO	52
IV.4. A FORMULAÇÃO PARA PROJETOS DE BOCAS-DE-LOBO SEGUNDO WILKEN (1978)	54
V. INTERFERÊNCIAS ENTRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E O TRÁFEGO	65

VI. SOBRE A CIDADE DE SÃO CARLOS E A DRENAGEM DE SUAS VIAS.....	75
VI.1. HISTÓRIA E CARACTERÍSTICAS DE SÃO CARLOS	75
VI.2. RELEVO, HIDROGRAFIA E CLIMA DE SÃO CARLOS	76
VI.3. A BACIA DO RIO GREGÓRIO	79
VI.4. SOBRE OS PRINCIPAIS TRECHOS OBSERVADOS	85
VI.5. SOBRE OS COMPONENTES DE DRENAGEM NOS TRECHOS OBSERVADOS	96
VI.6. OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE COMPONENTES DE DRENAGEM EM SÃO CARLOS.....	107
VI.7. INTERFERÊNCIAS ENTRE A DRENAGEM E O TRÁFEGO - 5 TRECHOS PRINCIPAIS.....	110
VI.8. OUTROS FATORES QUE COMPROMETEM A REDE DE DRENAGEM DE SÃO CARLOS	115
VII. O PROCESSO PARA PROJETO ADOTADO PELA PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS	116
VII.1. O USO DO MÉTODO RACIONAL E ESTIMATIVA DE VAZÕES EM SÃO CARLOS	116
VII.2. AS BOCAS-DE-LOBO EM SÃO CARLOS	124
VIII. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	127
VIII.1. CONCLUSÕES DE ANÁLISES SOBRE INFORMAÇÕES GERAIS OBTIDAS	128
VIII.2. SOBRE ORGANIZAÇÃO E PROJETO DE DRENAGEM DE VIAS EM SÃO CARLOS.....	135
VIII.3. SOBRE A ANÁLISE DE DADOS OBTIDOS EM CAMPO.....	137
VIII.4. CONCLUSÃO FINAL.....	139
IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140
X. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	143

Lista de figuras

FIGURA 1 - GUIAS, SARJETAS, ETC. EM SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DE VIA URBANA	6
FIGURA 2 - BOCA-DE-LOBO SIMPLES COM DEPRESSÃO	9
FIGURA 3 - BOCA-DE-LOBO COM GRADE	10
FIGURA 4 - BOCA-DE-LOBO COMBINADA COM DEPRESSÃO	11
FIGURA 5 - ILUSTRAÇÃO: TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E SEUS CONCEITOS	17
FIGURA 6 - ESQUEMA DO EQUIPAMENTO UTILIZADO PELO CTH (1983)	39
FIGURA 7 - ESQUEMA DE BOCA-DE-LOBO SEM DEPRESSÃO NA SARJETA	40
FIGURA 8 - ESQUEMA DE BOCA-DE-LOBO COM DEPRESSÃO NA SARJETA	41
FIGURA 9 - BOCA-DE-LOBO COM RANHURA LONGITUDINAL	42
FIGURA 10 - GRADE DE BOCA-DE-LOBO COM BARRAS LONGITUDINAIS PARALELAS - FHWA (1984, PÁGINA 40)	44
FIGURA 11 - GRADE DE BOCA-DE-LOBO COM BARRAS LONGITUDINAIS PARALELAS - FHWA (1984, PÁGINA 41)	44
FIGURA 12 - GRADE DE BOCA-DE-LOBO COM LÂMINAS CURVAS - FHWA (1984, PÁGINA 42)	45
FIGURA 13 - GRADE COM RETÍCULOS (LÂMINAS CRUZADAS) - FHWA (1984, PÁGINA 45)	45
FIGURA 14 - GRADE DE BOCA-DE-LOBO COM LÂMINAS INCLINADAS A 45° - FHWA (1984, PÁGINA 43)	46
FIGURA 15 - GRADE DE BOCA-DE-LOBO COM LÂMINAS A 30° - FHWA (1984, PÁGINA 44)	47
FIGURA 16 - CANAL LATERAL DE VIA (GUIA E SARJETA)	55
FIGURA 17 - PARÂMETROS REPRESENTATIVOS DE BOCAS-DE-LOBO COMBINADA EM PONTOS INTERMEDIÁRIOS DAS SARJETAS	60
FIGURA 18 - FLUXO DE ÁGUA SUPERFICIAL QUANDO HÁ POUCAS BOCAS-DE-LOBO	68
FIGURA 19 - ESCOAMENTO DE ÁGUA PELO PAVIMENTO E SARJETA, QUANDO AS BOCAS-DE-LOBO CAPTAM TODA A ÁGUA SUPERFICIAL	70
FIGURA 20 - ESCOAMENTO DE ÁGUA PELO PAVIMENTO, QUANDO AS BOCAS-DE-LOBO NÃO CAPTAM TODA ÁGUA SUPERFICIAL	70

FIGURA 21 - SEÇÃO TRANSVERSAL DE RUA, MAL EXECUTADA.....	72
FIGURA 22 - SEÇÃO TRANSVERSAL DE RUA, RECOMENDADA.....	72
FIGURA 23 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	76
FIGURA 24 - BACIA DE DRENAGEM DO RIO GREGÓRIO E SEUS LIMITES.....	79
FIGURA 25 - LOCALIZAÇÃO DOS TRECHOS DE RUAS NA BACIA DO RIO GREGÓRIO.....	82
FIGURA 26 - CLINÔMETRO DE SUPERFÍCIE COM NÍVEL DE BOLHA.....	83
FIGURA 27 - PLANTA DE TRECHO OBSERVADO NA RUA PADRE TEIXEIRA.....	85
FIGURA 28 - PLANTA DE TRECHO OBSERVADO NA RUA SETE DE SETEMBRO	87
FIGURA 29 - PLANTA DE TRECHO OBSERVADO NA RUA SÃO PAULO	88
FIGURA 30 - PLANTA DE TRECHO OBSERVADO NA RUA SANTA GERTRUDES	91
FIGURA 31 - PLANTA DE TRECHO OBSERVADO NA RUA XV DE NOVEMBRO.....	93
FIGURA 32 - CURVAS DE INTENSIDADE DE CHUVA PARA SÃO CARLOS.....	120
FIGURA 33 - ILUSTRAÇÃO DOS VALORES a , b e e , PARA A ESTIMATIVA DE DECLIVIDADE LONGITUDINAL I	123
FIGURA 34 - BOCA-DE-LOBO COMBINADA, PARA GALERIAS COM DIÂMETRO DE ATÉ 0,60 METRO.....	125
FIGURA 35 - BOCA-DE-LOBO COMBINADA EM SÉRIE, PARA GALERIAS COM DIÂMETRO DE ATÉ 0,60 METRO..	125
FIGURA 36 - SEÇÃO TRANSVERSAL PADRÃO PARA OS TIPOS DE BOCAS-DE-LOBO ILUSTRADOS NAS FIGURAS 34 E 35.....	126

Lista de fotos

FOTO 1 - INUNDAÇÃO NA BAIXADA DO MERCADO MUNICIPAL EM SÃO CARLOS, SP, 09/05/95	1
FOTO 2 - SARJETÃO NO CRUZAMENTO DE VIAS	7
FOTO 3 - BOCA-DE-LOBO SIMPLES (EPISCOPAL PRÓXIMO AO CRUZAMENTO COM A COMENDADOR ALFREDO MAFFEI, SÃO CARLOS SP)	8
FOTO 4 - DETALHE DA BOCA-DE-LOBO COM GRADE. (RUA RUI BARBOSA ENTRE MAJOR JOSÉ INÁCIO E CONDE DO PINHAL, SÃO CARLOS SP)	10
FOTO 5 - DETALHE DA BOCA-DE-LOBO COMBINADA. (DOM PEDRO II COM MARECHAL DEODORO, SÃO CARLOS SP)	11
FOTO 6 - DETALHE DE BOCA-DE-LOBO MÚLTIPLA/COMBINADA (DOM PEDRO II COM SETE DE SETEMBRO, SÃO CARLOS SP)	12
FOTO 7 - DETALHE DE BOCA-DE-LOBO MÚLTIPLA COM GRADE (RUI BARBOSA COM MAJOR JOSÉ INÁCIO, SÃO CARLOS SP)	12
FOTO 8 - BOCA-DE-LOBO COM RANHURA LONGITUDINAL EM CRUZAMENTO DE VIA FHWA (1984, PÁGINA 65)	43
FOTO 9 - BOCA-DE-LOBO COMBINADA COM GRADE DE LÂMINAS INCLINADAS A 45°	46
FOTO 10 - BOCA-DE-LOBO COMBINADA, COM PARTE DA BOCA-DE-LOBO SIMPLES À MONTANTE DA BOCA-DE-LOBO COM GRADE - FHWA (1984, PÁGINA 67)	50
FOTO 11 - ALAGAMENTO DO CRUZAMENTO DA RUA SETE DE SETEMBRO COM A SÃO PAULO EM SÃO CARLOS, POR FALHA DE CAPTAÇÃO DE BOCA-DE-LOBO	66
FOTO 12 - JATO DE ÁGUA - RUA SETE DE SETEMBRO	68
FOTO 13 - INFLUÊNCIA DA BOCA-DE-LOBO EM POSIÇÃO DE ESTACIONAMENTO	69
FOTO 14 - DETALHE DA LARGURA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SARJETA (>60CM)	71
FOTO 15 - ALTERAÇÃO EM ENTRADA EM BOCA-DE-LOBO CAUSADO POR RECAPEAMENTOS SUCESSIVOS	73
FOTO 16 - CAMINHÃO DE LIMPEZA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS - SP	74
FOTO 17 - ACÚMULO DE ÁGUA SOBRE O PAVIMENTO À RUA PADRE TEIXEIRA, SÃO CARLOS SP, 13/01/95	98
FOTO 18 - ALAGAMENTO NA RUA SETE DE SETEMBRO, EM SÃO CARLOS SP, EM 13/01/95	101

FOTO 19 - BOCA-DE-LOBO COMBINADA, À RUA SÃO PAULO, NO CRUZAMENTO COM A RUA SETE DE SETEMBRO, SÃO CARLOS SP, EM 13/01/95	102
FOTO 20 - GUIAS ENCOBERTAS POR ENTULHO NA RUA SANTA GERTRUDES, SÃO CARLOS SP, EM 20/01/95	104
FOTO 21 - BOCA-DE-LOBO COM GRADE OBSTRUÍDA NA RUA SANTA GERTRUDES, SÃO CARLOS SP, EM 13/01/95	104
FOTO 22 - BOCA-DE-LOBO COM EROÇÃO DE BORDA APÓS CHUVA INTENSA - EM CRUZAMENTO DA RUA XV DE NOVEMBRO COM ANTÔNIO ÁLVARO ZUIM, SÃO CARLOS SP, EM 09/05/95	106
FOTO 23 - DEFEITO ESTRUTURAL EM BOCA-DE-LOBO COMBINADA	109
FOTO 24 - ESPIRO D'ÁGUA NA RUA PADRE TEIXEIRA, SÃO CARLOS SP, EM 13/01/95	111
FOTO 25 - DEPRESSÕES ACENTUADAS NAS SARJETAS E ALTERAÇÕES NAS POSIÇÕES DE ESTACIONAMENTO NA RUA PADRE TEIXEIRA, SÃO CARLOS SP, EM 13/01/95	111
FOTO 26 - ALAGAMENTO NA RUA SETE DE SETEMBRO, SÃO CARLOS SP, EM 13/01/95	112
FOTO 27 - BOCA-DE-LOBO SEM MANUTENÇÃO - RUA SANTA GERTRUDES ENTRE AS RUAS NÚNCIO CARDINALLI E SEGISMUNDO PASSIONISTA, SÃO CARLOS SP, EM 13/01/95...	114

Lista de tabelas

TABELA 1 - PERÍODO DE RETORNO PARA ESTIMATIVA DE ALTURAS DE CHUVA SEGUNDO O WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1970)	20
TABELA 2 - PORCENTAGEM DE IMPERMEABILIZAÇÃO, p^i , E NÚMERO DE DEFLÚVIO, N , U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975).....	32
TABELA 3 - VALORES DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE, n , SEGUNDO MANNING.	56
TABELA 4 - VALORES DE k , SEGUNDO A JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946).....	62
TABELA 5 - EVOLUÇÃO DA ÁREA LOTEADA NA BACIA DO RIO GREGÓRIO, ENTRE 1970 E 1982	81
TABELA 6 - DEFINIÇÕES DE CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DE TRECHOS DE RUA	84
TABELA 7 - DEFINIÇÕES USADAS DURANTE O ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS DAS BOCAS-DE-LOBO	84
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS DE TOPOGRAFIA NA RUA PADRE TEIXEIRA.....	86
TABELA 9 - CARACTERÍSTICAS DE TOPOGRAFIA NA RUA SETE DE SETEMBRO	87
TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS DE TOPOGRAFIA NA RUA SÃO PAULO	89
TABELA 11 - BOCAS-DE-LOBO NA RUA SÃO PAULO	90
TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS DE TOPOGRAFIA NA RUA SANTA GERTRUDES	91
TABELA 13 - BOCAS-DE-LOBO NA RUA SANTA GERTRUDES	92
TABELA 14 - CARACTERÍSTICAS DE TOPOGRAFIA NA RUA XV DE NOVEMBRO.....	94
TABELA 15 - BOCAS-DE-LOBO NA RUA XV DE NOVEMBRO	95
TABELA 16 - CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE RUAS	96
TABELA 17 - CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE GUIAS	96
TABELA 18 - CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE SARJETAS.....	97
TABELA 19 - CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE SARJETÕES.....	97
TABELA 20 - CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE BOCAS-DE-LOBO	97
TABELA 21 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ELEMENTOS COMPONENTES DA DRENAGEM NA RUA PADRE TEIXEIRA	98
TABELA 22 - RESUMO DE RESULTADOS DE OBSERVAÇÕES EM CAMPO NA RUA PADRE TEIXEIRA.....	99

TABELA 23 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ELEMENTOS COMPONENTES DA DRENAGEM NA RUA SETE DE SETEMBRO.....	100
TABELA 24 - RESUMO DE RESULTADOS DE OBSERVAÇÕES EM CAMPO NA RUA SETE DE SETEMBRO	100
TABELA 25 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ELEMENTOS COMPONENTES DA DRENAGEM NA RUA SÃO PAULO.....	101
TABELA 26 - RESUMO DE RESULTADOS DE OBSERVAÇÕES EM CAMPO SOBRE A RUA SÃO PAULO	102
TABELA 27 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ELEMENTOS COMPONENTES DA DRENAGEM NA RUA SANTA GERTRUDES	103
TABELA 28 - RESUMO DE RESULTADOS DE OBSERVAÇÕES EM CAMPO NA RUA SANTA GERTRUDES	103
TABELA 29 - RESUMO DE CLASSIFICAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ELEMENTOS COMPONENTES DA DRENAGEM NA RUA XV DE NOVEMBRO	105
TABELA 30 - RESUMO DE RESULTADOS DE OBSERVAÇÕES EM CAMPO NA RUA XV DE NOVEMBRO	106
TABELA 31 - RESUMO DE INTERFERÊNCIAS COM OS TRÁFEGOS DE VEÍCULOS OU PEDESTRES NA RUA PADRE TEIXEIRA.....	110
TABELA 32 - RESUMO DE INTERFERÊNCIAS ENTRE O ESCOAMENTO DE ÁGUA E OS TRÁFEGOS DE VEÍCULOS OU PEDESTRES NA RUA SETE DE SETEMBRO	112
TABELA 33 - RESUMO DE INTERFERÊNCIAS ENTRE O ESCOAMENTO DE ÁGUA E OS TRÁFEGOS DE VEÍCULOS OU PEDESTRES NA RUA SÃO PAULO	113
TABELA 34 - RESUMO DE INTERFERÊNCIAS ENTRE O ESCOAMENTO DE ÁGUA E OS TRÁFEGOS DE VEÍCULOS OU PEDESTRES NA RUA SANTA GERTRUDES	113
TABELA 35 - RESUMO DE INTERFERÊNCIAS ENTRE O ESCOAMENTO DE ÁGUA E OS TRÁFEGOS DE VEÍCULOS OU PEDESTRES NA RUA QUINZE DE NOVEMBRO	115

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE	American Society of Civil Engineers
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CTH	Centro Tecnológico de Hidráulica
EM	Especificação Municipal
FHWA	Federal Highway Administration
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
JHU	Johns Hopkins University
SNLCS	Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo
STT	Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos
USSCS	United States Soil Conservation Service
WPCF	Water Pollution Control Federation

Lista de símbolos

A	Área da bacia de drenagem (ha); ou, Área da seção transversal da sarjeta em frente à boca-de-lobo (m^2)
A_u	Área útil da grelha (m^2)
A_o	Área da seção transversal de escoamento da sarjeta (m^2)
a	Altura da depressão, medida a partir da borda interna da sarjeta, na extremidade de montante da boca-de-lobo (m)
a'	Altura da depressão medida a partir da borda externa da sarjeta, na extremidade à montante da boca-de-lobo (m)
b	Altura da depressão, medida a partir da borda interna da sarjeta, na extremidade à jusante da boca-de-lobo (m)
c	Coeficiente de escoamento superficial
e	Distância entre as barras longitudinais das grelhas (m)
g	Aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$)
H	Diferença de cotas entre o ponto mais afastado da vertente da bacia e a seção de vazão (m)
h	Altura da abertura na guia (m)
I	Declividade longitudinal da via, da sarjeta ou de um trecho da bacia de drenagem (m/m)
I_t	Declividade transversal do pavimento na via (m/m)
i	Intensidade de chuva (mm/h)
J	Probabilidade de uma vazão ser igualada ou superada
K	Constante para ajuste de unidades
k	Constante
L	Comprimento da boca-de-lobo ou da grelha (m)
L_1	Comprimento da transição de montante para a depressão na sarjeta (m)
L_2	Comprimento da transição de jusante para a depressão na sarjeta (m)

L'	Comprimento da grelha necessário para interceptar lateralmente, a porção q_2 , que escoar nas sarjetas (m)
L_o	Comprimento da grade, necessário para interceptar 100% do fluxo que escoar pela sarjeta dentro da faixa correspondente à sua largura (m)
l	Comprimento do canal ou talvegue (m)
N	Número de deflúvio
n	Coefficiente de rugosidade segundo MANNING
P_Q	Probabilidade de não ocorrer vazão máxima em determinado período de tempo
p	Perímetro da grelha (m)
p'	Percentagem de impermeabilização de bacias urbanas (%)
Q	Vazão (m^3/s)
Q_i	Vazão interceptada na boca-de-lobo (m^3/s)
Q_o	Vazão que escoar na sarjeta (m^3/s)
q	Vazão não esgotada pela boca-de-lobo $q = Q_o - Q_i \cong q_2 + q_3$ (m^3/s)
q_2	Vazão que escoar na lateral da grelha (m^3/s)
q_3	Vazão que escoar sobre a grelha (m^3/s)
$q(y)$	Vazão por unidade de área
R	Precipitação (mm)
R_e	Excesso de chuva (mm)
R_h	Raio hidráulico (m)
T	Largura da seção molhada de escoamento (m)
T_r	Período de retorno (anos)
t	Espessura das barras longitudinais das grelhas (m), ou, Tempo de duração da chuva (min)
t_c	Tempo de concentração para uso na equação racional (min)
t_e	Tempo de escoamento superficial antes de atingir a sarjeta (min)

t_s	Tempo de escoamento superficial na sarjeta (min)
V	Velocidade média de escoamento na sarjeta, na seção imediatamente à montante a boca-de-lobo (m/s) = $\frac{Q_o}{A}$
V_o	Velocidade média de escoamento nas sarjetas (m/s) = $\frac{Q_o}{A_o}$
v	Velocidade média - equação de IZZARD (m/s)
x	Tempo útil de uma obra (anos)
W	Largura da grelha, da depressão, ou da sarjeta (m)
w_o	Largura da faixa inundável admissível na sarjeta (m)
y	Altura do fluxo de água na guia, na seção imediatamente a montante da boca-de-lobo (m)
y'	Altura do fluxo de água junto à borda externa da grelha (m)
y_o	Altura do fluxo de água na guia (m)
z	Inverso da declividade transversal
θ	Ângulo formado entre o plano da depressão na sarjeta e o plano vertical
θ'	Ângulo formado entre o plano da superfície do pavimento e o plano vertical ($\text{tg}\theta' = \frac{L}{I_t}$)
θ_o	Ângulo formado entre o plano da sarjeta e o plano vertical

Resumo

Neste trabalho relatam-se resultados obtidos durante ações para cumprir uma tentativa de mostrar que a observação de bocas-de-lobo e do funcionamento de componentes do processo para drenagem superficial de vias urbanas podem contribuir para identificar informações que colaborem no aperfeiçoamento da qualidade de condução de água que escoe na superfície de ruas. O procedimento adotado foi estudar conceitos usados para a elaboração e execução de projetos de componentes para drenagem através de informações obtidas em bibliografia, entrevistas a profissionais, e levantamento de dados em campo para análise do comportamento de equipamentos para drenagem, e identificação de interferências entre o fluxo e acumulação de água de chuva nas ruas com o tráfego de veículos e pedestres. Os dados foram obtidos em São Carlos SP, Brasil entre 1992 e 1995.

Abstract

In this work it was related results obtained from actions trying to demonstrate that the observation of the behavior of inlets and drainage components can contribute to improve the quality of the process to contain and conduct storm water within the surface of streets and pavements. The method was to study information obtained from bibliographical data related with drainage components design, professional interviews and field surveying on behavior of the drainage equipment and the relationships between the storm water conduction and detention with the vehicle and pedestrian traffic. The data were obtained in São Carlos SP, Brazil, during the years 92 to 95.

I. Introdução

Drenagem superficial de vias urbanas é o processo de condução e controle de água que escoe superficialmente pelas ruas.

Nas cidades, a drenagem de águas provenientes de chuvas deve contribuir para o fácil e rápido escoamento de águas superficiais, e para evitar situações por vezes calamitosas, como as inundações e a ocorrência de interferências entre fluxo de água superficial e os tráfegos de veículos e/ou pedestres, as erosões do solo e da pavimentação das ruas, o carreamento de materiais, a perda de suporte de fundações, a invasão dos coletores de esgotos por água pluviais, etc. Acrescente-se a esse quadro riscos à vida e à saúde da população, quer os associáveis às enxurradas, quer à proliferação de doenças após as inundações.

Transtornos para o transporte e o tráfego urbanos, danos psicológicos e riscos para a população, desvalorização de imóveis e outros podem ser conseqüências da ineficiência ou inexistência de componentes para drenagem de água precipitada por chuva. Para ilustrar: em 9 de maio de 1995 ocorreu em São Carlos uma chuva de duração estimada em 10 minutos - a Baixada do Mercado Municipal inundou - lojas, veículos e pessoas sofreram as conseqüências. A Foto 1 ilustra uma tentativa de conter um veículo arrastado em enxurrada.

Foto 1 - Inundação na Baixada do Mercado Municipal em São Carlos, SP, 09/05/95

Dentre as causas de problemas associados ao escoamento das águas provenientes de chuvas pode estar o baixo volume de investimentos em projetos para drenagem urbana, que não pertencem ao conjunto de prioridades dos administradores municipais. Por exemplo, são comuns obras de urbanização e pavimentação sem a correta implantação de equipamentos para drenagem entre as ações de Governo. O fato é que obras de custo relativamente alto e de pouco efeito político, como drenagem, não são visíveis à população e podem ser relegadas a segundo plano nas decisões sobre investimentos.

Do ponto de vista técnico, há carência de desenvolvimento de alternativas e uso de soluções adequadas para a captação e condução de água proveniente de chuvas e controle de seus efeitos. A busca de soluções para drenagem é um desafio para profissionais ligados às aplicações de engenharia à solução de problemas urbanos.

Do ponto de vista de funcionamento do processo para drenagem superficial, as áreas da cidade, se comparadas às rurais, assumem características peculiares durante os processos de transformação de uso do solo, como, por exemplo os convívios com o tráfego de veículos e pedestres, a malha urbana e redes para abastecimento de água e coleta de esgoto.

A pavimentação de vias e a construção de prédios em áreas loteadas reduzem sensivelmente a infiltração da água precipitada no solo, causando aumento do volume de escoamento superficial. Por outro lado, nas cidades, o escoamento das enxurradas é facilitado pelas ruas e sarjetas, que aumentam a velocidade de fluxo da água. Como consequência, as águas atingem mais rápido as áreas baixas onde podem gerar inundação. Novas áreas passam a ser inundadas conforme a cidade se desenvolve.

Também, ocorrem na drenagem urbana a sedimentação e o transporte de lixo ou outros materiais pela água. Isso causa entupimento, e diminui a capacidade de captação, e de escoamento, de água por elementos para drenagem.

O conhecimento do funcionamento de bocas-de-lobo, que são responsáveis pela captação de água e contribuem para controle dos efeitos do escoamento superficial, é importante. A ineficiência de captação de uma boca-de-lobo, diminui o volume de água transferido para as galerias e tubulações subterrâneas, e aumenta o volume de água que escoar pela caixa da rua. Os fatos citados acima, isoladamente, ou em conjunto, ressaltam a importância de estudos sobre drenagem e suas consequências.

O objetivo principal deste trabalho é relatar resultados obtidos durante ações de uma tentativa para mostrar que a observação de bocas-de-lobo e do funcionamento de componentes do processo para drenagem superficial de vias urbanas podem contribuir para identificar informações que colaborem no aperfeiçoamento da qualidade da condução de água que escoar pela superfície de ruas.

Estudaram-se conceitos usados durante a elaboração e execução de projetos - utilizaram-se para isso: a análise bibliográfica e entrevistas a profissionais, procurando informações sobre projetos, operação e manutenção dos componentes do processo para drenagem que contribuíssem para identificar variáveis de observação e avaliação de componentes para drenagem. Revisaram-se, por exemplo, conceitos de hidráulica e hidrologia, expostos em: FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (1984), COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1979), e outras obras, como CHOW (1964) e WILKEN (1978).

Através do uso de dados obtidos em filmagens e estudos sobre projetos e entrevistas a técnicos, programaram-se e realizaram-se observações em campo sobre o comportamento e funcionamento de componentes da drenagem na bacia hidrográfica do Rio Gregório, São Carlos, SP. Procurou-se caracterizar e identificar um pouco sobre o comportamento de elementos do processo para drenagem urbana, as funções da geometria, materiais e outras características de elementos como: ruas, guias, sarjetas, sarjetões, bocas-de-lobo, etc.

Também analisaram-se interferências entre o escoamento superficial e o tráfego de veículos e pedestres. Finalmente, analisaram-se e avaliaram-se conseqüências de comportamentos de elementos do processo para drenagem, a partir de dados obtidos em observações no campo, registrando em fitas para vídeo as condições de escoamento de água nessa bacia quando os elementos para drenagem estiveram expostos a diferentes intensidades de chuva.

Analogamente, procurou-se identificar algumas informações sobre a avaliação de resultados de aplicação de métodos de projeto, operação e manutenção do processo para drenagem através de manuseio de conclusões em consultas bibliográficas, análise de usos e costumes na Prefeitura Municipal de São Carlos e observações realizadas em campo em vias da cidade de São Carlos.

Em estudo de caso para ilustração, usaram-se dados disponíveis nas instituições do Município de São Carlos. E, ao tentar identificar informações práticas, visou-se cumprir uma tentativa de fazer com que as conclusões expostas nesse trabalho possam ser úteis para comunidades com drenagem superficial urbana semelhante à cidade de São Carlos.

Além da proteção contra inundações, as obras para drenagem podem agir a favor do fluxo de veículos, ciclistas, motociclistas, pedestres e outros, e contra uma série de efeitos corriqueiros que o escoamento superficial de águas introduz à circulação e tráfego pelas vias. Pela importância do conhecimento destas conseqüências e interferências do escoamento superficial de água, elas são descritas em seguida.

II. Componentes da drenagem de vias urbanas

Nas cidades, conduzem e controlam o fluxo de água proveniente das chuvas, ou seja são os principais componentes do processo para drenagem nas vias urbanas:

- a) *O leito carroçável nas vias (incluindo-se as suas declividades longitudinais e transversais, materiais de revestimento, etc.);*
- b) *Guias, sarjetas, sarjetões;*
- c) *Bocas-de-lobo, e,*
- d) *Galerias, tubos, caixas e conexões subterrâneas, etc.*

Descreveremos e comentaremos itens sobre o leito carroçável de vias, as guias, as sarjetas, os sarjetões e as bocas-de-lobo. Galerias, tubos, caixas e conexões subterrâneas não serão objetos de análise e relatos mais aprofundados nesse estudo, um maior enfoque será dado às bocas-de-lobo e à superfície do pavimento (caixa) das vias.

Segundo a COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1979), o nome *rua*, é utilizado no sentido genérico de via pública, podendo caracterizar uma simples via secundária, uma via expressa ou uma grande avenida. Usaremos o termo "rua" para designar "leito carroçável", "pavimento", ou "caixa" da via.

As principais funções de ruas são: ser a superfície de rolamento para os tráfegos de veículos e pedestres, e favorecer processos para condução e controle do fluxo de água superficial.

Mas:

- a) *Um projeto para drenagem de vias eficiente pode dar benefícios diretos ao tráfego e reduzir os custos de manutenção das cidades, e,*
- b) *O planejamento racional do sistema viário pode reduzir o custo das obras para drenagem e até dispensar a necessidade de implantação de equipamentos para condução e controle de fluxo de água.*

E, durante o processo para drenagem:

- a) *As inclinações da rua conduzem a água até as sarjetas;*
- b) *O escoamento superficial ao longo das sarjetas, conduz o fluxo de água até às bocas-de-lobo, e,*
- c) *As bocas-de-lobo captam as águas superficiais e as conduzem para as galerias subterrâneas.*

O sistema para drenagem a ser implantado em determinada rua, deve depender do uso de via para o tráfego de veículos e pedestres, de tipo de construção e de pavimentação adotados, e, da sua importância para o processo geral para drenagem de dada área urbana. Na elaboração de projetos para drenagem de ruas, a CETESB (1979) recomenda que o processo de condução e controle da água deve contribuir para a proteção contra a deterioração do revestimento do pavimento e de sua estrutura.

Segundo a CETESB (1979), as ruas podem ser classificadas conforme: o volume de tráfego, pela permissão ou não de estacionamento de veículos no meio-fio, pelas características de projeto e construção, e finalmente, pelas suas relações com as ruas transversais. Cumpre comentar que tal classificação não inclui qualquer citação sobre o papel direto da via no processo de condução de águas superficiais. De acordo com a CETESB (1979), as ruas podem ser classificadas como:

Rua principal

A rua principal possui a função de coletar e distribuir o tráfego proveniente das vias de maior movimento para as secundárias. Pode ter de duas a quatro faixas de trânsito, poderá ou não ter permissão de estacionamento no meio fio, e o trânsito é prioritário sobre o das ruas secundárias.

Rua secundária

A rua secundária atende ao tráfego local de uma área, e geralmente é caracterizada por conter duas faixas de trânsito, com permissão de estacionamentos ao longo do meio fio (sarjeta), e o controle do tráfego é feito apenas por placas de sinalização.

Avenida

As avenidas são projetadas para permitir o fluxo rápido e sem interferências de veículos, podem ter de quatro a seis faixas e o estacionamento junto ao meio fio, em geral, não é permitido. O trânsito pela avenida tem preferência sobre as vias que a cruzam, e ela pode ter um canteiro central para separação dos dois sentidos de trânsito, com semáforos nos cruzamentos com as ruas principais de maior fluxo.

Via expressa

A via expressa deve permitir um movimento de tráfego rápido e sem interferências. O acesso de veículos, pedestres, etc. à via expressa é parcial ou totalmente controlado. O estacionamento junto ao meio fio, não é permitido.

De acordo com o projeto de norma da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT 2.10.11-012/84 a classificação das vias é:

Via de transição

Uma via de transição estabelece a ligação entre o sistema rodoviário interurbano e o sistema viário urbano. Ali, o tráfego tem grande fluidez de veículos, a acessibilidade é restrita e há pouca integração com o uso de solo lindeiro.

Via arterial

Uma via arterial permite ligações intra-urbanas, com média ou alta fluidez de veículos e acessibilidade restrita, e relativa integração com o uso de solo lindeiro.

Via coletora

Uma via coletora recebe e distribui o tráfego das vias locais e alimenta as vias arteriais. Tem equilíbrio entre fluidez de veículos e acessibilidade, possibilitando a integração com o uso de solo lindeiro quanto à localização de comércio, serviços e outras atividades.

Via local

Uma via local permite o acesso direto às áreas residenciais, comerciais e industriais, tem pequena fluidez de veículos e alta acessibilidade, caracterizando-se pela intensa integração com o uso do solo lindeiro.

A Figura 1 mostra a localização da guia, o passeio, a sarjeta e o leito carroçável (revestimento).

Figura 1 - Guias, sarjetas, etc. em seção transversal típica de via urbana

As guias são peças de granito, arenito, basalto, concreto pré moldado ou moldadas "in loco" (especificação E 31 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e EM-9/EM-10 da Prefeitura Municipal de São Paulo - segundo a CETESB (1979)), possui um desnível longitudinal que delimita a sarjeta e separa a faixa da pavimentação da faixa de circulação de pedestres (passeio).

Sarjetas são peças associadas às guias para formar um canal triangular longitudinal destinado a coletar e conduzir as águas superficiais da faixa pavimentada da via pública, à outra sarjeta, à boca-de-lobo ou sarjetão.

Sarjetões são canais triangulares, geralmente localizados nos pontos baixos do greide da via pública ou em seus cruzamentos, destinados a coletar e conduzir águas superficiais à boca-de-lobo, ou a outra sarjeta. Usualmente contêm, ao centro, um canal retangular denominado de "chanfro" para coletar e transportar pequenos volumes de água e evitar que o canal principal fique encharcado.

A Foto 2 ilustra um exemplo de sarjetão, à rua Padre Teixeira com Rui Barbosa, São Carlos, SP. Notar o chanfro sob o pneu do veículo.

Foto 2 - Sarjetão no cruzamento de vias
(Padre Teixeira com Rui Barbosa, São Carlos SP)

Nos cruzamentos, as águas podem ser interceptadas ou conduzidas superficialmente por sarjetões, atravessando uma das pistas. Se ao transpor o cruzamento os veículos param ou reduzem a velocidade, não haverá interferências.

O uso de sarjetões pode ser indicado quando for necessário manter o greide da rua principal onde são inexistentes as depressões nos cruzamentos. Tal afirmação, reforça a justificativa para a implantação de sarjetões nos cruzamentos de vias locais, ou de ruas secundárias e principais.

Segundo FERREIRA & FERREIRA (1993), o termo *boca-de-lobo* só é usado nos Estados do Maranhão e São Paulo no entendimento de bueiro. Também se fala a *"tampa grelhada do bueiro"*. É uma abertura natural ou construída por onde escoar água. Também é: o conjunto de caixa e tampa de ferro grelhada, localizado nas sarjetas, e pelo qual entram as águas pluviais das ruas que escorrem para as tubulações subterrâneas. Apesar de não citado por FERREIRA & FERREIRA (1993), o termo *boca-de-lobo* é também usado no Estado de Minas Gerais.

A CETESB (1979) define *boca-de-lobo*, como um dispositivo especial para drenagem que tem a finalidade de captar as águas pluviais que escoam pelas sarjetas, e em seguida, conduzi-las às galerias ou tubulações subterrâneas, pertencente ao sistema para drenagem inicial ou de micro drenagem das cidades.

Segundo WILKEN (1978, página 337), *boca-de-lobo* pode ser entendida ainda, como uma estrutura hidráulica singular. A Foto 3 ilustra uma boca-de-lobo simples à rua Episcopal, em São Carlos, SP.

Foto 3 - Boca-de-lobo simples
(Episcopal próximo ao cruzamento com a Comendador Alfredo Maffei, São Carlos SP)

As três definições atribuem às bocas-de-lobo um importante papel no processo para drenagem superficial urbana. Fisicamente, a boca-de-lobo é constituída de uma caixa de alvenaria ou de concreto, localizada sob o passeio, ou assemelhado. E, captam as águas superficiais através de abertura na guia, denominada "guia chapéu" (Foto 3), ou sob a sarjeta, onde a captação de águas superficiais ocorre por meio de uma grade de ferro fundido ou de barras metálicas (Foto 4).

Segundo CHOW (1949), no sistema para drenagem, as bocas-de-lobo devem ser usadas imediatamente antes do cruzamento de pedestres, no cruzamento de ruas, ou, em pontos intermediários, quando o volume de vazão ou as condições de topografia (grandes declividades) assim o requisitarem.

As bocas-de-lobo podem ser classificadas segundo sua localização no perfil longitudinal das vias:

- a) *Boca-de-lobo de pontos intermediários, e,*
- b) *Boca-de-lobo de pontos baixos nas vias.*

No primeiro caso, a boca-de-lobo é executada em trechos contínuos e de declividade constante da sarjeta. A entrada das águas pluviais que escoam pela superfície se dá através de apenas uma das extremidades.

No segundo caso, a boca-de-lobo localiza-se em pontos baixos das sarjetas, decorrentes da mudança de direção da inclinação longitudinal da rua, concavidade, ou junto à curvatura de guias em cruzamento de duas ruas. A água é captada pelas duas extremidades da boca-de-lobo.

Também, segundo CHOW (1964); WILKEN (1978); CETESB (1979) e FHWA (1984) as bocas-de-lobo podem ser classificadas em quatro tipos: simples, com grade, combinadas, e múltiplas, descritas a seguir:

A boca-de-lobo simples possui uma abertura vertical na guia (construída com ou sem depressão), por onde é feita a captação da água que esco sobre as sarjetas, protegida por uma laje de concreto ou placa metálica, localizada no nível do passeio, denominada guia chapéu. É o tipo de boca-de-lobo mais comum em drenagem urbana. A Figura 2 é um desenho para ilustrar a forma da boca-de-lobo simples.

Figura 2 - Boca-de-lobo simples com depressão

A boca-de-lobo com grade possui uma abertura na sarjeta coberta ou protegida por barras metálicas, de aço ou ferro fundido, longitudinais e/ou transversais, formando uma ou mais grades. As barras metálicas poderão ser montadas em paralelo ou perpendiculares a direção do escoamento, nesse caso são as grades chamadas longitudinais ou transversais.

A Figura 3 é um desenho para ilustrar a forma da boca-de-lobo com grade.

Figura 3 - Boca-de-lobo com grade

A Foto 4 ilustra uma boca-de-lobo com grade à rua Rui Barbosa, entre Major José Inácio e Conde do Pinhal em São Carlos, SP.

Foto 4 - Detalhe da boca-de-lobo com grade
(rua Rui Barbosa entre Major José Inácio e Conde do Pinhal, São Carlos SP)

A *boca-de-lobo combinada* é uma composição entre bocas-de-lobo simples e bocas-de-lobo com grade, que funciona como um único conjunto. Como nos casos anteriores, pode ser construída com ou sem depressão, é localizada em pontos intermediários ou em pontos baixos. É comum uma grade instalada defronte à abertura da guia, mas também à montante ou à jusante.

A Figura 4 é um desenho que ilustra a forma da boca-de-lobo combinada.

Figura 4 - Boca-de-lobo combinada com depressão

A Foto 5 ilustra uma boca-de-lobo combinada às ruas Dom Pedro II com Marechal Deodoro, em São Carlos, SP.

Foto 5 - Detalhe da boca-de-lobo combinada
(Dom Pedro II com Marechal Deodoro, São Carlos SP)

A *boca-de-lobo múltipla* é a associação entre dois ou mais tipos de bocas-de-lobo, instaladas em série, funcionando como um conjunto único. Qualquer um dos tipos mencionados anteriormente podem ser usados, e as particularidades discutidas para cada tipo são válidas para as bocas-de-lobo múltiplas.

As Fotos a seguir ilustram bocas-de-lobo múltiplas, às ruas Dom Pedro II com Sete de Setembro, e Rui Barbosa com Major José Inácio em São Carlos, SP.

Foto 6 - Detalhe de boca-de-lobo múltipla/combinada (Dom Pedro II com Sete de Setembro, São Carlos SP)

Foto 7 - Detalhe de boca-de-lobo múltipla com grade (Rui Barbosa com Major José Inácio, São Carlos SP)

III. Escolha e dimensionamento de elementos para drenagem

“É quase sempre impossível fazer uma comparação realista entre os custos das obras e os prejuízos previsíveis para se obter a solução economicamente mais conveniente”, (WILKEN, 1978, página 66).

Os elementos para drenagem podem ser escolhidos, dimensionados e projetados para cumprir o objetivo de conduzir e controlar o fluxo de água superficial através de uso de processo cujas etapas são:

- a) Pré-escolha dos elementos do processo de drenagem;
- b) Estimativa de vazões;
- c) Dimensionamento hidráulico desses elementos;
- d) E, escolha e projeto final dos elementos componentes para drenagem.

Os processos para escolha, projeto e dimensionamento de elementos de drenagem podem ser os recomendados em obras de referência como CHOW (1964) e WILKEN (1978), e, por manuais emitidos por órgãos especializados, tais como a CETESB (1979) e a FHWA (1984).

A pré-escolha dos elementos para drenagem pode ser efetuada através do manuseio de:

- a) Informações coletadas sobre a área a ser drenada - os principais tipos de dados são os levantamentos topográficos, aerofogramétricos, fotos, plantas, projetos, cadastros sobre as construções e outras alterações nos terrenos a drenar, informações sobre a condução de águas, etc;
- b) Dados sobre a geometria da área a ser drenada para identificar o conjunto de caminhos que a água superficial deveria percorrer;
- c) Escolha preliminar dos elementos necessários para uma condução e coleta de água correta e adequada;
- d) Identificação de transformações que ocorriam e podem ser atribuídas às mudanças que obras fazem em terrenos naturais,
- e) E/ou, estudo de alterações que se prevê aos usos de áreas, como impermeabilização e outros.

Os produtos da pré-escolha de elementos para drenagem podem ser:

- a) O conjunto de plantas e memoriais que contenham sugestões sobre os elementos a serem usados para drenagem e relatem as previsões sobre as conseqüências de obras sobre os terrenos naturais, e,
- b) A definição de áreas das bacias contribuintes para as vazões que solicitariam os componentes de processo para drenagem da área estudada.

A pré-escolha de elementos para a drenagem é um processo que exige bastante experiência da equipe envolvida no projeto de drenagem: é essa fase onde se define a maioria dos elementos físicos e conceituais que vão dirigir a condução de águas superficiais, e as informações que vão orientar a coleta de dados para o projeto definitivo da drenagem.

III.1 A estimativa de vazões

É impraticável, nas pequenas obras para drenagem, estudar o escoamento com o uso de dados de vazão, e o recurso disponível é lançar mão de registros sobre intensidades de chuva, uma função das características físicas e fisiográficas da bacia contribuinte e da região onde está a obra - transformar a altura de chuva em valores de descarga.

A complexidade dos fatores que intervêm na estimativa de vazões que solicitem elementos para drenagem, e a pequena disponibilidade de informações sobre vazões levaram ao desenvolvimento de processos específicos para escolha e dimensionamento de componentes da drenagem - tentou-se não perder de vista a natureza dos projetos de controle do fluxo superficial, ou de escoamento de águas pluviais, e, diminuir a atenção e sofisticação necessários durante estudos sobre vazão em cada elemento para drenagem, procurando-se aumentar o rendimento durante o trabalho de projeto.

Convencionou-se que a estimativa de vazões com o uso da hipótese de que o *"volume de água que escoar superficialmente é proporcional ao volume total de água precipitado pela chuva na bacia, e o coeficiente de proporcionalidade é o coeficiente de escoamento superficial, c "*, é chamada de *"método racional para a estimativa de vazões"*.

O método racional pode ser representado através da Expressão 1:

$$Q = \frac{c.i.A}{360}$$

Expressão 1

Onde:

 Q = vazão estimada na seção de controle (m^3/s); c = coeficiente de escoamento superficial que representa a infiltração na bacia observada (adimensional), definido como a razão volume de água que escoou superficialmente e volume de água precipitado durante a chuva; i = intensidade de chuva (mm/h), e, A = área da bacia de drenagem (ha).

O método racional:

- a) Teve sua primeira citação na literatura americana feita por EMIL KUICHLING, em 1889, e,
- b) É usado para estimativa da vazão máxima em pequenas obras nas estradas e nas cidades.

CHOW (1964) comenta que durante o estudo de elementos para drenagem a maioria dos processos de estimativa de vazões é variação do método racional.

No processo de escoamento superficial de águas das chuvas, a água chega à seção de vazão do canal por escoamento superficial - o volume de água no tempo é conduzido superficialmente. A outra parcela do volume precipitado durante a chuva, ou é interceptada, ou umedece o solo, ou preenche as depressões, ou se infiltra para os depósitos subterrâneos.

Durante o estudo de vazões com os conceitos e hipóteses do método racional é indispensável conhecer as definições e conceitos expostos e discutidos a seguir:

O coeficiente de escoamento superficial, também é conhecido como coeficiente de impermeabilização, ou de deflúvio, é definido:

$$c = \frac{\text{Volume de água escoado superficialmente em uma bacia}}{\text{Volume total de água precipitado durante a chuva na bacia}}$$

A estimativa do coeficiente de escoamento superficial, c , pode ser efetuada através de manuseio de dados sobre alturas e intensidades de chuva em bacias, do tipo e composição do solo, de capacidades de infiltração e permeabilidade de solos, da retenção de água devido a irregularidade na superfície, da declives em terrenos, de cobertura vegetal, da evaporação, da forma da bacia de drenagem, da uniformidade de distribuição das chuvas, e outras variáveis.

Segundo o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1970) é recomendado que o coeficiente de escoamento superficial, c , seja composto com uso de porcentagens das diferentes áreas de revestimento superficial na bacia.

Também, PINTO et al. (1973) repetem estas recomendações e publicaram um conjunto de tabelas com valores sugeridos para escoamento através de vários tipos de revestimentos superficiais de bacias.

Segundo MICHELIN (1975), WILKEN (1978) e FHWA (1984), as estimativas de vazão para bacias que possuam áreas com diferentes características de revestimento superficial, e diferentes valores para o coeficiente de escoamento superficial, c , podem assumir a hipótese de que a média ponderada dos coeficientes tendo como pesos os diferentes tipos de áreas represente o coeficiente de escoamento da bacia em questão.

Deste modo:

$$C_b = \frac{c_1 \cdot A_1 + c_2 \cdot A_2 + \dots + c_n \cdot A_n}{A_t}$$

Expressão 2

Onde:

c_b = coeficiente de escoamento superficial a ser adotado para a bacia analisada;

c_n = coeficiente de escoamento para a superfície, n , na bacia;

A_n = área da superfície, n , e,

A_t = área total da bacia, $A_1 + A_2 + \dots + A_n$.

Deve-se observar que, o uso de coeficientes assim estimados será eficiente se forem bem aplicadas as hipóteses adotadas durante as estimativas, consequências de uso de valores previamente escolhidos. E, principalmente, use-se de bom senso o suficiente para coordenar os raciocínios necessários.

Adota-se, para duração da chuva de projeto, o tempo necessário para que toda a área drenada passe a contribuir para a vazão da seção estudada. Este intervalo de tempo é chamado "*tempo de concentração, t_c , da bacia*". Adota-se também como hipótese que "a chuva de projeto tem intensidade constante ao longo do tempo".

Segundo WILKEN (1978) e FHWA (1984), o *tempo de concentração* pode ser entendido como o tempo gasto por uma "gota teórica de água" para ir do ponto mais afastado da bacia de drenagem, até o ponto de concentração ou de saída da bacia.

Adotando-se como hipótese que "*a duração da chuva é igual ao tempo de concentração*", teremos, para um mesmo período de recorrência, a provável ocorrência da maior vazão, porque, no instante correspondente ao tempo de duração daquela chuva, toda a bacia estará contribuindo para a seção de vazão.

Figura 5 ilustra o significado dos conceitos atribuídos ao tempo de concentração, t_c .

Figura 5 - Ilustração: tempo de concentração e seus conceitos

A definição do tempo de concentração, como "*a duração da chuva*" visa atender duas condições opostas: quanto maior a duração de chuvas, maior a vazão total na seção de vazão, porém o pico de vazão é proporcional ao tamanho da área da bacia contribuinte.

Segundo CHOW (1964), o tempo de concentração de uma bacia qualquer, é função de variáveis como:

- Forma de bacia drenada;
- Declividade média de terrenos;
- Declividade, comprimento e rugosidade de canais;
- Tipo e quantidade de revestimento vegetal, e,
- Distância percorrida pela água que escoe pela superfície.

Os tempos de concentração podem ser estimados com o uso de sugestões contidas em tabelas, ou através do uso de expressões empíricas. CHOW (1962) usando resultados de observações sobre sessenta chuvas intensas em vinte pequenas bacias dos Estados Unidos (entre 1,2ha a 1850ha) deduziu uma expressão empírica (Expressão 3), que adaptada às unidades métricas é:

$$t_c = 52,65 \cdot \left(\sqrt{\frac{I^3}{H}} \right)^{0,64}$$

Expressão 3

Onde:

t_c = tempo de concentração da bacia (min);

I = comprimento do talvegue da bacia drenada (m), e,

H = diferença de cotas entre o ponto mais afastado da vertente da bacia e a seção de vazão (m).

Em áreas rurais nos Estados Unidos podem ser usadas outras expressões empíricas, PILGRIM & CORDERY (1993) - Expressão 4, BRANSBY WILLIAMS (1922) - Expressão 5, que no Sistema Internacional de Unidades podem ser:

$$t_c = 3,97 \cdot I^{0,77} \cdot I^{-0,385}$$

Expressão 4

$$t_c = 14,6 \cdot I \cdot A^{-0,1} \cdot I^{-0,2}$$

Expressão 5

Onde:

t_c = tempo de concentração (min);

I = comprimento do canal (m);

A = área da bacia contribuinte (km²), e,

I = declividade longitudinal do trecho (m/m).

O uso das expressões 4 ou 5 em países, ou regiões, diferentes de onde foram desenvolvidas devem ser acompanhadas de uma criteriosa análise de conseqüências e hipóteses de estudo.

Para FELEX (1982), a freqüência de ocorrência da chuva que provoca a vazão que solicita elementos da drenagem deve ser uma variável bem analisada durante as atividades de projeto ou estudos em projetos. Não se justifica dimensionar um pequeno elemento de drenagem, ou de condução de águas pluviais, de maneira a torná-lo capaz de suportar a maior vazão de enchente prevista para a obra. A probabilidade de ruína de uma estrutura de drenagem é admissível, devendo ser proporcional à importância da obra estudada e as conseqüências da vazão ser superada.

Para considerar o risco da vazão estimada ser superada usa-se a probabilidade de ocorrência de uma chuva que provoque a vazão que solicitaria o elemento de drenagem. Ao inverso da frequência de ocorrência de uma dada intensidade de chuva, período (ou tempo) de recorrência, ou período (ou tempo) de retorno, associa-se como o intervalo em anos onde, estatisticamente, pode ocorrer, ou ser superada, uma dada chuva de intensidade, i , e por conseqüência, a vazão de magnitude, Q , a ela associada. O período de retorno, T_r , é o inverso da probabilidade da intensidade de chuva ocorrer, ou ser superada durante um ano qualquer na vida útil do elemento para a drenagem.

O período de retorno, T_r , pode ser associado ao risco de falha (superar a vazão de projeto) de um elemento para escoamento de águas. Nos pequenos sistemas de drenagem: não é usual estudar relações custo/benefício para escolha de tempo de retorno, e, projeta-se ou estuda-se usando informações históricas sobre o comportamento de outras áreas congêneres.

A adoção de uma probabilidade de ocorrência para a intensidade de chuva de projeto não implica na ocorrência da altura de chuva estudada só após um período igual ao de retorno para esta chuva, e, muito menos na eliminação da probabilidade de ocorrência de uma intensidade muito maior de chuva, porém, é um critério econômico baseado na teoria da probabilidade.

Os danos causados por falhas de funcionamento de equipamentos de drenagem podem ser de monta, incluindo-se a perda de vidas humanas, prejuízos materiais e redução de prestígio da administração pública. Por isso, a escolha de períodos de retorno deve retratar a experiência acumulada por observação de obras existentes, trabalhos do projetista e, sobretudo, o uso do bom senso.

O período de retorno estimado por análises sobre frequências, indicaria simplesmente o intervalo médio entre eventos iguais ou maiores que uma dada grandeza ou a probabilidade de que tal evento ocorra em um ano qualquer.

A um período de retorno, T_r , a probabilidade de não ocorrer a vazão máxima, correspondente a uma intensidade de chuva, é $p_Q = 1 - \frac{1}{T_r}$. Por conseqüência, para um número x de anos de vida da obra, a probabilidade de que a vazão do projeto seja igualada, ou superada, pelo menos uma vez, J , é:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^x$$

Expressão 6

O conceito de período de retorno pode ser exemplificado como a seguir: uma obra construída para durar 10 anos, dimensionada para uma vazão de período de retorno 25 anos, tem 33,5% de probabilidade de vir a ser submetida a uma vazão de 10 anos. Esta probabilidade cai para 18,3% caso o período de retorno no dimensionamento seja 50 anos, e 9,6% caso o período de retorno seja 100 anos.

Na maioria dos casos não há condições para estimar a probabilidade teórica de ocorrência das intensidades de chuva. Por isso são adotadas recomendações de órgãos públicos ou de pesquisa especializados nesse tópico. Por exemplo, para áreas urbanas, às recomendações do WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1970), estão resumidas na Tabela 1:

Tabela 1 - Período de retorno para estimativa de alturas de chuva segundo o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1970)

Elemento para drenagem	Período de retorno a adotar
Coletores pluviais de áreas residenciais	Entre 2 anos e 10 anos
Coletores pluviais em distritos comerciais, de alto valor imobiliário	Entre 10 anos e 50 anos
Obras de proteção contra inundação	No mínimo 50 anos

De acordo com estudos da FHWA (1984) há evidências de que, quando os tempos de recorrência adotados crescem de 5 anos para 10 anos, o acréscimo no custo de obras nos Estados Unidos estaria entre 6% a 12%.

Segundo CHOW (1964) e FHWA (1984), às hipóteses adotadas durante estimativas de vazão com uso do método racional são:

- A vazão na seção de controle, provocada por uma dada intensidade de chuva é máxima quando a duração dessa chuva for maior, ou igual, ao tempo que uma partícula de água demora para escoar superficialmente do ponto mais distante da bacia até à seção de controle - porque aí, toda a bacia contribui para a vazão;
- Há uma relação linear entre a vazão, Q , e a intensidade de chuva, i , e, a vazão inicial é zero na seção de controle estudada;
- Para um dado tempo de concentração, qualquer a freqüência da descarga máxima é a mesma que a da intensidade de chuva máxima;
- O coeficiente de escoamento superficial, c , é o mesmo para intensidades de chuva com diferentes freqüências de ocorrência, e,
- O coeficiente de escoamento superficial, c , é o mesmo para todas as intensidades de chuva numa dada bacia.

O uso do método racional envolve coeficientes empíricos e o manuseio de hipóteses quanto ao funcionamento de componentes da drenagem. Ao adotar o método racional ignoramos a complexidade do real processo de escoamento superficial de água, em especial os efeitos de armazenamento de água nas depressões da bacia, e as variações da intensidade de chuva e do coeficiente de escoamento superficial - que é uma variável dependente das condições de infiltração na bacia.

O método racional deve ser utilizado nas estimativas de vazões para dimensionamento de pequenas obras para drenagem, ou seja, estruturas de pequenas dimensões cujas características e risco não imponham estudos hidrológicos acurados e mais detalhados.

Durante estimativas de *áreas que contribuem para a vazão* em seções de controle podem ser usadas representações de bacia que contenham curvas de nível obtidas em levantamentos topográficos da bacia, plantas ou mosaicos aerofotogramétricos, dados contidos em projetos de movimento de terra, observação de fotografias, etc.

O processo habitual é delimitar as “bacias de contribuição à vazão que escoam superficialmente” através da identificação de divisores de água - entretanto, convém lembrar que as bacias usadas devem ser estudadas para estimar efetivamente a área que contribui para a vazão em cada elemento a ser dimensionado.

Em áreas urbanas podem-se utilizar de dados obtidos através de levantamentos efetuados para cadastro imobiliário, ou, na hipótese de estudo de condução de águas pluviais simultaneamente com a distribuição de água e coleta de esgoto, pode-se usar o conjunto de dados levantados para uso durante o projeto do sistema de água e esgoto.

A *intensidade de chuva* é estimada durante um estudo ou projeto, e, a qualidade desse valor depende, para cada local, da frequência de ocorrência daquele valor, no regime pluviométrico da região considerada. Cumpre estabelecer em seguida a correspondência entre a altura de chuva no tempo, e por consequência, da vazão e sua frequência, de modo a relacioná-la às consequências de ordem econômica e os riscos.

A estimativa de intensidades de chuva envolve o uso do conceito de período de retorno, T_r , de intensidade, durações médias e frequência de intensidades de chuva. Portanto, a estimativa desta variável, requer conhecimento da intensidade, duração e frequência da chuva para a localidade do projeto.

A intensidade média de chuva sobre a área a drenar é admitida dentre as hipóteses para o trabalho com o método racional como função da altura de chuva para um período de retorno, T_r , e para que ocorra a vazão máxima deveria durar tal que toda a bacia contribuísse para a vazão na seção estudada.

Adota-se também a hipótese de que a chuva é uniformemente distribuída sobre toda a bacia. Uma afirmativa que parece bastante falha, mas não há processos que permitam análises sobre as consequências deste fato. A intensidade de chuva, varia inversamente com a duração da chuva.

Dados o tempo de concentração e o período de retorno, a intensidade de chuva que lhes é associada pode ser obtida através de estudos hidrológicos sobre dados de altura de chuva na bacia sob análise. Entretanto, ou há dificuldades em se ter os resultados de tais estudos, ou é irracional e antieconômico executá-los. Por isso, é comum o uso de processos mais simples para essa atividade. O uso de expressões empíricas é o mais comum.

Expressões para estimativa de intensidade, duração e frequência da intensidade de chuva, necessárias para a estimativa de equações de chuva, podem ser obtidas a partir de informações sobre dados de pluviometria coletados em postos instalados na região próxima a implantação do projeto, ou então, estimada através de sugestões contidas em livros ou periódicos.

Por exemplo, há uma série de fórmulas empíricas do tipo:

$$i = \frac{a.T_r^n}{(t+b)^m}$$

Expressão 7

Onde:

a , b , m e n = são parâmetros de regressão, característicos do regime local de chuva;
 T_r = período de retorno da altura de chuva;
 t = duração da chuva, e,
 i = intensidade de chuva estimada.

Um roteiro prático para a estimativa da intensidade de chuva seria:

- a) Escolha do período de retorno, T_r ;
- b) Estimativa do tempo de duração da chuva, t ,
- c) E, a estimativa da intensidade de chuva, i .

Segundo WILKEN (1978), o dimensionamento de equipamentos para drenagem na área urbana pode ser efetuado a partir da adoção de uma intensidade de chuva durante o início da operação do elemento para a drenagem, ao término da obra, e, para atender a vazão correspondente a chuva máxima de projeto, com dada probabilidade de ocorrer durante a vida útil da obra. O período de retorno para a intensidade de chuva do início de operação pode variar entre 2 e 10 anos, e, para a chuva máxima é comum o uso de 100 anos.

A escolha e justificativa de um período de retorno depende de análises sobre o custo e a segurança da obra. Sabe-se que, quanto maior for o período de retorno adotado, maiores serão os valores das vazões de pico, e, menor o risco dessa vazão de projeto ser superada. E, mais cara será a obra.

RAMSER (1927), apud FELEX (1982), analisou dados sobre áreas agrícolas no Tenesse (EUA), e fez o primeiro tratamento experimental sobre estimativas de tempos de concentração. As áreas estudadas variaram entre 0,05 e 4,5km², e, as intensidades de chuva estiveram compreendidas entre 30 e 142mm/h. Os resultados obtidos indicaram que o "tempo de concentração" pode também ser definido como: "o tempo decorrido para que o nível de água, no canal de medição subisse ao máximo", e a altura máxima de água na seção de controle permaneceria constante para chuvas com intensidade constante a partir de uma duração igual ao tempo de concentração, t_c .

Deve-se considerar que o erro de estimativas em tempos de concentração, t_c , é tanto maior, quanto menor a duração da chuva, porque então é maior a variação da intensidade de chuva, i , em função do tempo. O tempo de concentração, t_c , não é uma constante para uma dada área, varia com o cobrimento vegetal, e, a distribuição da chuva precipitada sobre a superfície.

Em áreas urbanas, a estimativa do tempo de concentração, t_c , para dimensionamento de sistemas pluviais urbanos consiste em se estimar o tempo para que a água desloque-se até a boca-de-lobo mais próxima, mais o tempo de escoamento pelo coletor que a conduza até a seção de vazão.

Segundo a WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1967), o tempo de concentração é estimado em função do tempo que a água leva para a história das chuvas na área estudada alcançar canais de uma superestrutura urbana de águas pluviais, tais como ruas, sarjetas, etc., e depois seja conduzida para a boca-de-lobo que fará a captação. Esse tempo variará com a declividade, a natureza do terreno, e a distância de escoamento, e terá os valores de parâmetros que o definam influenciados por antecedentes pluviométricos, tais como, capacidade de infiltração da superfície e do subsolo.

Habitualmente, estes tempos estão entre 5 e 15 minutos. Em bairros residenciais planos, pode-se chegar a 20 ou 30 minutos, e, é prático limitá-los ao intervalo 10 e 20 minutos para incluir as consequências associadas à retenção de água pelas estruturas de drenagem, que diminuem os picos de vazão e os custos.

Se a área drenada tiver diferentes tipos de revestimento de superfície, o tempo de concentração deverá ser determinado pela adição de intervalos de tempos estimados para o fluxo pelas diversas superfícies, do ponto mais distante da bacia ao ponto onde a água será coletada. Assume-se, nesta hipótese, para o ponto mais remoto a condição de maior tempo de concentração.

O tempo de concentração, t_c , para estimativas de vazão em bocas-de-lobo, é estimado por análise sobre os tempos envolvidos no processo de escoamento superficial e escoamento pela sarjeta.

Segundo PILGRIM & CORDERY (1993), no método racional, o tempo de duração da chuva, t , deve ser adotado para estimativas de vazão igual ao tempo de concentração, t_c , porque:

- a) Até a duração da chuva menor que o tempo de concentração, $t < t_c$, a contribuição à vazão na seção é menor do que a contribuição de toda a área da bacia, e não ocorre o máximo da vazão;
- b) Se $t = t_c$, o hidrograma atinge o pico instantaneamente correspondente ao $c.i$, para o volume de água precipitado, e corresponde a um volume teórico máximo de água escoado por unidade de área;
- c) Para $t > t_c$, não há aumento de vazão por acréscimo de área contribuinte. A intensidade de chuva de uma dada frequência diminui, e, portanto, o tempo de duração da chuva igual a t_c corresponde ao máximo fluxo superficial. O hidrograma permanece constante após atingir o valor de, $c.i$, para um tempo igual ao de concentração, t_c , e,
- d) Para os casos b e c, os tempos de recuperação e descarga do hidrograma, são iguais ao tempo de concentração, t_c .

Quando utilizado no método racional, o *coeficiente de escoamento superficial*, c , é suposto constante para todas as chuvas em determinada bacia, e para chuvas com todas as probabilidades de recorrência. Portanto, os valores usados são supostos constantes durante as chuvas.

Os hidrólogos ainda não diminuíram as dificuldades para definir variáveis que afetam as estimativas de coeficiente de escoamento superficial. E, em geral, se limitaram a acentuar a consciência da natureza das perdas de água por infiltração, evaporação e interceptação que diminuem o fluxo superficial, representadas por esse fator.

Segundo PILGRIM & CORDERY (1993), estão implícitos na estimativa de vazão pelo método racional, os seguintes conceitos:

- a) Assume-se que no início da chuva não há acúmulo temporário de água sobre a superfície da bacia de drenagem. A relação entre o volume máximo de escoamento superficial, para uma intensidade de chuva, é a mesmo que os volumes de escoamento superficial de água e altura de chuva;
- b) A área contribuinte aumenta a partir do início da chuva, instante $t = 0$, até decorrer intervalo igual ao tempo de concentração, t_c , quando a contribuição à vazão na seção de controle é a de toda a área da bacia, e o valor de descarga na seção de saída da bacia pode ser estimada por $c.i.A$;
- c) A influência da história de chuvas, do revestimento, forma e tamanho da bacia estudada são explicitamente considerados durante a estimativa de vazões. Outras características físicas da bacia de drenagem, como a água do subsolo e outros processos, são associadas indiretamente ao tempo de concentração, t_c , e ao coeficiente de escoamento superficial, c , e,
- d) A retenção temporária de água no solo e a variação de distribuição da chuva pela área da bacia ou o tempo de duração são desprezados, e as hipóteses para estimativa de vazão têm razoável validade quando o efeito desses fatores for pequeno. Este pode ser o caso de áreas urbanas e pequenas bacias rurais. Na prática, o valores de coeficiente de escoamento superficial, c , devem englobar efeitos de parcela desses fatores na vazão, bem como de infiltração e umidade no solo, e outros.

Dos parâmetros necessários para estudos de vazões com uso do método racional para estimativa de vazões, o de mais difícil especificação talvez seja o coeficiente de escoamento superficial. A prática atual registra o uso difundido de coeficientes generalizados, provenientes da experiência e considerados satisfatórios para uso durante estimativas de vazão quando representem as relações entre o volume de água precipitado pela chuva e a infiltração na bacia. O emprego de coeficientes admitidos como médios para vários tipos de superfície é comum no meio técnico.

Segundo PILGRIM & CORDERY (1993), o uso de coeficientes de escoamento superficial, c , é a maior fonte de incerteza nos resultados de estimativa de vazões através do método racional. Isso porque envolve-se fatores que afetam o fluxo superficial para uma intensidade média de chuva, como a área e o tempo de resposta ao escoamento de água em determinada bacia. Uma dúvida comum quanto as conseqüências de valores adotados para o coeficiente de escoamento superficial é como efetuar o julgamento antecipado de relações do escoamento superficial durante os estudos de vazões.

Para FELEX (1982), o coeficiente de escoamento superficial é a variável do método racional menos susceptível de determinação precisa, e, que demanda um volume maior de trabalho para seleção de valores pelo projetista. A escolha do coeficiente de escoamento implica na adoção de um valor fixo para qualquer área de drenagem. E, na verdade os coeficientes obtidos englobam abstrações, ou perdas de volume de água precipitado. O volume escoado pode variar para uma dada bacia inclusive com às condições climáticas e sazonais.

Em estudos sobre o escoamento superficial, afirma-se que o problema central é determinar um fator que expresse a perda no escoamento superficial por infiltração de água no solo. Para SHERMAN (1936), apud HORNER & FLYNT (1936) obter um fator que expresse a infiltração de água no solo só é possível a partir da análise de dados sobre alturas e intensidades de chuva, da retenção e de escoamento superficial. As variáveis que caracterizam tal procedimento segundo SHERMAN (1936), podem ser descritas conforme a Expressão 8:

$$\text{Volume precipitado} = \text{Volume disponível} \pm \text{Volume acumulado}$$

Expressão 8

A expressão 8 pode ser escrita como:

$$\text{Volume precipitado} = \text{Escoamento Superficial} + \text{Infiltração} \pm \text{Volume Acumulado}$$

Expressão 9

Para HORTON (1933), apud HORNER & FLYNT (1936), a capacidade de infiltração natural de água no solo é maior no início da chuva, diminui rapidamente até a primeira hora, e se estabiliza num período que varia entre uma e três horas. Entretanto,

“A razão de infiltração de água no solo é proporcional a intensidade de chuva, porém, nenhum estudo foi feito para determinar a ordem exata desta variação”, HORNER & FLYNT (1936, página 185).

GRABER, em 1979, apud PILGRIM & CORDERY (1993), comentou que valores tabelados para o coeficiente de escoamento superficial, c , não devem ser aplicados para regiões com regimes hidrológicos diferentes daqueles onde foram desenvolvidos. Recomenda ainda, que é imprescindível uma criteriosa análise antes de se adotar qualquer valor para o coeficiente de escoamento superficial, c , em estudos e projetos.

HORNER & FLYNT (1936) foram os primeiros autores a estudar a relação intensidade de chuva - escoamento superficial em função das perdas por infiltração, evaporação e interceptação. Foi a primeira tentativa efetuada para obter a distribuição da variação de na vazão escoada a partir de outros fatores, hidrológicos ou não. Neste estudo, os autores comentam a importância de pesquisas futuras sobre a relação altura de chuva - escoamento superficial.

SNYDER (1936), apud HORNER & FLYNT (1936), alertou para o fato de que se a razão de infiltração é constante, ela não poderia ser usada com bons resultados para estimativa de vazões com uso do método racional quando a duração das chuvas são menores que uma hora.

HORNER & FLYNT (1936) publicaram hidrogramas associados a distribuições de alturas e intensidades de chuvas em áreas urbanas na cidade de St. Louis, nos Estados Unidos. Nestes hidrogramas ressaltaram-se mudanças nos valores de vazão quando os tempos de duração das chuvas excedem o tempo de concentração, t_c . Para SHERMAN (1936), apud HORNER & FLYNT (1936), apenas este fato já indica que a adoção de um valor constante para a intensidade de chuva, não caracteriza a natureza do processo e que, em determinadas regiões tal critério pode não ser satisfatório.

“O atual estágio no estudo sobre escoamento, relatam que as perdas pelo armazenamento em depressões e às infiltrações no solo, necessitam ser supridas antes de iniciar o escoamento superficial. Porque depois de iniciado o processo de escoamento superficial, às perdas devido a infiltração e a outros fatores continuará ocorrendo, desencadeando no processo outros efeitos retardadores, devido a retenção na superfície e o armazenamento no curso d'água ou no conduto”, WILKEN (1978, página 131).

GRUNSKI (1909), apud WILKEN (1978), afirma que o coeficiente de escoamento superficial, c , diminui quando a duração de chuva aumenta.

HARDENBERG (1950) pode ser citado como um dos autores que não concordam com a adoção de um valor constante para o coeficiente de escoamento superficial, c , porque segundo ele, esse coeficiente depende do tempo de duração das chuvas, e , principalmente pelo fato de que o terreno acumula água (satura) com o tempo de duração da chuva.

Nota-se que, a falta de resultados de observações sobre a variação do escoamento superficial tem sido a principal justificativa para a adoção de um valor constante para o coeficiente de escoamento superficial, c . WILKEN (1978) e WUEST (1965) detalham valores de coeficientes de escoamento superficial, c , atualmente em uso em diversos locais.

Vários ajustes para o coeficiente de escoamento superficial, c , foram sugeridos por HORNER & JENS (1941), e por órgãos como: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) e WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF) em 1970, por se considerar que assim seria possível incluir em estudos a variação no coeficiente de escoamento atribuída a efeitos climáticos e duração de chuva anteriores nas bacias.

CHOW (1964) comenta que o coeficiente de escoamento superficial de uma bacia de drenagem, pode ser analisado como um produto do ciclo hidrológico, que é influenciado por duas variáveis principais: variáveis climáticas e variáveis de fisiografia. Os variáveis climáticas incluem principalmente os efeitos de diversas formas e tipos de alturas e intensidades de chuvas, interceptação, evaporação e transpiração, todos os quais têm variações sazonais função de características de regiões. As variáveis de fisiografia podem ser classificadas ainda em dois tipos: através de características da geometria e superfície da bacia, e características do próprio canal principal de escoamento.

As características de geometria e superfície da bacia incluem variáveis como: tamanho, forma e declividade da área drenada, permeabilidade, capacidade de reter água, presença de lagos ou pântanos, uso de solo e drenagem artificial.

Do ponto de vista de hidrologia, as variáveis que afetam o coeficiente de escoamento superficial em grandes bacias de drenagem são diferentes, se comparadas a pequenas bacias.

"Duas bacias próximas de mesmo tamanho, podem ter comportamento diferente quanto ao escoamento superficial",
(CHOW, 1964, página 14.5).

O escoamento superficial em uma bacia varia de uma para outra chuva. Em particular, a porcentagem da altura de água precipitada que esco superficialmente aumenta com a intensidade e a duração da chuva, e depende das chuvas anteriores na bacia estudada, esses fatores afetarão a capacidade de infiltração de água no solo e o volume escoado através de canais (naturais ou não), ou os outros elementos de drenagem. A presença de vegetação afeta os valores do coeficiente de escoamento superficial, c .

A utilização das hipóteses do método racional leva à estimativa de coeficiente de escoamento superficial que não reflete a relação entre o volume escoado e precipitado, e sim, entre a vazão máxima escoada e a intensidade de chuva, porque o coeficiente utilizado, quando multiplicado pela intensidade de chuva deve fornecer o pico de cheia por unidade de área.

O valor desse coeficiente depende da distribuição de chuva na bacia, direção do deslocamento da chuva em relação aos elementos para drenagem, e, em estudos deve-se avaliar as conseqüências do armazenamento e da retenção superficial do volume de água precipitado.

SCHAAKE (1967), apud FELEX (1982), estudou experimentalmente bacias urbanas menores que 60 hectares durante um período aproximado de 10 anos de observação. Verificou-se que: o coeficiente de escoamento é uma função do tempo de concentração e da intensidade de chuva. Tal afirmativa, confirma a hipótese de que a vazão por unidade de área tem freqüência aproximadamente igual a da intensidade de chuva do projeto.

FELEX (1982) comenta que BERNARD em 1938, modificou a expressão para estimativa de coeficiente de escoamento superficial para:

$$c = C_{max} \cdot \left(\frac{T_r}{100} \right)^x$$

Expressão 10

Onde:

c = coeficiente de escoamento superficial,

C_{max} = coeficiente de escoamento para uma chuva de período de recorrência de 100 anos, e,

T_r = tempo de recorrência de projeto.

Segundo FELEX (1982), os valores estimados para o coeficiente de escoamento, conforme BERNARD, obtidos através de manuseio de dados do Leste dos Estados Unidos, têm sido bastante aceitos no meio técnico. Porém, foi um dos poucos progressos quanto às estimativas do coeficiente de escoamento superficial que precisa ser testado em outros locais do mundo.

Para pesquisadores como CHOW (1964), PILGRIM & CORDERY (1993) e TITIMARSH et al. (1995), a maior dificuldade na estimativa do coeficiente de escoamento superficial, não é a estimativa da área impermeabilizada da bacia, mas, adotar valores variáveis como o tempo de concentração, t_c , e também expressar as conseqüências da retenção de água pela bacia.

Existem outros métodos para estimativa do coeficiente de escoamento superficial, que procuram levar em conta variáveis como a duração da chuva e a porcentagem de impermeabilização da bacia, p' . Um exemplo, é a expressão desenvolvida por HORNER & JENS (1941). Outro exemplo, é o uso conjunto do método racional com o método do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975), por PORTO (1987).

Segundo PILGRIM & CORDERY (1993) e TITIMARSH et al. (1995):

- a) O coeficiente de escoamento superficial, c , varia com o valor adotado para o período de retorno, T_r , o que contribui para diminuir a confiança em valores estimados para vazões, e,
- b) É necessário investigar a validade de valores de coeficientes de escoamento superficial, c , a partir de dados sobre inundações aplicados a cada região observada e conceitos sobre probabilidades de ocorrência.

A Expressão 11, desenvolvida por HORNER & JENS (1941), para a estimativa do coeficiente de escoamento superficial, requer o conhecimento prévio de dados como: o tempo de concentração, t_c , e da porcentagem de impermeabilização da bacia, p' , conforme a Expressão 11:

$$c = 0.364 \cdot \log t_c + 0.0042 \cdot p' - 0.145$$

Expressão 11

Onde:

- c = coeficiente de escoamento superficial;
- t_c = duração da chuva, adotada igual ao tempo de concentração em minutos, e,
- p' = porcentagem da área impermeabilizada da bacia ($p' = 65\%$, para área residencial com lotes de tamanho médio, menor ou igual a 0,05 hectares - outros valores podem ser obtidos em tabela publicada pelo U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975)).

Segundo PEDROSA (1957), a expressão de HORNER & JENS foi desenvolvida, para introduzir na estimativa de valores de coeficientes de escoamento superficial, c , a variação do tempo de duração da chuva ou tempo de concentração, t_c , em função da alteração da porcentagem de impermeabilização superficial da bacia, p' .

O U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) sugere substituir o coeficiente de escoamento superficial, c , pelo número de deflúvio, N , que tem uma definição similar e representa as relações entre os complexos conjuntos chuva, solo e vegetação - este fato é, na literatura conhecido como "o método do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) para estimativa de vazões". Fisicamente, N (Tabela 2) representa a maior ou menor capacidade da água infiltrar pelas superfícies.

A tabela 2 [U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975)] fornece valores para porcentagem de impermeabilização, p' , vinculadas a valores de número de deflúvio, N . O número de deflúvio segundo o U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) é função do grupo hidrológico do solo e do grau de impermeabilidade da superfície.

O método do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) para a estimar "o excesso de chuva" (ou vazão que escoar superficialmente) foi desenvolvido e implementado para bacias não urbanizadas, levando em conta a altura de chuva, a umidade antecedente, e o complexo hidrológico solo - vegetação.

LINDLEY (1976) afirma que o método proposto pelo U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE para a estimativa do coeficiente de escoamento superficial, c , é simples, prático e familiar entre profissionais da área de drenagem e, apesar de originalmente ser indicado para uso em pequenas bacias rurais, tem sido adaptado para bacias urbanas. As características do tipo e ocupação do solo podem ser quantificadas com auxílio do número de deflúvio, N .

O excesso de chuva, R_e , pode ser estimado por:

$$R_e = \frac{\left[R - \frac{5080}{N} + 50.8 \right]^2}{R + \frac{20320}{N} - 203.2}$$

Expressão 12

Onde: R_e = excesso de chuva em mm;
 R = altura de chuva em mm, e,
 N = número de deflúvio.

Segundo o U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975):

- A Expressão 12 deve ser utilizada para áreas menores que 8km^2 ,
- E, para $50 \leq N \leq 95$, a parcela $\left[\frac{5080}{N} + 50,8 \right]$ representaria a interceptação, retenção de água na superfície e infiltração que ocorre antes do escoamento superficial iniciar-se, estimada em $1/5$ da retenção potencial máxima de água pelo solo, $R - R_e$, em mm.

Na Tabela 2 resumem-se os valores para o número de deflúvio, N , para áreas residenciais, de acordo com a tabela original do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975). A estimativa do número de deflúvio, N , pode ser feita considerando tanto a cobertura como o tipo de solo.

Tabela 2 - Porcentagem de impermeabilização, p' , e número de deflúvio, N
U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975)

Uso do solo	% de impermeabilização p'	Número de deflúvio - N Grupo hidrológico do solo			
		A	B	C	D
Áreas comercial e de serviços	85	89	92	94	95
Distritos industriais	72	81	88	91	93
Área residencial: Tamanho médio dos lotes (ha)					
$\leq 0,05$	65	77	85	90	92
0,10	38	61	75	83	87
0,13	30	57	72	81	86
0,20	25	54	70	80	85
0,40	20	51	68	79	84
Estacionamentos pavimentados telhados e ruas	-	98	98	98	98

- O solo **tipo A** é o de mais baixo potencial de escoamento superficial. Terrenos muito permeáveis. Contém pouco silte e argila.
- O solo **tipo B** tem capacidade de infiltração acima da média após o completo umedecimento. Inclui solos arenosos.
- O solo **tipo C** tem capacidade de infiltração abaixo da média, após a pré-saturação. Contém porcentagem considerável de argila e colóide.
- O solo **tipo D** é o de mais alto potencial de escoamento superficial. Terrenos quase impermeáveis junto à superfície. Solos argilosos.

Segundo PORTO (1987), o uso conjunto dos métodos racional e do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) permite a determinação do coeficiente de escoamento superficial, c , em função do tipo, uso e ocupação do solo, condições antecedentes de umidade, intensidade e período de retorno da altura de chuva. A utilização conjunta dos dois métodos utiliza a idéia desenvolvida por JOHNSON & MEADOWS em 1980 e segundo os autores amplia conceitos e incorpora vantagens sem perder a simplicidade do método racional. De acordo com estudos de PORTO (1987):

- a) Para volumes de chuva maiores que a retenção potencial máxima, a relação entre a altura de chuva, R e o excesso de chuva, R_e é bem definida, e,
- b) Se a altura de chuva for menor que a retenção potencial máxima, o excesso de chuva, R_e , deve ser adotado igual a zero. Entretanto, CHOW (1964) restringe, em aplicações práticas, esta última condição.

Segundo PORTO (1987), o coeficiente de escoamento, c , pode ser estimado a partir das intensidades de chuva, R , e os números de deflúvio, N , com uso da Expressão 13:

$$c = \frac{(R - 5080 / N + 50,8)^2}{R.(R + 20320 / N - 203,2)}$$

Expressão 13

Admitindo a duração da chuva, t , igual ao tempo de concentração, t_c , da bacia, e utilizando uma determinada expressão para estimativa da intensidade, duração e de frequência para chuvas na localidade sob estudo, a altura de chuva total, R , é dada por:

$$R = i.t_c$$

Expressão 14

O valor de, c , com uso da Expressão 13 pode ser estimado em função do número de deflúvio, N , tempo de concentração, t_c , e o período de retorno, T_r .

Em São Carlos, COUTINHO & PORTO (1991) fizeram uso desse procedimento a partir de sugestões contidas em trabalhos desenvolvidos por JOHNSON & MEADOWS em 1980 e por PORTO (1987) - publicado na revista D.A.E. - vol. 47 - nº 148/março 1987 - páginas 37-39.

COUTINHO & PORTO (1991) desenvolveram uma expressão para estimativa de intensidade de chuva e um gráfico para a estimativa expedita da vazão de projeto para a cidade de São Carlos. O uso das propostas dos autores torna possível também a estimativa do coeficiente de escoamento superficial, c , para a cidade de São Carlos, sem extraí-lo de tabelas. PORTO (1987) relata que:

- a) A partir do uso conjunto dos métodos racional e do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975), consegue-se uma especificação mais detalhada da natureza e características dos terrenos da bacia;
- b) É possível estimar um valor para o coeficiente de escoamento superficial, c , em função das características observadas no item a, do tempo de concentração, t_c , e do período de retorno, T_r . Esse procedimento, é mais vantajoso do que escolher um valor determinado de, c , nas tabelas usuais;
- c) A simplicidade e facilidade de uso do método racional são preservadas, e podem ser ampliadas com a elaboração de curvas para estimativas rápidas;
- d) O procedimento apresentado por HORNER & JENS (1941), Expressão 11, tende a superestimar o valor de, c ,
- e) E, o valor de, c , freqüentemente assumido como constante e "médio" nos projetos de drenagem no Brasil, para $t_c \leq 30$ min, que é normal pelo tamanho das bacias, é bastante conservador.

Dentre outros métodos para estimativa de vazão estão por exemplo, o método do BRITISH ROAD RESEARCH LABORATORY (T.R.R.L.) e o método do Hidrograma Unitário. Entretanto, estes processos não são objeto principal de análise no presente trabalho, porque são menos usados durante o estudo da drenagem de ruas e estradas no Brasil. Comenta a FHWA (1984):

- a) O método do T.R.R.L., é de difícil aplicação porque exige a confecção de hietogramas e isócronas: o tempo de percurso na boca-de-lobo é muito pequeno, e torna a busca de isócronas impraticável;
- b) O método do Hidrograma Unitário depende do conhecimento de dados de chuva e vazão, para a elaboração do hidrograma unitário, sendo pouco utilizado para o dimensionamento de bocas-de-lobo em ruas,
- c) E, que o método do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE, utiliza um modelo por computador de simulação contínua, que pode ser aplicado para bacias de 0,4ha a 809ha, útil somente em projetos onde é necessário estudar o armazenamento de água.

III.2 Método Racional e o uso de teoria da probabilidade

A maior crítica ao método racional está relacionada com a interpretação determinística das estimativas de vazão. O uso de interpretações probabilísticas sobre o resultados obtidos pode diminuir dificuldades de análise.

O conceito de probabilidade aplicado ao método racional foi estudado por HORNER & FLYNT (1936), mas as conclusões foram esquecidas até o trabalho de SCHAAKE et al. (1967), apud PILGRIM & CORDERY (1993). A expressão do método racional pode ser escrita:

$$q(y) = F \cdot c(y) \cdot i(t_c, y) \cdot A$$

Expressão 15

Onde: $q(y)$ = vazão por unidade de área;

F = fator para ajuste de unidades;

$c(y)$ = coeficiente de escoamento superficial;

$i(t_c, y)$ = intensidade de chuva para o tempo de concentração t_c ;

y = número de anos de observação, ou vida útil da obra, e,

A = área da bacia de drenagem.

Com o uso dessa forma para expressar o conjunto de conceitos do método racional, o propósito não seria estimar uma vazão de projeto para uma chuva específica, e sim, estudar a ocorrência de descargas em função de um período de retorno, T_r , por análises sobre a frequência de vazões previamente observadas: a expressão do método racional passa a ser um meio para converter uma altura de chuva com determinado período de retorno, T_r , em (y) anos, para uma descarga máxima, com um mesmo, T_r .

Tanto a chuva de projeto, quanto a descarga de pico são conceitos cujo comportamento podem ter interpretações e explicações de acordo com a teoria da probabilidade, e serem estimados por análises sobre as frequências de ocorrência de valores de intensidade de chuva coletados no local estudado.

Para PILGRIM & CORDERY (1993), a estimativa de vazões a partir de $c(y)$ converterá a chuva de projeto de duração t_c e período de retorno $T_r(y)$, em uma inundação máxima com um determinado período de retorno, $T_r(y)$. O processo para isso consiste em observações sobre bacias estudadas sobre variáveis que definem valores de parâmetro básico, usualmente, o coeficiente de escoamento superficial, c , para um período de observação de 10 anos. A partir de então, os dados podem ser mapeados, ou obtidos a partir de estudo de análise de regressão sobre as variáveis envolvidas.

Para o coeficiente de escoamento superficial, em áreas rurais utiliza-se uma relação do tipo $\frac{c(y)}{c(10)}$ e, em áreas urbanas o valor de $c(y)$ pode ser obtido independentemente do número de anos para estimativa.

HORNER & FLYNT (1936) comentam que, se associado a conceitos sobre probabilidades em determinada região, o método racional pode se tornar um eficiente procedimento para análise e estimativa de vazões, e fornece valores mais confiáveis para expressar o coeficiente de escoamento superficial, c . Entretanto, conforme relatos de TITIMARSH et al. (1995), para tais aplicações, a estimativa de tempo de duração da chuva, t , é o fator mais importante. Segundo PILGRIM & CORDERY (1993) são etapas da obtenção de dados para uso de conceitos sobre probabilidade associáveis à estimativa de vazões com o uso do método racional:

- a) A estimativa de vazão por unidade de área, $q(y)$, para um determinado período de retorno, $T_r(y)$, a partir da análise de frequência das inundações;
- b) A escolha de um procedimento para estimar t_c ;
- c) Para cada região, os valores de $i(t_c, y)$ são determinados para cada $T_r(y)$, a partir de uma determinada intensidade de chuva de um conjunto intensidade - duração - frequência característico de dada bacia;
- d) Os valores de $c(y)$ são estimados para cada bacia e cada $T_r(y)$;
- e) Uma estimativa preliminar de $c(y)$ pode ser adotada para representar as características da bacia - PILGRIM & CORDERY (1993) recomendam adotar $T_r = 2$ e $T_r = 10$. O valor de $c(y)$ escolhido representará as características da bacia obtidos em análise de regressão, ou poderão ser traçados em mapas da região de estudo,
- f) E, um valor médio de $c(y)$ para uma região pode ser estimado, a partir de um dado período de retorno, T_r , para um ano e um número de anos de observação (y) qualquer.

Em resumo, a aplicação de conceitos de probabilidade no método racional pode ser efetuado através do seguinte roteiro:

- a) Adoção de uma expressão para estimar o tempo de concentração, t_c ;
- b) Estudo de dados sobre altura de chuva para a região observada;
- c) Estimativa do coeficiente de escoamento superficial, c , e,
- d) Análise de frequências das variáveis envolvidas.

III.3 Sobre a hidráulica no dimensionamento de elementos para drenagem

A análise sobre a hidráulica de elementos componentes da drenagem urbana e do processo de drenagem em si, tem sido objeto de estudo de pesquisadores, há muitas décadas, cita-se a JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956); CHOW (1964); WILKEN (1978); CETESB (1979) e FHWA (1984).

Os métodos necessários para o dimensionamento de elementos componentes da drenagem de pequenas bacias tiveram vários períodos de desenvolvimento. Inicialmente, através da prática baseada na experiência, sem quaisquer medições, e a partir de regras empíricas. Em seguida, foram estabelecidas as bases de teorias verificadas por análise sobre dados.

Foi esse o período, em que se introduziram erros conceituais, que levaram a excessos nas dimensões de componentes envolvidos no processo de drenagem.

O dimensionamento de componentes do processo de drenagem é um complemento da escolha: trata-se de um processo de dimensionamento que trabalha com formas geométricas e materiais pré-escolhidos entre os padrões adotados por órgãos públicos ou de pesquisa. Usam-se basicamente, conceitos de hidráulica e dados experimentais sobre os elementos padronizados para análise e previsão das capacidades dos elementos e condições de regime de fluxo, erosão, sedimentação, etc., depois da fixação de hipóteses pelo projetista.

A escolha dos elementos componentes do processo de drenagem é usualmente feita a partir de padrões recomendados por órgãos públicos, ou entidades de pesquisa, combinando-se características de topografia de terrenos, geometria de obras, capacidade de elementos para drenagem, segurança ao fluxo de veículos e pedestres ou outros fatores com resultados de dimensionamento hidráulico e hidrológico.

IV. Sobre as bocas-de-lobo

RUSSAM (1969) relata que o mais antigo trabalho sobre bocas-de-lobo é de autoria de EASTWOOD em 1946, que avaliou o comportamento de orifícios durante a captação de água.

Relatam-se, nesse capítulo, resumos de conclusões expostas em estudos desenvolvidos por órgãos de pesquisa como: JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956), COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1979), CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - CTH (1983) e FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (1984), e também por pesquisadores isolados como: CHOW (1964) e WILKEN (1978). Verificou-se que esses estudos e ensaios sobre bocas-de-lobo estabeleceram parâmetros para avaliar a capacidade de captação ou eficiência de elementos componentes da drenagem. Assim:

A JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956) publicou um relatório, intitulado "The Design of Storm-Water Inlets", que contém dados relativos ao comportamento hidráulico de bocas-de-lobo com abertura na guia, com grade na sarjeta, e combinada com abertura na guia associada à grade na sarjeta, com e sem depressão nas sarjetas.

O relatório da JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956) resume análises sobre resultados obtidos em testes realizados nas ruas de Baltimore (EUA) e estudos sobre modelos hidráulicos de dimensões reduzidas. Por exemplo, a Expressão 16 representaria a vazão captada por uma boca-de-lobo com abertura na guia sem depressão na sarjeta:

$$\frac{Q}{L} = K \cdot \left(\frac{n \cdot Q_o}{\sqrt{I}} \right)^{\frac{2}{16}}$$

Expressão 16

Onde:

- Q = vazão (m³/s);
- L = comprimento da boca-de-lobo ou da grelha (m);
- K = constante para ajuste de unidades;
- I = declividade longitudinal da via (m/m);
- n = coeficiente de rugosidade de Manning, e,
- Q_o = vazão que escoar na sarjeta.

Comenta a JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956) que a Expressão 16 é útil apenas para médias declividades (entre 2 e 5% no sentido longitudinal) e pequenas vazões (que não ultrapassem a capacidade do canal guia/sarjeta).

YONG (1965), ZWAMBORN (1966) e RUSSAM (1969) usando modelos reduzidos de bocas-de-lobo com abertura na guia, confirmaram a validade da Expressão 16 analisando dados de experimentos onde variaram as declividades longitudinal e transversal das sarjetas, e diversas alternativas geométricas para o entorno da boca-de-lobo, como: depressões na sarjeta e defletores para conduzir o fluxo de água a 45° na sarjeta em frente a boca-de-lobo.

FORBES (1976) relatou resultados obtidos durante estudos teóricos sobre um método numérico para estimativa da eficiência da boca-de-lobo com abertura na guia. O método é bastante complexo, e, de acordo com o CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (1983), leva a resultados coerentes com os apresentados pela JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956) e os de ZWAMBORN (1966), mas o trabalho não contém confirmações experimentais.

O manual de projeto elaborado pela COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1979) fornece, de maneira geral e sintética, critérios para elaboração de projetos de micro drenagem urbana. É útil para identificação e classificação de elementos componentes do processo de drenagem, e para a descrição de interferências geradas entre a drenagem das ruas e os tráfegos de veículos e pedestres.

Os roteiros de projeto e estimativas de vazões, relatados no manual de projeto CETESB (1979) adotam as propostas da JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956), detalhado por WILKEN (1978). Consideramos que o conteúdo informativo do manual de projeto é limitado, porque fornece apenas critérios para a elaboração de projetos de ruas na área da drenagem, e, roteiro para dimensionamento e escolha de bocas-de-lobo através de tabelas e ábacos.

Considerando que a maioria dos estudos sobre bocas-de-lobo usa o método pioneiro proposto pela JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956), e a extensão deste por CHOW (1964), consideramos desnecessário incluir nesta dissertação detalhes sobre o modelo de projeto de bocas-de-lobo da CETESB (1979).

O conteúdo do manual de projeto da CETESB (1979) é genérico, e fica aquém de muitas necessidades, por exemplo, tanto manutenção quanto limpeza dos equipamentos de drenagem, são importantes para a conservação, a eficiência operacional e melhoria de captação dos mesmos, mas tais operações não são citadas nesse manual. O manual de projeto da CETESB (1979), a exemplo da bibliografia consultada, é omissa na discussão da manutenção, e de forma resumida descreve somente itens sobre consequências de serviços para recapeamento de ruas.

O relatório de estudos experimentais do CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - CTH (1983) expõe resultados de uso de um critério de semelhança hidráulica para avaliar modelos de dimensões reduzidas a partir de protótipos em escalas reais. Montado na escala 1:3, o modelo é constituído por uma estrutura metálica de 4,0 metros de comprimento, e 0,5 metro de largura; por um apoio articulado e um apoio simples (que permite variações nas inclinações longitudinais de até 15%); por um canal de madeira fixado sobre a estrutura metálica, de 4,4 metros de comprimento e 0,7 metro de largura (que simula as dimensões da sarjeta). Este canal é acoplado à estrutura metálica através de dobradiças, para permitir simulação de declividades transversais da sarjeta.

Foi adotado um ângulo de 90° entre a guia e a sarjeta e uma parte do canal junto a guia, construído em módulos, de modo a permitir a colocação de bocas-de-lobo de diferentes formas geométricas. O esquema do equipamento utilizado pelo CTH (1983) é ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Esquema do equipamento utilizado pelo CTH (1983)

Ressalte-se, entretanto, que estudos em modelos reduzidos de bocas-de-lobo, tanto em guias, quanto as sarjetas, podem ser afetados pelas escalas e variações de tensão superficial da água. O principal objetivo do estudo CTH (1983) foi estabelecer a avaliação quantitativa da eficiência hidráulica das bocas-de-lobo com e sem depressão, instaladas numa guia padrão.

O CTH (1983) estudou duas alternativas:

- a) Boca-de-lobo com abertura na guia e sem depressão na sarjeta (Figura 7), executada nas escalas 1:1 e 1:3; e,
- b) Boca-de-lobo com abertura na guia e com depressão na sarjeta (Figura 8), executada nas escalas 1:1 e 1:3.

Figura 7 - Esquema de boca-de-lobo sem depressão na sarjeta

A sugestão para estimativa de vazão da boca-de-lobo sem depressão, ilustrada na Figura 7, é dada por:

$$\frac{Q_o}{L} = 0,75 \cdot y_o^{3/2}$$

Expressão 17

Onde:

Q_o = vazão que escoar na sarjeta (m³/s);
 L = comprimento da boca-de-lobo ou da grelha (m), e,
 y_o = altura de fluxo d'água na guia (m).

E, para a boca-de-lobo com depressão, conforme Figura 8, a expressão de captação seria:

$$\frac{Q_o}{L} = 1,02 \cdot y_o^{3/2}$$

Expressão 18

Onde:

Q_o = vazão que escoar na sarjeta (m³/s);
 L = comprimento da boca-de-lobo ou da grelha (m), e,
 y_o = altura de fluxo d'água na guia (m).

Figura 8 - Esquema de boca-de-lobo com depressão na sarjeta

Segundo o CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (1983), as bocas-de-lobo com depressão captam mais água a medida em que aumenta a vazão na sarjeta. Deste modo, as bocas-de-lobo utilizadas com depressão na sarjeta são mais indicadas que as bocas-de-lobo sem depressão.

De acordo com os resultados do CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (1983) há ainda melhores resultados, quando se trata de rua com declividade longitudinal acentuada, $I > 7\%$.

- a) Para essa condição, a capacidade de captação é aproximadamente igual a um valor 25% maior que as bocas-de-lobo sem depressão,
- b) E, para uso de bocas-de-lobo sem depressão em rua com perfil longitudinal plano, é indicada a alimentação simétrica, ou seja, captação de água por ambos os lados da boca-de-lobo, onde o topo da guia deve ser executado no mesmo nível de ambos os lados, a altura da guia variável, e, a boca-de-lobo localizada no ponto onde a altura da guia é maior, o que corresponde ao nível mais baixo da sarjeta.

O relatório de estudos publicado pela FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (1984), "Drainage of Highway Pavements", aborda tópicos sobre resultados de análises sobre bocas-de-lobo, e, ressalta a preocupação de técnicos nos Estados Unidos com a segurança de usuários e desenvolvimento de novos tipos de grades de proteção para bocas-de-lobo. Sem dúvida, a principal virtude dos estudos feitos pela FHWA (1984), é ser pioneiro ao relatar a busca de soluções para a drenagem superficial que, apesar do volume de estudos nas décadas anteriores, ainda é pobre em inovações.

Segundo a FHWA (1984), estudos sobre modelos em escalas reduzidas, fundamentados em análise de protótipos reais simularam vazões através de bocas-de-lobo, procurando contribuir para conciliar o interesse do homem em administrar os problemas relacionados com a captação de água pluvial e o controle dos seus efeitos.

Os estudos da FHWA (1984) possibilitaram verificar, a segurança e a eficiência de diversos tipos de grades no esgotamento das águas superficiais.

Além dos tipos já conhecidos de bocas-de-lobo, tais como: simples, com grelha, combinada e múltipla, foi também estudada a boca-de-lobo do tipo "*slotted drain inlet*" (boca-de-lobo com ranhura longitudinal), conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Boca-de-lobo com ranhura longitudinal

Segundo a FHWA (1984), a boca-de-lobo com ranhura longitudinal, apesar de inovadora, requer mais cuidados para manutenção, por facilitar o depósito de sedimentos e outros materiais no tubo de esgotamento, e, o pequeno diâmetro do tubo. Por isso requer o uso de equipamentos especiais para limpeza.

Mas, apesar disso, a boca-de-lobo com ranhura longitudinal tem sido usada na drenagem superficial urbana, de algumas cidades dos Estados Unidos, principalmente em áreas com elevada concentração de pedestres e ciclistas porque tem abertura superficial reduzida, e por oferecer pouca interferência na operação do tráfego.

A Foto 8, extraída do relatório FHWA (1984, página 65), ilustra o uso de boca-de-lobo com ranhura longitudinal em cruzamento de via.

Foto 8 - Boca-de-lobo com ranhura longitudinal em cruzamento de via
FHWA (1984, página 65)

De acordo com a FHWA (1984), uma das preocupações que administradores públicos devem ter é que as grades para proteger as aberturas de bocas-de-lobo podem gerar conflitos para pedestres e outros usuários, como ciclistas e motociclistas. Desse modo, as grades devem se tornar um dispositivo para proteção a usuários da via, e serem objeto de pesquisas que verifiquem, além da eficiência de captação, a segurança associada aos pedestres, ciclistas, motociclistas e veículos.

As Figuras e Fotos a seguir ilustram e resumem as conformações de grades para bocas-de-lobo estudadas e sugeridas pela FHWA (1984).

Dentre as inovações propostas pela FHWA (1984), estão o uso de: grade de lâminas transversais curvas, grade de barras inclinadas a 45°, grade de barras inclinadas a 30° e grade com retículos (barras cruzadas em forma de rede), ilustradas nas figuras e fotos a seguir.

Figura 10 - Grade de boca-de-lobo com barras longitudinais paralelas - FHWA (1984, página 40)

Figura 11 - Grade de boca-de-lobo com barras longitudinais paralelas - FHWA (1984, página 41)

Figura 14 - Grade de boca-de-lobo com lâminas inclinadas a 45°
FHWA (1984, página 43)

Foto 9 - Boca-de-lobo combinada com grade de lâminas inclinadas a 45°
FHWA (1984, página 66)

Figura 15 - Grade de boca-de-lobo com lâminas a 30° - FHWA (1984, página 44)

Os resultados de estudos relatados pela FHWA (1984) mostram avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos em equipamentos para micro drenagem urbana. De outro lado, evidenciaram que muito resta em planejamento e execução de projetos para atingir um grau satisfatório de desenvolvimento tecnológico dos equipamentos para drenagem superficial urbana.

Com relação à manutenção e limpeza dos equipamentos para drenagem também não encontramos, no material bibliográfico da FHWA (1984), qualquer citação relativa às diretrizes de como efetuar tais operações. As efetuadas pela FHWA (1984) sobre eficiência das bocas-de-lobo relacionam a profundidade do fluxo, o tipo, posição e inclinação das lâminas, tentando obter dados para projeto de grades de bocas-de-lobo que operassem com todas as aberturas desobstruídas, sem entupimentos.

IV.4. Escolha do tipo de boca-de-lobo

Diversos autores, por exemplo CHOW (1964), WILKEN (1978) e FHWA (1984), relatam resultados de análises sobre o uso e a escolha de bocas-de-lobo. A seguir resumimos e comentamos algumas das considerações efetuadas.

A principal vantagem que recomenda o uso de bocas-de-lobo simples, é que as obstruções causadas por detritos na entrada, apesar de inevitáveis, são menos freqüentes, quando comparadas com outros tipos de bocas-de-lobo porque as aberturas de entrada são maiores nesse tipo de equipamento de drenagem. A principal desvantagem é a baixa eficiência de captação quando utilizada em sarjeta com declividade longitudinal acentuada, $I > 2\%$.

A principal desvantagem por recomendar o uso de bocas-de-lobo com grade é a obstrução causada por materiais e detritos transportados pelas enxurradas no início das chuvas, o que implica em redução substancial da capacidade de captação de água, tornando as bocas-de-lobo inativas em alguns casos.

A capacidade de captação de bocas-de-lobo com grade é função de:

- a) Tipo e abertura da guia;
- b) Dimensões;
- c) Presença ou não de depressões na sarjeta, e,
- d) Manutenção e limpeza.

Estudos sobre aplicações práticas de bocas-de-lobo atualmente em uso, são importantes para adequar os materiais e técnicas disponíveis às condições locais. Para a FHWA (1984), o uso de grades para bocas de lobo depende de dois fatores principais:

- a) Melhoria da capacidade de captação de água superficial,
- b) E, segurança de usuários da via.

Segundo CHOW (1964), WILKEN (1978) e FHWA (1984), estudos sobre a eficiência de captação de boca-de-lobo simples permitem concluir que:

- a) A capacidade de captação das bocas-de-lobo simples depende de:
 - a.1) Altura do fluxo na guia;
 - a.2) Comprimento da abertura na guia, e,
 - a.3) Utilização ou não de depressão na guia e/ou sarjeta.
- b) A capacidade de descarga das bocas-de-lobo com abertura na guia é função do grau declividade longitudinal da rua e do grau de declividade transversal da rua e sarjeta;
- c) A capacidade de captação da abertura na guia diminui quando a declividade longitudinal aumenta, e a capacidade de captação aumenta quando aumenta a declividade transversal da rua e sarjeta;
- d) O uso de bocas-de-lobo simples é indicado para declividades longitudinais de até 5%, com ou sem depressão nas sarjetas, dependendo da vazão a ser captada,
- e) E, a capacidade de captação da boca-de-lobo simples, depende da rapidez com que se processa a mudança de direção do escoamento na sarjeta. Essa mudança é principalmente ocasionada pela declividade transversal da superfície da sarjeta, ou seja, aumentando declividade no local, por exemplo através de uma depressão na sarjeta junto à face da guia, a capacidade de esgotamento da boca-de-lobo será aumentada.

Quando as grades estão nos pontos baixos das sarjetas, a probabilidade de obstrução é ainda maior, capta-se o fluxo de ambos os lados, e as bocas-de-lobo tendem a funcionar como um orifício. Neste caso, a capacidade de esgotamento pode ser melhorada quando a boca-de-lobo for construída com depressão na sarjeta.

Segundo a FHWA (1984), grades constituídas por barras longitudinais são mais eficientes na captação e menos sujeitas a obstrução do que as constituídas por barras transversais, ou que tenham algumas barras transversais. As grades longitudinais, mesmo bem projetadas, também são passíveis de obstrução, porém menos freqüentes que as transversais.

Para CHOW (1964), o tipo mais eficiente de grade é a de barras paralelas, dispostas na direção do fluxo, com abertura mínima de 50% da área superficial da grade. Segundo CHOW (1964), as barras executadas com a parte superior lisa geralmente permitem melhores características para autolimpeza e não entupimento.

Relatos da FHWA (1984) sobre a eficiência de captação de boca-de-lobo combinada concluem que:

- a) Há melhoria na captação de água quando se utilizam bocas-de-lobo simples à montante da boca-de-lobo com grade;
- b) Nas bocas-de-lobo combinadas, enquanto não houver obstrução na grade, a abertura na guia pouco influi na capacidade de captação, e,
- c) Quando ocorre a obstrução na grade, a abertura na guia torna-se um importante elemento para garantir a captação de água.

Segundo a FHWA (1984), os testes efetuados sobre bocas-de-lobo combinadas, uma com a abertura na guia alinhada com a abertura na sarjeta e outra com um prolongamento da abertura na guia à montante da abertura na sarjeta, concluem que:

- a) O entupimento da abertura na guia, à jusante da boca-de-lobo combinada, pode reduzir a capacidade de captação em mais de 50%, e,
- b) Um prolongamento dessa abertura para montante possibilita maior área para a captação do fluxo de água, melhorando a captação da boca-de-lobo, mas não resolve o problema de acúmulo de sedimentos.

De acordo com a FHWA (1984), a capacidade de captação para bocas-de-lobo, definida como porcentagem de fluxo de água interceptado depende de:

- a) Declividade transversal do pavimento;
- b) Declividade longitudinal do pavimento e da sarjeta;
- c) Fluxo total sobre a grade, e,
- d) Rugosidade do pavimento.

A instalação de uma boca-de-lobo simples à montante da boca-de-lobo com grade é ilustrada na Foto 10.

Foto 10 - Boca-de-lobo combinada, com parte da boca-de-lobo simples à montante da boca-de-lobo com grade - FHWA (1984, página 67)

IV.5. Fatores que afetam a capacidade de captação de bocas-de-lobo

A expressão matemática que define a eficiência, E , é:

$$E = \frac{Q_i}{Q_o}$$

Expressão 19

Onde:

E = eficiência de captação de água na boca-de-lobo;

Q_o = fluxo total na sarjeta (m^3/s), e,

Q_i = fluxo interceptado (m^3/s).

O fluxo não interceptado, ou a vazão excedente, passa sobre a grade, ou lateralmente a boca-de-lobo. O fluxo não interceptado, q , é definido pela seguinte expressão:

$$q = Q_o - Q_i$$

Expressão 20

Onde:

q = vazão não esgotada pela boca-de-lobo (m^3/s);

Q_o = fluxo total na sarjeta (m^3/s), e,

Q_i = fluxo interceptado (m^3/s).

A capacidade de captação de uma boca-de-lobo aumenta conforme aumenta a altura do fluxo de água na guia, e, a eficiência da boca-de-lobo diminui com a redução do fluxo.

Fatores que afetam a altura de fluxo de água na guia, também interferem na capacidade de captação da boca-de-lobo. Assim, a capacidade de captação de bocas-de-lobo com grade depende:

- a) Do volume de água escoando sobre a grade;
- b) Do tamanho e da configuração da grade, e,
- c) Da velocidade do fluxo de água na sarjeta.

A eficiência, E , de uma boca-de-lobo com grade, além dos fatores citados anteriormente, é função da altura do fluxo de água na guia. Para a FHWA (1984), o fator mais importante, que interfere na capacidade de captação das bocas-de-lobo, é a altura do fluxo de água na guia, imediatamente antes da interceptação de fluxo.

Os estudos da FHWA (1984) comprovam que, a altura efetiva de água na guia e a eficiência e a capacidade de bocas-de-lobo simples, é melhorada com o uso de uma depressão para a abertura na guia. É indicado usar depressão na sarjeta, para aumentar a altura do fluxo adjacente a abertura. A espessura da placa sobre a abertura na guia (guia chapéu), pode reduzir substancialmente a capacidade de captação da boca-de-lobo simples.

IV.6. Resultados de outros estudos sobre boca-de-lobo

Os estudos relatados por YASUHIKO & HIROYUKI (1988) procuram identificar características da acumulação de cargas hidráulicas em bocas-de-lobo instaladas em áreas urbanas, e a sua relação com inundações. O período de investigação foi de aproximadamente 8 meses (junho de 1986 a janeiro de 1987), numa área residencial próxima a KANSAI UNIVERSITY.

Os resultados mais importantes daquela pesquisa foram:

- a) Para chuvas maiores que 15mm/dia a 20mm/dia o volume de sedimentos encontrados no fundo das bocas-de-lobo diminuía para todas as bocas-de-lobo pesquisadas. Inversamente, chuvas inferiores de 15mm/dia a 20mm/dia o volume de sedimentos era maior,
- b) E, o volume de sedimentos e entulhos encontrados nas bocas-de-lobo foi menor nos dias de chuva, e maior na estação seca.

UYUMAZ (1992) estudou a eficiência de captação de boca-de-lobo simples no laboratório de hidráulica da UNIVERSIDADE TÉCNICA DE ISTAMBUL na Turquia usando um modelo na escala 1:4, construído com características semelhantes as de um protótipo 1:1. A declividade longitudinal da sarjeta variou entre 0% e 6%, a declividade transversal da rua entre 2% e 6%, e a declividade transversal da sarjeta entre 4% e 8%.

As descargas de água foram feitas usando canais triangulares com ângulo de 90° entre a sarjeta e a guia, onde uma comporta construída no final do canal possibilitava o controle do nível de água. Três conjuntos padronizados de bocas-de-lobo simulavam o comprimento da abertura na guia com 38,1cm (1.25ft), 76,2cm (2.5ft) e 114,3cm (3.75ft). Foi observado que para ruas com canais operando no regime de fluxo supercrítico - número de Froude maior que um - a altura do fluxo d'água na guia diminuía na direção do escoamento, e aumentava quando a operação era feita no regime de fluxo subcrítico - número de Froude menor que um.

As conclusões desse estudo comprovam os resultados obtidos pela JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956) e por CHOW (1964), que:

- a) A capacidade de descarga das bocas-de-lobo com abertura na guia é função, da declividade longitudinal da rua e da declividade transversal da rua e sarjeta,
- b) E, a capacidade de captação da abertura na guia diminui quando a declividade longitudinal aumenta, e a capacidade de captação aumenta quando aumenta a declividade transversal da rua e sarjeta.

O estudo relatado por KIYOSHI, TATSUYA e ATSUSHI (1993) teve os objetivos estabelecidos por YASUHIKO & HIROYUKI (1988), e mostraram características de poluentes encontrados em pontos baixos nas áreas urbanas. Dentre as áreas pesquisadas estavam as superfícies de rodovias e bocas-de-lobo, a coleta de dados foi feita num período de 16 anos na cidade de Kyoto, no Japão. O objetivo principal desse estudo foi verificar a influência do material transportado para pontos baixos do terreno na capacidade de captação das bocas-de-lobo.

Os resultados expostos indicam um relacionamento íntimo entre o diâmetro de sedimentos encontrados, e outros poluentes, como a matéria orgânica e outros materiais. O diâmetro de sedimentos foi o elemento mais importante do estudo.

Entre as principais conclusões expostas por KIYOSHI, TATSUYA e ATSUSHI (1993) destacam-se:

- a) A acumulação de sedimentos nas bocas-de-lobo possui relação direta com o tamanho (densidade) dos grãos carregados pela água,
- b) E, a acumulação de sedimentos nas bocas-de-lobo está diretamente relacionada com o uso e ocupação do solo urbano.

Sobre o acúmulo de sedimentos, STOKES (1850), apud CAPUTO (1988) estabeleceu uma relação entre o diâmetro da partícula e a velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos. A relação exposta por STOKES (1850) estabelece que a velocidade de sedimentação é proporcional ao quadrado do diâmetro das partículas.

IV.4. A formulação para projetos de bocas-de-lobo segundo WILKEN (1978)

Muito mais para aproveitar a síntese e os nomes adotados exporemos o resumo da formulação de WILKEN (1978) para projetos de boca-de-lobo, a partir de:

- a) Estimativas da capacidade de vazão de sarjeta;
- b) Localização da primeira boca-de-lobo no sistema de drenagem;
- c) Espaçamento entre as bocas-de-lobo,
- d) E, na estimativa da capacidade de esgotamento das bocas-de-lobo:
 - Simples com/sem depressão, e,
 - Com grade com/sem depressão.

a) Estimativa da capacidade de vazão de sarjeta

Na estimativa da capacidade de vazão de uma sarjeta, devem ser consideradas as velocidades mínimas e máximas com que as águas pluviais escoam. Velocidades próximas de 0,5m/s podem ocasionar a formação de depósitos de material sólido (assoreamento), e alterar a seção do canal (modificar e/ou obstruir o fluxo de água superficial), além de provocar mau cheiro por deterioração da matéria orgânica assoreada. Valores de velocidade próximos de 4,5m/s, podem ocasionar erosão e desgaste da superfície de pavimentos.

A capacidade de vazão em sarjetas depende da:

- a) Declividade transversal e longitudinal;
- b) Rugosidade da superfície;
- c) Altura do fluxo na guia;
- d) Classificação da via,
- e) E, utilização por pedestres.

Na maioria dos casos práticos, a estimativa de vazão pode ser simplificada com o uso de ábacos ou nomogramas. Um exemplo é o nomograma desenvolvido por IZZARD em 1946, apud WILKEN (1978, página 339), que facilita a estimativa da vazão para escoamentos em canais triangulares, desde que a seção transversal da sarjeta seja um pavimento com declividade uniforme para a face da guia.

Esse nomograma permite estimar também a altura de água na guia para uma dada vazão, ou o oposto. Nessas estimativas a altura de água é obtida a partir do comprimento de sarjeta necessário para estabelecer o escoamento uniforme, que segundo CHOW (1949) é de aproximadamente de 15 metros - (50ft).

Para CHOW (1964) o fluxo na sarjeta pode não atingir o regime uniforme, devido a fatores como:

- a) Depressões nas proximidades da boca-de-lobo,
- b) E, acúmulos de água na superfície da sarjeta.

Na maioria dos casos práticos, a sarjeta vai acumulando água - com o passar do tempo de chuva a vazão não é constante ao longo do comprimento da sarjeta. O nomograma poderá não fornecer com exatidão a altura de água em locais onde a declividade longitudinal varia, como no caso de uma curva vertical de raio muito pequeno, e se existir depressão no local da boca-de-lobo.

Para WILKEN (1978), não é aconselhável o uso do nomograma:

- a) Se a declividade longitudinal tiver variações, ou for menor que 0,5%, e,
- b) Se existir depressão na boca-de-lobo.

IZZARD (1946/1950) e TAPPLEY (1955) apud WILKEN (1978) relataram resultados que confirmam a possibilidade de emprego da relação de Manning na estimativa das vazões em sarjetas, desde que se despreze a parcela de perímetro molhado correspondente a face da guia. A Figura 16 é uma ilustração de um canal lateral de via, a forma com que se simplifica a guia e sarjeta para estudos.

Figura 16- Canal lateral de via (guia e sarjeta)

Fazendo:

$$R_h = y_o$$

Onde: R_h = raio hidráulico (m), e,
 y_o = altura de fluxo na sarjeta (m).

$$Q_o = 0,375 \cdot y_o^{8/3} \cdot z \cdot \frac{I^{1/2}}{n}$$

Expressão 21

Onde:

Q_o = vazão que escoar na sarjeta (m^3/s);
 y_o = altura de fluxo de água na sarjeta (m);
 z = inverso da declividade transversal;
 I = declividade longitudinal da via (m/m), e,
 n = coeficiente de rugosidade da superfície segundo Manning - Tabela 3.

De onde se obtém:

$$y_o = 1,445 \cdot \frac{1}{z^{1/4}} \cdot \left(\frac{Q_o}{I^{1/2}} \right)^{3/8} \cdot n$$

Expressão 22

E:

$$V_o = 0,958 \cdot \frac{1}{z^{1/4}} \cdot \left(\frac{I^{1/2}}{n}\right)^{3/4} \cdot Q_o^{1/4}$$

Expressão 23

Onde: Q_o = vazão que escoar na sarjeta (m^3/s); y_o = altura de fluxo de água na guia (m); z = o inverso da declividade transversal; I = declividade longitudinal da via (m/m); n = coeficiente de rugosidade da superfície segundo Manning - Tabela 3, e, V_o = Velocidade média do escoamento na sarjeta (m/s).

Assim, a Expressão 24 pode ser reescrita:

$$Q_o = 0,375 \cdot y_o^{8/3} \cdot \left(\frac{z}{n}\right) \cdot I^{1/2}$$

Expressão 24

Onde: Q_o = vazão que escoar na guia (m^3/s); y_o = altura de fluxo d'água na guia (m); z = inverso da declividade transversal; I = declividade longitudinal da via (m/m), e, n = coeficiente de rugosidade da superfície segundo Manning - Tabela 3.

Para determinar a vazão, Q_o , em uma porção da sarjeta de largura, x , é necessário utilizar o critério da dedução. Primeiro é necessário determinar a altura da água para uma altura total da sarjeta e por último determinar a vazão na seção procurada.

Os valores do coeficiente de rugosidade da superfície, n , segundo WILKEN (1978), estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do coeficiente de rugosidade da superfície, n , segundo Manning.

Tipo de Superfície	Coeficiente de Atrito, n
Sarjeta de concreto, bom acabamento	0,012
Pavimento de asfalto	
Textura lisa	0,013
Textura áspera	0,016
Sarjeta de concreto com acabamento de asfalto	
Textura lisa	0,013
Textura áspera	0,014
Pavimento de concreto	
Acabamento com desempenadeira	0,014
Acabamento manual liso	0,016
Acabamento manual áspero	0,020

Obs.: Para sarjetas com pequenas declividades pode ocorrer acúmulo de sedimentos, neste caso, os valores de "n" devem ser aumentados de 0,002 a 0,004 (WILKEN, 1978, páginas 342-344).

b) Localização da primeira boca-de-lobo no sistema de drenagem

"Partindo da hipótese que as águas pluviais tenham um caminho de escoamento superficial o mais extenso possível em uma área a ser drenada, a primeira boca-de-lobo deverá ser executada no ponto em que a capacidade de vazão na sarjeta o atingir o limite da altura de água, y_o , que em termos práticos é igual a 13cm (em guias com até 15cm de altura) para evitar transbordamento de água para o passeio" (WILKEN, 1978, página 344).

Para avaliar a vazão a ser escoada pela sarjeta, é adotada a Expressão 25:

$$Q = a.(A)^b$$

Expressão 25

Onde:

A = a área contribuinte em hectares;

a e b = parâmetros estimados em função do local e período de retorno (em geral o período de retorno adotado é 10 anos).

Como referência, para a cidade de São Paulo, os valores de a e b são, respectivamente 0,2 e 0,94. A vazão nas sarjetas pode ser estimada pela Expressão 26:

$$2.Q_o = 0,75. \left(\frac{z}{n}\right). y_o^{8/3}. I^{1/2}$$

Expressão 26

Igualando, Q a $2.Q_o$, obtém-se a relação:

$$A = B.(w_o^{2,81}. I^{0,53})$$

Expressão 27

Onde:

Q_o = vazão que escoar na sarjeta (m^3/s);

y_o = altura de fluxo de água na guia (m);

z = inverso da declividade transversal;

I = declividade longitudinal da sarjeta (m/m);

n = coeficiente de rugosidade da superfície segundo Manning - Tabela 3, e,

w_o = largura da faixa de inundação admissível na sarjeta.

$$w_o = z. y_o$$

Expressão 28

$$B = 4,02. n^{-1,053}. z^{-1,754}$$

Expressão 29

O valor de B também pode ser estimado em função dos valores de z , e n , conforme tabela (WILKEN, 1978, página 345).

A velocidade de escoamento na sarjeta é limitada em 3m/s para evitar erosão e danos à pavimentação. Desse modo, em vias públicas de declividade elevada, a altura de água na sarjeta, y_o , deverá ser menor que a máxima estipulada de 13cm. A velocidade de fluxo na sarjeta é dada pela Expressão 23, onde é possível determinar a declividade máxima, I_{max} , a vazão, Q_o , e, conseqüentemente, a área de captação máxima, para que não se ultrapasse em cada segmento de captação a capacidade máxima da sarjeta.

c) Espaçamento entre bocas-de-lobo

CHOW (1949), apud WILKEN (1978), comenta que o espaçamento entre bocas-de-lobo deve ser função do alagamento máximo permitido no pavimento de acordo com a classificação das vias descritas no capítulo 1, e prevenir interferências ao tráfego de veículos e pedestres para a intensidade de chuva adotada no projeto (em torno de 14 a 20 minutos de duração).

Em ruas com seção transversal parabólica - como é o caso de ruas antigas pavimentadas com paralelepípedos - a vazão na sarjeta fica confinada a uma faixa estreita junto à guia. Nas ruas pavimentadas com concreto ou asfalto, a altura da água na guia é menor e a largura do escoamento na sarjeta é maior.

Segundo WILKEN (1978), as bocas-de-lobo com abertura na guia, ou do tipo com grade, comportam-se bem em ruas de seção transversal parabólica, e são ruins, quanto a capacidade de interceptar águas, em ruas com seção transversal pouco inclinada para as sarjetas. Neste último caso, deve ser considerada a limitação da largura de vazão pela sarjeta durante a chuva de projeto a um valor que não prejudique o tráfego de veículos e pedestres. Na prática, isso pode ser feito espaçando de modo conveniente as bocas-de-lobo - o que muitas vezes resulta na escolha de um projeto padronizado.

d) Capacidade de captação das bocas-de-lobo

WILKEN (1978), quando fala sobre capacidade de captação das bocas-de-lobo, faz o seguinte comentário:

"Um sistema provido de redes de galerias de águas pluviais suficiente para conduzir as vazões superficiais previstas nas estimativas de dimensionamento, poderá funcionar de modo deficiente se as vazões não atingirem as galerias em situações ", WILKEN (1978, página 338).

Tais situações têm relações com as condições de vazão nas sarjetas, e são função das características hidráulicas e capacidades de esgotamento das bocas-de-lobo, de acordo com o seu tipo, dimensões e localização em planta e perfil.

A capacidade de captação de uma boca-de-lobo depende da vazão que escoar à montante. Assim, todos os tipos de boca-de-lobo devem captar mais água a medida que aumenta a altura de água na sarjeta a montante, e uma parte da vazão que escoar pela sarjeta pode em algumas situações, ultrapassar a boca-de-lobo. A captação da boca-de-lobo deve variar conforme as características hidráulicas da sarjeta a montante. Assim:

- a) A boca-de-lobo localizada em um ponto baixo da sarjeta captará toda água que a atingir - desde que ela não fique afogada;
- b) A abertura na guia para bocas-de-lobo simples, só tem influência quando estiver localizada em uma depressão da sarjeta, e,
- c) Em sarjeta com declividade uniforme em sentido longitudinal único, o comprimento da abertura na guia e a depressão da sarjeta quando existir são as dimensões mais significativas para caracterizar a boca-de-lobo.

LARSON (1949) citado por CHOW (1964) relata que a capacidade de captação da boca-de-lobo com ou sem grade, deve ser dobrada se qualquer quantidade de água ultrapassar a boca-de-lobo. Expõe ainda que o bom senso sugere a colocação de três bocas-de-lobo em cada curva vertical, da seguinte maneira:

- a) Uma no ponto de menor cota,
- b) E, uma em cada lado da via, onde a grade executada na sarjeta deve ser 0,2ft (0,66m) mais alto. As duas últimas bocas-de-lobo auxiliam o não alagamento de depressões, reduzindo assim o depósito de sedimentos no pavimento e a quantidade de entulhos acumulados no ponto baixo da boca-de-lobo.

WILKEN (1978) comenta que o uso de resultados de experiências da JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946) facilita a análise matemática do problema. Supondo que a transição a montante da boca-de-lobo seja extensa o bastante para que o nível da água dessa extremidade seja praticamente horizontal na lateral. Isso pode ser comprovado através dos resultados obtidos para as capacidades de bocas-de-lobo, pelas vazões calculadas e as observadas.

A descarga, Q , na boca-de-lobo, depende:

- a) Do comprimento da boca-de-lobo, L ;
- b) Do comprimento da transição de montante para a depressão na sarjeta L_1 ;
- c) Do comprimento da transição de jusante para a depressão na sarjeta e L_2 ;
- d) Da vazão $q_2 + q_3 = Q_o - Q_i$ (que representa a vazão que ultrapassa a boca-de-lobo);
- e) Da largura da grelha, W ;
- f) Das alturas a e b ;
- g) Da velocidade média do escoamento d'água na sarjeta à montante da boca-de-lobo,
- h) E, do ângulo θ .

A Figura 17 resume os parâmetros característicos de bocas-de-lobo combinadas.

Figura 17 - Parâmetros representativos de bocas-de-lobo combinada em pontos intermediários das sarjetas

Caso a sarjeta não tenha depressão:

$$V = V_o, y = y_o \text{ e } \theta = \theta_o$$

A carga total no início da transição de montante, L_1 , pode ser expressa com uso do teorema de Bernoulli, e o valor de y é obtido a partir dos elementos envolvidos com o escoamento na sarjeta. Assim, a carga total no início do trecho de transição de montante, L_1 , é relacionada com a extremidade da mesma transição de acordo com a Expressão 30:

$$\frac{V_o^2}{2 \cdot g \cdot A^2} + y_o + z = \frac{V_o^2}{2 \cdot g} + y + \text{perda de carga em } L_1$$

Expressão 30

Onde:

 V_o = velocidade média do escoamento na sarjeta (m/s); g = aceleração da gravidade (m/s^2); A = área da seção transversal da sarjeta (m^2); y_o = altura de fluxo de água na guia (m); y = altura de fluxo água na guia à montante da boca-de-lobo (m), e, L_1 = comprimento da transição a montante para a depressão na sarjeta (m).

Supondo que a declividade na transição, L_1 , seja a mesma que a da sarjeta, i , admitindo-se o escoamento superficial uniforme, e que a perda de carga nessa transição é igual a $i \cdot L_1$. Sendo $z = i \cdot L + a$, $V_o = \frac{Q_o}{A_o}$, $V = \frac{Q_o}{A}$, assim, a Expressão

30 pode ser escrita como:

$$\frac{Q_o^2}{2 \cdot g \cdot A^2} + y = \frac{Q_o^2}{2 \cdot g \cdot A^2} + y_o + a$$

Expressão 31

Onde:

 Q_o = vazão que escoar na sarjeta (m^3/s); g = aceleração da gravidade ($9,8\text{m/s}^2$); A = área da seção transversal da sarjeta em frente a boca-de-lobo (m^2); y_o = profundidade de fluxo de água na guia (m), e, a = altura da depressão medida a partir da borda interna da sarjeta na extremidade de montante da boca-de-lobo.

A Expressão 31 permite obter o valor de y , a profundidade da lâmina de água na sarjeta na seção imediatamente a montante da boca-de-lobo em questão, sob dada condição de escoamento na sarjeta.

Adotando-se a equação de continuidade pode-se obter:

$$\frac{Q_o}{L \cdot y \cdot \sqrt{g \cdot y}} = k + C$$

Expressão 32

Onde:

 Q_o = vazão que escoar na sarjeta (m^3/s); L = comprimento da boca-de-lobo (m); y = altura de água na guia à montante da boca-de-lobo (m); g = aceleração da gravidade (m/s^2), e, k = função da $tg\theta$.

O valor de C na Expressão 32 é função de $\frac{V^2}{g \cdot y}$, $\frac{L}{a}$, θ , $\frac{L_2}{a}$ e de $\frac{q}{Q_o}$. Segundo WILKEN (1978), o professor Wen-Hsiung-Li e seus colaboradores na JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946) usaram valores de $\frac{V^2}{g \cdot y}$ entre 2 e 9 (variação da declividade da rua, de 0,5% a 4% em boca-de-lobo sem depressão); $\frac{L}{a}$, de 8,7 a 26, $tg\theta$, 4,8 e 6 (resultando em $w = 8.a$, com $tg\theta_o$ igual a 12 e 24, respectivamente) $\frac{L_2}{a}$ igual a 4, $\frac{q}{Q}$, de 0 a 0,7 para a boca-de-lobo sem depressão, $\frac{q}{Q_o}$, de 0 a 0,2 para boca-de-lobo com depressão, e, $\frac{L_1}{a}$ igual a 10.

Segundo a JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946), para boca-de-lobo sem depressão, ou seja, a igual a 0, os valores de k , são os expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de k , segundo a JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946)

$tg\theta$	k
12	0,23
24	0,20
48	0,20

Em bocas-de-lobo com depressão, para o valor de $k = 0,23$, as experiências indicaram que:

$$C = \frac{0,45}{1,12^M}$$

Expressão 33

Onde:

$$M = \frac{L \cdot F}{a \cdot \operatorname{tg} \theta}$$

Expressão 34

e

$$F = \frac{V^2}{g \cdot y}$$

Expressão 35

As variáveis M e F são adimensionais, e onde:

L = comprimento da boca-de-lobo (m);

a = altura da depressão à montante da boca-de-lobo (m);

θ = ângulo formado entre o plano da depressão na sarjeta e o plano vertical;

V = velocidade média do escoamento na sarjeta (m/s);

g = aceleração da gravidade (m/s^2), e,

y = altura de água na guia à montante da boca-de-lobo (m).

A exemplo de outras equações empíricas, as expressões citadas podem ser usadas com confiança só em condições similares às experiências aonde foram obtidas.

“Sob esse aspecto as experiências da JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946) procuraram abranger um campo razoavelmente extenso, e é aplicável à maioria das condições encontradas na prática”, (WILKEN, 1978, página 355).

De acordo com WILKEN (1978), nas experiências feitas pela JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946) adotou-se para o comprimento de transição de montante, L_1 , um valor 10 vezes maior do que o da depressão, a . Portanto, essa exigência deve ser também levada em consideração, quando utilizada na prática.

A relação entre o comprimento da transição e a depressão nas experiências da JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1946), $\frac{L_2}{a}$ é igual a 4. E, quando $\frac{L_2}{a} \neq 4$, e, $b \neq a$, deve-se modificar a Expressão 33 para:

$$C = \frac{0,45}{1,12^N}$$

Expressão 36

Onde:

$$N = \frac{L.F}{a'.tg\theta}$$

Expressão 37

E,

$$a' = \frac{b - I.L_2}{1 - 4.I}$$

Expressão 38

O valor de N , é adimensional, C , é igual a 0 para boca-de-lobo sem depressão e onde:

L = comprimento da boca-de-lobo (m);

a' = altura da depressão na borda externa da sarjeta à montante da boca-de-lobo (m);

θ = ângulo formado entre o plano da depressão na sarjeta e o plano vertical;

b = altura da depressão na borda externa da sarjeta à jusante da boca-de-lobo (m);

I = declividade longitudinal da sarjeta (m/m), e,

L_2 = comprimento da transição de jusante para a depressão na sarjeta (m).

V. Interferências entre o escoamento superficial e o tráfego

A operação de dispositivos componentes da drenagem instalados em vias públicas pode gerar interferências entre o escoamento superficial e o tráfego de veículos e pedestres. Segundo a CETESB (1979), os principais tipos de interferências podem ser:

- a) Deslizamento do veículo sobre a superfície de rolamento, provocada por redução do coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento;*
- b) Espirro d'água, pela passagem dos veículos sobre a água retida na superfície do pavimento;*
- c) Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento ou detenção de água em depressões da superfície de rolamento;*
- d) Alteração de posição de estacionamento de veículos, por influência de depressões para as bocas-de-lobo, recapeamento ou excesso de declividade transversal na sarjeta;*
- e) Efeitos sobre pedestres ciclistas e motociclistas. Riscos de acidentes provocados pela geometria, localização, execução e manutenção inadequadas dos componentes da drenagem, e,*
- f) Alagamento da rua e/ou larguras do escoamento superficial na sarjeta maior que 0,60 metros.*

Segundo a CETESB (1979, página 253) as interferências entre o escoamento superficial pela rua e o tráfego podem ser atribuídas a:

- a) O escoamento superficial transversal ao pavimento, cuja direção principal é a do eixo da rua para as sarjetas;*
- b) Chuvas que se precipitam sobre terrenos adjacentes e são concentradas nas ruas gerando fluxos que podem invadir a pista;*
- c) Acúmulos de água em depressões, e,*
- d) Jatós (espirros) d'água sobre pedestres (e outros).*

O acúmulo de água pode ter alturas maiores até que a da própria guia, e a água pode ficar estagnada por longos períodos de tempo nas superfícies de tráfego. Os veículos que por aí circulem em altas velocidades podem provocar acidentes, ou outras conseqüências ao tráfego.

A acumulação de água na superfície da rua pode ocorrer devido à ineficiência durante a captação de água pelas bocas-de-lobo, variações de inclinações longitudinais de vias, ou pela inclinação de cristas do pavimento em cruzamentos de ruas. Isso pode provocar a redução da capacidade de tráfego das vias.

A água acumulada na superfície da rua pode provocar outras interferências, por exemplo, deslizamento e/ou espirro d'água - relacionados com o escoamento superficial sobre o pavimento e restrições a pedestres, ciclistas e motociclistas - o que passa a ser importante quando a largura do escoamento na sarjeta é maior que 0,60 metro e/ou o espirro d'água pela passagem de o veículo atingir o pedestre.

A Foto 11 ilustra um exemplo desse tipo de ocorrência na rua Sete de Setembro com rua São Paulo, em São Carlos - observe-se o volume de água acumulado na superfície do pavimento.

Foto 11 - Alagamento do cruzamento da rua Sete de Setembro com a São Paulo, em São Carlos, SP, 13/01/95, por falha de captação de boca-de-lobo

A água precipitada sobre o pavimento dá origem ao escoamento superficial transversal para as sarjetas. A profundidade do escoamento superficial, com algumas restrições, deverá ser zero no eixo da pista, e aumentar de maneira gradativa até próximo da guia.

A chuva que precipita sobre ruas e terrenos adjacentes escoam pela sarjeta até atingir um ponto de captação, geralmente uma boca-de-lobo. O aumento da área de contribuição faz crescer o volume de descarga e a largura do escoamento superficial nas vias, provocando a invasão de faixas de trânsito pela água, e interferências com o tráfego.

Dentre as interferências com o tráfego atribuídas ao escoamento superficial destacamos:

- a) A redução do coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento, pela formação de uma película de água que age como lubrificante. O veículo deixa de rolar sobre o pavimento e passa a escorregar. Isso se dá quando os veículos trafegam em velocidade - vias expressas e avenidas.

Um veículo pode entrar em área de escoamento transversal de água, ou de acúmulo de água. Ai pode sofrer ações que tendem a movê-lo lateralmente em direção à sarjeta por ação de acúmulo, ou de escoamento transversal de água.

- b) *Espirro, ou jato de água*, é o arremesso de partículas de água, provocada por escoamento superficial em velocidade, ou tráfego rápido de veículos sobre água superficial no pavimento.

O espirro d'água é causado principalmente pelo percurso da água por distâncias longas sobre o pavimento, ou o escoamento com velocidade muito baixa antes de atingir a sarjeta. A Foto 12 ilustra uma ocorrência de jato de água na rua 7 de Setembro entre ruas São Paulo e Antônio Rodrigues Cajado, São Carlos SP, janeiro de 1995.

O aumento da declividade transversal do pavimento após recapeamento diminui o tempo de percurso da água, e, o tempo necessário para que esta alcance a sarjeta. Entretanto, para permitir o tráfego de veículos e o acesso de motoristas e passageiros aos veículos estacionados junto às guias, a declividade transversal deve ser mantida próxima de 2% (FHWA, 1984, página 2). No Brasil isso é usual nas rodovias, porque 5% é o comum nas cidades

Comenta a FHWA (1984, página 2) que:

“Os pavimentos devem possuir declividade transversal razoável para favorecer a drenagem, e ao mesmo tempo, possuir declividade transversal relativamente pequena para conforto do motorista”.

A FHWA (1984) comenta ainda, que declividades transversais nas vias de até 2% têm pouco efeito no volume de esforço para conduzir veículos pelo motorista. Especialmente quando as forças aplicadas no volante de veículos, ou no contato com o pavimento, são necessários para a estabilidade do veículo, como no caso de vias para tráfego em alta velocidade.

O escoamento de água para a sarjeta através de uma pista muito larga pode causar o aumento de profundidade do fluxo superficial e o acúmulo de água sobre o pavimento. Isto pode ser causado pelo deslocamento da crista do pavimento em áreas próximas a cruzamentos, ou, implantação de pistas largas.

No sentido transversal ou paralelo à faixa de trânsito, sempre que exista uma concentração superficial de água, ocorre uma séria restrição ao fluxo de veículos. O volume de escoamento de água superficial transversal à faixa de trânsito pode aumentar por ações de cruzamento incompatíveis com sarjetões, ou simplesmente por um projeto geométrico inadequado de rua.

Foto 12 - Jato de água - rua Sete de Setembro, São Carlos, SP, 13/01/95

c) *Acúmulo*, a detenção de água sobre o pavimento. Se existe acumulação de água superficial sobre faixas de trânsito, ocorre uma restrição significativa ao fluxo de veículos, porque os motoristas tendem a evitar o local onde está acumulada a água. O volume de escoamento transversal pode ser influenciado pela superelevação em uma curva, sarjetão inadequado em cruzamento, por um projeto mal executado, defeitos na superfície de rolamento ou mau funcionamento dos elementos de drenagem.

A Figura 18 ilustra o acúmulo de água no pavimento provocado por falta de bocas-de-lobo.

Figura 18 - Fluxo de água superficial quando há poucas bocas-de-lobo

- d) *Restrições ao estacionamento de veículos*, mudanças ou alterações de posições de estacionamento de veículos junto à guia - por exemplo, influência de rampas de garagens projetadas na sarjeta, de guias com alturas superiores a 15 cm, de depressões para bocas-de-lobo e de declividades transversais da sarjeta, que causem a diminuição da faixa de trânsito, o que poderá interferir na capacidade da via.

A Foto 13 ilustra a influência da boca-de-lobo na posição de estacionamento de veículo, rua Dom Pedro II com Marechal Deodoro - região central da cidade de São Carlos SP, em 03/12/93.

Foto 13 - Influência da boca-de-lobo em posição de estacionamento
rua Dom Pedro II com Marechal de Deodoro, São Carlos, SP, 03/12/93

- e) *Restrições a pedestres, ciclistas e motociclistas*. As bocas-de-lobo, suas aberturas e barras podem comprometer a segurança de pedestres (cuja capacidade de movimentação é limitada pela largura do passo e tamanho dos pés), bicicletas e motocicletas (porque possuem pneus estreitos, desenvolvem velocidades baixas e circulam próximo a sarjeta).

Recapeamento (construção de nova camada de revestimento em vias) em vias pode alterar a geometria de entrada e o rebaixo para bocas-de-lobo. Quando da execução de recapeamento as espessuras da nova capa e deficiências de acabamento na borda próxima a boca-de-lobo pode deixar o rebaixo fora dos padrões normais e comprometer a segurança de ciclistas e motociclistas. A falta de manutenção de rotina nos elementos para drenagem principalmente nas grades de bocas-de-lobo, pode também comprometer a segurança de pedestres e outros usuários de vias.

As Figuras 19 e 20 são diagramas que ilustram configurações características de escoamento de água pela superfície de pavimento e sarjetas.

Figura 19 - Escoamento de água pelo pavimento e sarjeta, quando as bocas-de-lobo captam toda a água superficial

Figura 20 - Escoamento de água pelo pavimento e sarjeta, quando as bocas-de-lobo não captam toda a água superficial

As interferências entre a água superficial e o trânsito de pedestres podem ser provocadas pela água que escoou ou é acumulada no pavimento. Quando a largura da faixa de água é maior que a largura do passo do pedestre (0,60 metro), Foto 14, há dificuldades para o pedestre atravessar a área inundada. O jato de água pode atingir o pedestre. As bocas-de-lobo e outros equipamentos para drenar podem ser restrições à circulação de pedestres.

A Foto 14 ilustra a largura de um acúmulo de água na rua Sete de Setembro em São Carlos, SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 14 - Detalhe da largura do escoamento superficial na sarjeta (>60cm)
Rua Sete de Setembro em São Carlos, SP, 13/01/1995

Há um grande conjunto de relações entre a construção e manutenção de vias e dos equipamentos de drenagem e seu comportamento. Vamos relatar alguns dos fatos que controlam a utilização desses elementos visando garantir o escoamento superficial, e a qualidade de tráfego de veículos e pedestres:

No Brasil, o desenvolvimento de padrões de normas técnicas para controle de execução de pavimentos urbanos não acompanha a crescente necessidade de implantação desse tipo de obras.

Os critérios de projeto, construção e manutenção de vias utilizados por órgãos públicos, de maneira geral não contêm diretrizes que contribuam para manter e/ou aperfeiçoar desempenho dos componentes da drenagem urbana. Também não contêm previsões e propostas de ação para preservar a capacidade, e as condições operacionais dos dispositivos do processo de drenagem em si. Isso prejudica o processo de drenagem, provocando a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de métodos para análise das consequências de operações para construção e manutenção de vias na capacidade e condições operacionais dos equipamentos de drenagem, e principalmente das bocas-de-lobo.

Os problemas começam durante a construção do pavimento de vias. Segundo VILLIBOR et alii (1988), há dificuldades para a compactar e acabar das bordas do pavimento, provocadas pelas características das sarjetas. Além de infiltração de água, ocorrem também deformações permanentes por deficiência na compactação e trincamento da camada de rolamento.

Trabalhos sobre a construção de pavimentos urbanos de baixo custo (VILLIBOR & NOGAMI, 1982) ressaltam que a compactação controlada do subleito e áreas próximas à sarjeta não é usual nas Prefeituras de cidades pequenas. As Figuras 21 e 22 ilustram tipos de acabamento em bordas de pavimento.

Como medidas preventivas para evitar o aparecimento de fissuras e/ou trincas (que possibilitem a entrada de água pela interface entre o pavimento e a sarjeta) é aconselhável que sejam executados:

- i) O nivelamento da base final de macadame com a base da sarjeta, e,
- ii) O prolongamento do revestimento (capa) até $1/3$ da largura da sarjeta.

Figura 21- Seção transversal de rua, mal executada

Figura 22 - Seção transversal de rua, recomendada

Além disso, dentre os serviços de manutenção do leito carroçável, a execução de recapeamento em pavimentos - acréscimo de camadas de revestimento compostas de misturas de agregados e betumes - é prática comum dentre as tentativas de minimizar a deterioração e o desgaste na superfície das faixas de rolamento.

Se, de um lado o recapeamento reduz a deterioração e o desgaste do pavimento, de outro pode diminuir a capacidade e a eficiência de elementos de drenagem.

A Foto 15 ilustra conseqüências de recapeamento na entrada de uma boca-de-lobo na confluência das ruas Major José Inácio e Dom Pedro II, em São Carlos SP, em 03 de dezembro de 1993.

Foto 15 - Alteração em entrada em boca-de-lobo causada por recapeamento sucessivo, rua Major José Inácio com Dom Pedro II, em São Carlos, SP, 03/12/1993

A CETESB (1979, página 257) relata resultados de análise de conseqüências de recapeamento de pavimentos na área urbana, da seguinte forma:

"Se uma rua é recapeada a cada 5 anos, com uma espessura que varie entre 7 a 19mm, em um período de 20 a 40 anos, a espessura do pavimento será acrescida de 56 a 152mm. Esse acréscimo pode ser levado uniformemente até a guia, encobrindo-a e deixando a boca-de-lobo com um degrau excessivo, ou a borda próxima à sarjeta poderá ser encurvada, elevando ainda mais a declividade transversal e causando incômodos aos usuários de veículos estacionados junto a guia. Embora a altura da guia permaneça a mesma, a seção transversal para o escoamento da água será substancialmente reduzida".

Resultados de pesquisa bibliográfica, WILKEN (1978), CETESB (1979) e FHWA (1984) ressaltam a importância da execução dos serviços para manutenção e limpeza dos equipamentos de drenagem. Porém, não se especificam claramente as diretrizes, métodos e processos para efetuar tais operações que mantêm a eficiência da coleta e condução de águas superficiais das vias.

Com relação às bocas-de-lobo, CHOW (1964), WILKEN (1978), CETESB (1979) e FHWA (1984) são unânimes em destacar a importância da execução de serviços para manutenção do processo para drenagem. Da mesma forma, não indicam normas ou diretrizes para efetuar os serviços de manutenção e limpeza desses elementos.

Outrossim, há que se considerar que, no Brasil, há hábitos ruins quanto à higiene e limpeza urbanas: verificamos, por exemplo, que em diversas cidades a limpeza urbana é terceirizada pelo Poder Público - uma das dificuldades de operação fica por conta de ações de trabalhadores braçais que insistem em varrer o lixo para dentro das bocas-de-lobo. Também os habitantes da cidade têm o hábito de jogar lixo nas bocas-de-lobo.

Há processos e equipamentos específicos para limpeza das bocas-de-lobo e galerias. Seu funcionamento e uso dependem do interesse e capacidade de investimento de cada Município.

A Foto 16 ilustra um caminhão de limpeza de ruas e bocas-de-lobo usado na Prefeitura de São Carlos SP, em junho de 1995.

Foto 16 - Caminhão de limpeza da Prefeitura Municipal de São Carlos - SP

VI. Sobre a cidade de São Carlos e a drenagem de suas vias

Neste capítulo descrevem-se e resumem-se informações e resultados de análises preliminares sobre a cidade, elementos e fatos da drenagem em segmentos de vias na cidade de São Carlos.

VI.1. História e características de São Carlos

A cidade de São Carlos foi fundada em 04 de novembro de 1857, às margens de um "picadão" que de São Paulo levava as minas de ouro em Cuiabá. Vila e distrito de Araraquara foi elevada a condição de cidade em 1880.

São Carlos evoluiu de centro de comércio de café a pólo industrial com população estimada em 160.000 habitantes em 1992. Ali se concentram, duas universidades, a Universidade Federal de São Carlos e um Campus da Universidade de São Paulo, duas unidades da EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, duas Escolas Técnicas (Escola Industrial Paulino Botelho e Escola SENAI), três incubadoras de empresas, 60 Empresas de alta tecnologia - que atuam em mecânica, óptica, eletrônica, instrumentação, novos materiais e informática.

A cidade de São Carlos ocupa uma área de 56km^2 de um total de 1.132km^2 para o município, o segundo em extensão territorial entre os dezessete que integram a micro-região de Araraquara. Essa cidade é localizada próxima ao centro geográfico do Estado de São Paulo, com posição definida pelas coordenadas $22^{\circ}01'22''$ de latitude sul e $47^{\circ}33'38''$ de longitude oeste. São Carlos dista cerca de 243 quilômetros de São Paulo pelas rodovias Anhangüera (SP-330) e Washington Luís (SP-310). A energia elétrica e a água estão instaladas em 100% das quase 40.000 edificações de São Carlos, e o esgoto em 98%.

A Figura 23 ilustra a localização de São Carlos no estado de São Paulo.

Figura 23 - Localização da cidade de São Carlos no Estado de São Paulo

VI.2. Relevo, hidrografia e clima de São Carlos

São Carlos está na borda do planalto paulista, formado por uma seqüência de basalto e arenito (no final da Serra de Itaquiri) característico do relevo de "cuestas", que delimita a feição ocidental da depressão periférica (entre a Serra do Mar e o planalto) e a depressão central do Brasil (entre o planalto e a calha do Rio Paraná).

As cotas, em relação ao nível do mar, no planalto, chegam aos 930 metros e, no sopé das "cuestas", a 700 metros. E:

- a) A cidade tem altitude média de 850 metros;
- b) A maior cota é 920 metros, na Vila Nery, e a menor, nas imediações da Estação de Santo Inácio, a 544 metros;
- c) No município, a altitude máxima é 1112 metros,
- d) E, tais características de relevo impõem à cidade áreas com declives acentuados.

Os cursos d'água na região da cidade de São Carlos, têm duas classificações gerais:

- a) Aqueles que tem nascente no planalto,
- b) E, aqueles que nascem fora do planalto.

Normalmente, ao correr pelo planalto esses cursos d'água têm pequena declividade e pequeno poder de erosão. Isso é justificado em parte por cortarem áreas relativamente planas, e parte por encaixarem-se em basalto não alterado e transportarem poucos sedimentos em época de estiagem.

São cursos d'água:

- a) Do tipo conseqüente;
- b) Passando a obseqüente durante a descida do planalto,
- c) E, em seguida, formam os rios subseqüentes. Já fora do planalto - acompanhando as encostas, formam as nascentes do Rio Monjolinho e seus afluentes, tributários do Rio Jacaré-Guaçu, na bacia do médio Tietê.

A cidade de São Carlos possui duas bacias hidrográficas:

- a) A principal é a do Rio Gregório: corta o perímetro urbano nas direções norte e oeste seguindo a direção nordeste-sudoeste, e delimita a parte mais antiga e central da cidade, vem do extremo leste e segue para desaguar no Rio Monjolinho, a oeste da cidade,
- b) E, atualmente, a totalidade da área da Bacia do Gregório está em área urbana, e ambos os trechos baixo e médio, são margeadas por avenidas, ou o serão médio prazo.

Adotando a proposta de ANDRADE (1964), a região de São Carlos tem, segundo a classificação de Köppen o tipo climático Cwa - mesotérmico, úmido, com inverno seco, temperatura do mês mais quente acima de 22°C. Assim:

- a) O inverno vai de julho a setembro, com temperaturas médias que variam entre 11°C e 12,5°C, e, às vezes se aproximam do zero grau;
- b) O verão vai de janeiro a março com temperatura média de 28°C, e nos meses mais quentes, ocorrem picos de temperatura que se aproximam dos 35°C,
- c) E, a temperatura média anual está entre 20°C e 22°C.

A altura média de chuva anual está entre 1.400mm e 1.600mm.

- a) Os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro e fevereiro (média mensal de 240mm);
- b) O período de estiagem vai de abril a setembro (média mensal de 40mm), e aí ocorre alguma deficiência no abastecimento de água,
- c) E, a evapotranspiração anual está entre 880mm e 940mm e ocorrem geadas em tempo estimado em 1 dia por ano.

A cobertura vegetal da Região de São Carlos é classificada como Savana e Cerrado. E:

- a) Em sua maior parte esta cobertura vegetal, devido às ações do homem sobre a vegetação natural, foi substituída por culturas e pastagens,
- b) E, a vegetação é caracterizada por árvores relativamente pequenas, com caules retorcidos, cascas suberosas e folhas quase coriáceas (vegetação xeromórfica).

Dentre as características geomorfológicas da região destacamos:

- a) As cotas mais altas do planalto de São Carlos são ocupadas por um sedimento arenoso e conglomerático, fossilífero e de idade incerta, cuja base corresponde a cota de aproximadamente 800m;
- b) Fundo dos vales, no planalto e extensas áreas a E (este) e W (oeste) são ocupados pelas eruptivas da formação Serra Geral;
- c) As camadas de arenito, da formação Botucatu, estratigraficamente inferiores, são responsáveis pela topografia quase plana, vegetação típica de campo e cerrado que se espriam, em direção ao norte para o vale do Rio Mogi-Guaçu e para o sul em direção ao vale do Rio Jacaré-Guaçu,
- d) E, o planalto de São Carlos é, em grande parte, condicionado pela erosão diferencial que atua em camadas sedimentares e intrusões básicas tabuliformes (magmas toleíticos).

Análises sobre a ocupação de solo em São Carlos podem fazer vislumbrar que:

- a) O município de São Carlos é limitado a Norte, Leste e Sul por rodovias que são consideradas como obstáculos físicos ao crescimento de cidades de pequeno e médio porte, porque, o Poder Público teria grande dispêndio financeiro com a integração das áreas após tais vias com a parte central da cidade, e porque a implantação de infraestrutura como os viadutos e as passarelas são de alto custo,
- b) E, os limites da malha urbana já alcançaram as rodovias que circundam a cidade a norte e a leste, com exceção de uma grande área localizada dentro da bacia do Rio Gregório. Existe um projeto de anel viário que facilitaria o acesso dessa região a qualquer parte da cidade, em pequeno espaço de tempo, e poderá ser mais um fator de estímulo a implantação de residências nessa parcela da bacia do Gregório.

VI.3. A bacia do Rio Gregório

A bacia do Rio Gregório, por atravessar a região central da cidade de São Carlos, área de grande densidade populacional e grande volume de transações imobiliárias, sofreu transformações de uso de solo significativas nos últimos anos. Da nascente, o Rio Gregório mudou de canal aberto e sem proteção, para canal aberto revestido de concreto em trecho próximo à avenida São Carlos, e canal fechado sob o Shopping Malibú, e, novamente a canal aberto antes de desaguar no Rio Monjolinho.

A margem direita do Rio Gregório possui como principal divisor de água as imediações da rua 15 de Novembro, e a margem esquerda as imediações da avenida Getúlio Vargas.

A Figura 24 ilustra a bacia do Rio Gregório e seus limites (divisores de água).

Figura 24 - Bacia de drenagem do Rio Gregório e seus limites

A bacia do Rio Gregório está totalmente contida nos limites do município de São Carlos. A área urbanizada total da bacia é de 14km^2 , com $3,85\text{km}^2$ (27,50%) contida na área urbana de São Carlos. São afluentes do Gregório os córregos "do Lazarini" e "da Invernada" (Figura 25).

As datas de construção das redes e implantação de componentes para drenagem na região central da bacia do Rio Gregório não puderam ser estimadas corretamente, por não constarem dos autos e documentos da Administração Municipal de São Carlos e outros arquivos consultados. Há estimativas, segundo resultados de entrevistas a técnicos da Prefeitura, de que o início de implantação do sistema de drenagem atual foi por volta de 1940.

Para obter dados sobre os divisores de água da bacia do Gregório recorreu-se inicialmente ao Setor de Cadastramento da Prefeitura Municipal de São Carlos, com a finalidade de obter a planta planialtimétrica da região compreendida pelo município. Essa instituição não possuía as informações corretas e de interesse, porque se dizia que "isso vai aparecer em novo estudo que estava nos planos daquele órgão", uma tentativa de obter em médio prazo uma nova planta planialtimétrica da cidade.

Também, procuramos a representação local do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, tentando obter informações sobre a bacia do Gregório, e, da mesma forma que o anterior, não constavam nos arquivos desse órgão local quaisquer informações corretas e úteis.

As linhas divisórias da bacia foram delimitadas em parte usando dados contidos em uma dissertação de mestrado (MACHADO, 1981), e, parte através de levantamento direto em campo.

A Prefeitura Municipal de São Carlos e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, também foram consultados a respeito dos dados geológicos sobre o Município. Constatou-se que esses órgãos também não tinham disponíveis informações úteis e corretas para nosso estudo. Para a obtenção das informações sobre dados geológicos da bacia do Rio Gregório, recorreu-se a uma tese de doutorado (LORANDI, 1985) onde se descrevem características de solos das áreas urbana e suburbana de São Carlos, SP.

As informações sobre a ocupação da bacia do rio do Gregório também foram obtidas a partir de dissertação de mestrado (REBELLATO, 1992), ali se identificaram e caracterizaram diversos estágios de urbanização do Município e o papel desempenhado pela bacia do Rio Gregório em cada um desses estágios.

Segundo REBELLATO (1992), a evolução da ocupação da bacia do Rio Gregório pode ser caracterizada através do uso de documentos referentes aos processos de aprovações dos loteamentos no período de 1971 a 1988.

A Tabela 5 ilustra a evolução das alterações de área loteada na bacia do Rio Gregório, entre 1970 até 1982.

Tabela 5 - Evolução da área loteada na bacia do Rio Gregório, entre 1970 e 1982

ANO	ÁREA RESIDENCIAL		ÁREA INDUSTRIAL	
	km ²	%	km ²	%
1970	3,37	24	1,73	12
1973	3,75	27	2,00	14
1976	4,29	31	2,00	14
1979	5,18	37	2,00	14
1982	5,90	42	2,15	15

Fonte: (REBELLATO, 1992)

Analisando as informações expostas na Tabela 5 podemos verificar que, em 12 anos, a bacia do Rio Gregório teve sua área de ocupação residencial aumentada em 75%, ou seja, passando de 3,37km² para 5,90km².

Com a redução na aprovação de loteamentos a partir de 1983, houve uma estagnação nesta evolução até o ano de 1988.

“Se for mantida a tendência de ocupação verificada no período de 1970 a 1988, teremos, no ano 2000, o loteamento de 76% da área total da bacia, e no ano 2019 ela estará loteada em sua totalidade”, REBELLATO (1992, página 66).

LORANDI (1985) publicou um trabalho para relatar a identificação, a classificação e o mapeamento de solos da região urbana e suburbana do município de São Carlos. Neste trabalho, o autor descreve a classificação da carta de solos da bacia do Rio Gregório, adotando a nomenclatura usada pelo SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DO SOLO (S.N.L.C.S.).

De acordo com LORANDI (1985), os solos das unidades de mapeamento da bacia do Rio Gregório (LVa, LEc, AQA), têm a classificação B, C e A, respectivamente.

Na área de estudo, o tipo de solo predominante é o LVa, portanto tipo B segundo a classificação do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975). Entretanto, por estar em regiões urbanizadas de grandes taxas de impermeabilização, superiores a 95%, diminui sua importância para as estimativas de escoamento superficial.

Após a identificação dos divisores da bacia do Rio Gregório e delimitação da área de estudo, definimos, por sugestões de técnicos da Prefeitura de São Carlos alguns trechos de ruas para estudos de drenagem - o critério foi “ouvir que esses trechos tinham problemas operacionais”. Recebemos informações de técnicos da Prefeitura Municipal de São Carlos que supusemos atender às necessidades de um trabalho, e tentamos identificar variáveis envolvidas no processo de drenagem existente dentro do perímetro urbano de São Carlos.

A partir daí, um trecho de via observado passou a ser analisado segundo suas características (condição de funcionamento) dos componentes de drenagem (ruas, guias, sarjetas, sarjetões e bocas-de-lobo) ali instalados.

Para a obtenção dos dados, foram adotados quatro trechos localizados dentro da bacia do Rio Gregório e um fora dos limites da bacia, cada um deles com características particulares. O período de investigação foi de aproximadamente 15 meses, de dezembro de 1992 a fevereiro de 1994. Portanto, o levantamento e as considerações feitas dizem respeito a esse período da coleta de dados.

A Figura 25 ilustra a localização dos trechos de rua observados na bacia do Rio Gregório.

Figura 25 - Localização dos trechos de ruas na bacia do Rio Gregório

Após a definição dos trechos para estudo, iniciaram-se os levantamentos em campo. O procedimento para a obtenção de informações sobre a bacia foi estudar mapas específicos, obtidos junto à Assessoria de Planejamento do Município.

Dados sobre a declividade longitudinal dos trechos foram obtidos em mapas topográficos do Município, elaborados por técnicos da própria Prefeitura.

Estimativas de vazões nos pontos de captação foram também obtidas através de mapas do município, considerando-se:

- a) Área contribuinte de cada quadra;
- b) Direção do fluxo através dos sarjetões;
- c) E, capacidade teórica de captação da boca-de-lobo de 50l/s.

Dados sobre declividades transversais (rua e sarjeta) foram coletados em campo, com uso de clinômetro de superfície com bolha desenvolvido pelo Departamento de Transportes (STT) da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

A Figura 26 é uma ilustração do clinômetro de superfície utilizado.

Figura 26 - Clinômetro de superfície com nível de bolha

As declividades transversais da rua e da sarjeta foram estimadas a partir de três leituras: uma no início, uma no trecho intermediário e uma no trecho final da quadra. A média aritmética das três leituras de declividades na quadra é o valor de declividade transversal exposto nas tabelas 8, 9, 10, 12 e 14. Nos trechos observados foi possível identificar, conhecer e avaliar condições operacionais e informações sobre os elementos de drenagem, do projeto até a operação e manutenção. Principalmente, nos ativemos às bocas-de-lobo.

Nos trechos estudados, as ruas podem ser classificadas de acordo com o critério da CETESB (1979, página 252) como *secundárias*, e, de acordo com os critérios do projeto de Norma Técnica da ABNT - 2. 10.11-12/84 como *coletoras*.

Para a ilustração e descrição dos trechos de rua a seguir, adotou-se para o levantamento de informações:

- a) Planta do trecho de rua com a locação de bocas-de-lobo;
- b) Tabela, contendo características topográficas do trecho,
- c) E, tabela, com a quantidade de bocas-de-lobo capaz de captar o fluxo superficial da área contribuinte.

A Tabela 6 resume as definições usadas durante a descrição de características topográficas das vias.

Tabela 6 - Definições de características topográficas de trechos de rua

Coluna	Conteúdo	Descrição/Obtenção	Unidade
01	Trecho de rua	Trecho de rua entre cruzamentos consecutivos	-
02	Comprimento	Comprimento de quadra no trecho	m
03	Cota superior	Cota de quadra à montante no eixo do cruzamento, em relação as de rede de esgoto	m
04	Cota inferior	Cota da quadra à jusante no eixo do cruzamento, de acordo com levantamentos da rede de esgoto	m
05	Declividade longitudinal na rua	Declividade longitudinal de quadra - a razão da diferença entre as colunas 03 e 04 e o comprimento da quadra (coluna 02)	m/m
06	Declividade transversal média na rua	Declividade do eixo da quadra à sarjeta, obtida com uso de clinômetro de bolha	m/m
07	Declividade longitudinal em sarjetas	Declividade longitudinal da quadra - a razão da diferença entre as colunas 03 e 04 e o comprimento da quadra (coluna 02)	m/m
08	Declividade transversal média em sarjetas	Declividade do eixo da quadra à sarjeta, obtida com uso de clinômetro de bolha	m/m

A Tabela 7 resume as definições usadas durante a descrição de características das bocas-de-lobo, em cada trecho de rua.

Tabela 7 - Definições usadas durante o estudo de características das bocas-de-lobo

Coluna	Conteúdo	Descrição/Obtenção	Unidade
01	Trecho de rua	Trecho de rua entre cruzamentos consecutivos	-
02	Quantidade de boca-de-lobo em quadra	Número de bocas-de-lobo executadas na quadra para absorver a vazão da área contribuinte	un
03	Tipo de boca-de-lobo em quadra	Tipos de bocas-de-lobo no trecho	-
04	Capacidade de captação na boca-de-lobo	Capacidade de captação das bocas-de-lobo; adotou-se a capacidade por boca-de-lobo de 50l/s	l/s
05	Área contribuinte	Área da micro bacia que contribui para as bocas-de-lobo do trecho	ha
06	Vazão da área contribuinte	Vazão da micro bacia que contribui para as bocas-de-lobo na quadra, de acordo com a intensidade de precipitação máxima para São Carlos, estimada em 167l/s.ha	l/s

Área contribuinte é a parcela da bacia que contribui para a seção de controle da vazão. É comum usar pontos de captação como tais seção de controle, por exemplo, bocas-de-lobo.

- Entre as ruas Antônio Rodrigues Cajado e Campos Salles a declividade transversal média na rua é próxima de 0%;
- Entre as ruas Monteiro Lobato e Manoel Antônio de Mattos, declividade longitudinal inferior a 2%,
- E, exceto entre as ruas Eugênio Franco de Camargo e Dona Maria Isabel de Oliveira Botelho, Major Manoel Antônio de Mattos e Coronel Marcolino Lopes Barreto, Antônio Rodrigues Cajado e Campos Salles, declividades transversais na rua, superiores a 2%.

A Tabela 8 resume dados sobre a topografia na rua Padre Teixeira.

Tabela 8 - Características de topografia na rua Padre Teixeira

Rua Padre Teixeira entre:	Comprimento (m)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Rua		Sarjeta	
				Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)	Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)
Monteiro Lobato e Eugênio Franco de Camargo	100	879,18	877,73	0,015	0,030	0,015	0,040
Eugênio Franco de Camargo e Dona Maria I. de Oliveira Botelho	100	877,73	876,28	0,015	0,020	0,015	0,040
Dona Maria I. de Oliveira Botelho e Totó Leite	100	876,28	875,05	0,012	0,035	0,012	0,040
Totó Leite e Major Manoel Antônio de Mattos	100	875,05	873,61	0,014	0,030	0,014	0,045
Major Manoel Antônio de Mattos e Cel. Marcolino Lopes Barreto	100	873,61	871,56	0,021	0,018	0,021	0,050
Cel. Marcolino Lopes Barreto e Antônio Rodrigues Cajado	200	871,56	867,34	0,021	0,038	0,021	0,040
Antônio Rodrigues Cajado e Campos Salles	100	867,34	864,98	0,025	0,003	0,025	0,030

O trecho de via observado na *rua Sete de Setembro*, está entre as ruas Maria Isabel de Oliveira Botelho (Vila Nery) e São Paulo (Centro):

- É composto por seis quadras e tem o fluxo de água superficial direcionado por sarjetões, e,
- A primeira bacia para captação de água superficial está no cruzamento com a rua São Paulo: uma boca-de-lobo mista com grade, barras perpendiculares ao fluxo, com depressão na sarjeta, capacidade de captação da boca-de-lobo estimada em 50l/s, área contribuinte de 10,25ha e vazão estimada da área contribuinte de 1712l/s.

A Figura 28 ilustra em planta a rua Sete de Setembro.

Figura 28 - Planta de trecho observado na rua Sete de Setembro

A Tabela 9 contém dados sobre a topografia na rua Sete de Setembro.

Tabela 9 - Características de topografia na rua Sete de Setembro

Rua Sete de Setembro entre:	Comprimento (m)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Rua		Sarjeta	
				Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)	Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)
Dona Maria I. de Oliveira Botelho e Totó Leite	100	870,97	868,24	0,027	0,020	0,027	0,045
Totó Leite e Major Manoel Antônio de Mattos	100	868,24	865,47	0,028	0,035	0,028	0,040
Major Manoel Antônio de Mattos e Cel. Marcolino Lopes Barreto	100	865,47	862,42	0,031	0,040	0,031	0,045
Cel. Marcolino Lopes Barreto e Rafael de Abreu Sampaio Vidal	100	862,42	859,80	0,026	0,040	0,026	0,040
Rafael de Abreu Sampaio Vidal e Antônio Rodrigues Cajado	100	859,80	857,11	0,027	0,040	0,027	0,040
Antônio Rodrigues Cajado e São Paulo	200	857,11	852,37	0,024	0,030	0,024	0,050

As principais ocorrências observadas na rua Sete de Setembro foram:

- Acúmulo de materiais na grade da boca-de-lobo;
- Depressão na sarjeta alterada por recapeamento;
- Largura do escoamento superficial na sarjeta maior que 0,60 metro;
- Inundações nas residências próximas a interseção com a rua São Paulo,
- E, acúmulo de água na superfície do pavimento entre as ruas Rafael de Abreu Sampaio Vidal e São Paulo.

Como consequência desses defeitos, registram-se manifestações de descontentamento de moradores da rua Sete de Setembro em relação à administração Municipal, conforme protocolo N° 14.315 de 13 de novembro de 1981.

O trecho de via observado na *rua São Paulo*, está localizado entre as ruas Quinze de Novembro e Comendador Alfredo Maffei (Avenida marginal). Foi incluído neste trabalho, por estar localizado numa região antiga da cidade, a qual se estima ter sido implantada por volta de 1950 e por insistência de funcionários da Prefeitura de São Carlos que colaboram com a execução desse trabalho.

- É composto por nove quadras e tem o fluxo de água superficial direcionado por sarjetões;
- Têm captação parcial em todos os cruzamentos a partir da rua Padre Teixeira - em geral, 6 bocas-de-lobo em cada cruzamento - mesclando-se bocas-de-lobo com grade e mista, e,
- Está localizado na região central da cidade, com alicive acentuado e liga a região sul com a região norte da cidade.

A Figura 29 é uma ilustração em planta do trecho observado na rua São Paulo.

Figura 29 - Planta de trecho observado na rua São Paulo

A Tabela 10 ilustra informações sobre a topografia na rua São Paulo.

Tabela 10 - Características de topografia na rua São Paulo

Rua São Paulo entre:	Comprimento (m)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Rua		Sarjeta	
				Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)	Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)
Quinze de Novembro e São Sebastião	100	866,74	866,00	0,007	0,010	0,007	0,040
São Sebastião e Padre Teixeira	100	866,00	863,00	0,030	0,040	0,030	0,040
Padre Teixeira e Marechal Deodoro	100	863,00	858,45	0,050	0,050	0,050	0,040
Marechal Deodoro e Sete de Setembro	100	858,45	852,37	0,061	0,040	0,061	0,040
Sete de Setembro e Major José Inácio	100	852,37	845,54	0,068	0,042	0,068	0,040
Major José Inácio e Conde do Pinhal	100	845,54	838,15	0,074	0,035	0,074	0,060
Conde do Pinhal e Treze de Maio	100	838,15	831,26	0,069	0,015	0,069	0,060
Treze de Maio e Jesuino de Arruda	100	831,26	823,41	0,079	0,018	0,079	0,060
Jesuino de Arruda e Geminiano Costa	100	823,41	811,82	0,116	0,022	0,116	0,070

A Tabela 11 ilustra características de bocas-de-lobo na rua São Paulo.

Analisando as informações quanto às bocas-de-lobo na rua São Paulo verificamos que: se o critério for superar a vazão máxima prevista em projeto, e de se prever uma sobrecarga na captação pela primeira boca-de-lobo da via, no cruzamento com a rua Padre Teixeira, (528l/s para uma boca-de-lobo). O excesso de água superficial é transferido para captação pelas bocas-de-lobo das quadras subseqüentes, até o final do trecho.

Tabela 11 - Bocas-de-lobo na rua São Paulo

Rua São Paulo entre:	Quantidade de bocas-de-lobo	Tipo de Boca-de-lobo na quadra	Capacidade de captação (l/s)	Área contribuinte (ha)	Vazão da área contribuinte (l/s)
São Sebastião e Padre Teixeira	1	Com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	50	3,16	528
Padre Teixeira e Marechal Deodoro	2	Mistas com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	0,25	42
Marechal Deodoro e Sete de Setembro	2	Mistas com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	0,25	42
Sete de Setembro e Major José Inácio	2	Mistas com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	0,25	42
Major José Inácio e Conde do Pinhal	2	Mistas com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	0,25	42
Conde do Pinhal e Treze de Maio	2	Sendo uma do tipo mista e uma do tipo com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	0,25	42
Treze de Maio e Jesuino de Arruda	2	Mistas com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	0,25	42
Jesuino de Arruda e Geminiano Costa	2	Mistas com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	0,50	84

A Figura 30 ilustra em planta o trecho estudado na rua Santa Gertrudes.

Figura 30 - Planta de trecho observado na rua Santa Gertrudes

A Tabela 12 contém informações sobre a topografia da rua Santa Gertrudes.

Tabela 12 - Características de topografia na rua Santa Gertrudes

Rua Santa Gertrudes entre:	Comprimento (m)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Rua		Sarjeta	
				Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)	Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)
Núncio Cardinalli e Padre Segismundo Passionista	265	856,51	851,30	0,020	0,010	0,020	0,040
Padre Segismundo Passionista e Padre Joaquim Cipriano de Camargo	120	851,30	848,56	0,023	0,015	0,023	0,040
Padre. Joaquim C. de Camargo e Padre Joaquim Botelho da Fonseca	120	848,56	845,48	0,026	0,015	0,026	0,045
Padre Joaquim Botelho da Fonseca e Bispo Dom Gastão	120	845,48	842,50	0,025	0,020	0,025	0,040
Bispo Dom Gastão e Castro Alves	285	842,50	834,52	0,028	0,020	0,028	0,035

O trecho observado na *rua Santa Gertrudes* (Vila Isabel), está em região periférica à cidade, e:

- a) Localiza-se na transição entre ruas com e sem pavimento da cidade, além de se caracterizar pela presença de muitos terrenos baldios;
- b) É composto por cinco quadras, sem sarjetões;
- c) As bocas-de-lobo quando solicitadas acumulam dejetos, entulho e outros materiais (inclusive cimento), e,
- d) Há falta de manutenção e limpeza nas bocas-de-lobo.

A tabela 13 contém informações sobre as bocas-de-lobo na rua Santa Gertrudes.

Tabela 13 - Bocas-de-lobo na rua Santa Gertrudes

Rua Santa Gertrudes entre:	Quantidade de bocas-de-lobo	Tipo de Boca-de-lobo na quadra	Capacidade de captação (l/s)	Área contribuinte (ha)	Vazão da área contribuinte (l/s)
Núncio Cardinalli e Padre Segismundo Passionista	1	Com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	50	...	...
Pe. Segismundo Passionista e Pe. Joaquim Cipriano de Camargo	1	Com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	50	...	...
Pe. Joaquim C. de Camargo e Pe. Joaquim Botelho da Fonseca	1	Com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	50	...	...
Padre Joaquim Botelho da Fonseca e Bispo Dom Gastão	1	Com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	...	...
Bispo Dom Gastão e Castro Alves	2	Mistas com grade, barras perpendiculares ao fluxo e sem depressão na sarjeta	100	...	...

No estudo de dados expostos na tabela 13, é fundamental observar que as informações sobre “área e vazão contribuintes” não puderam ser corretamente estimados pela dificuldade prática de identificação do caminho do fluxo superficial na transição entre ruas pavimentadas e ruas sem pavimento.

O trecho observado na *rua XV de Novembro* faz a ligação entre as regiões leste e oeste da cidade e atende um grande fluxo de veículos, principalmente nos horários de pico (8:00 horas, 12:00 horas e 18:00 horas):

- a) É composto por quatorze quadras e possui sarjetões em todos os cruzamentos - que contribuem para manter o fluxo de água superficial contido na caixa da rua XV de Novembro;
- b) A vazão que converge para a área correspondente as oito quadras iniciais é parcialmente interceptada por duas bocas-de-lobo com grade localizadas no cruzamento com a rua Júlio Salles, e,
- c) A vazão excedente e correspondente ao restante da área de contribuinte é interceptada no final do trecho, próximo à rua Antônio Álvaro Zuim por cinco bocas-de-lobo.

A Figura 31 ilustra em planta o trecho observado na rua XV de Novembro.

Figura 31 - Planta de trecho observado na rua XV de Novembro

A Tabela 14 contém informações sobre a topografia na rua XV de Novembro.

Tabela 14 - Características de topografia na rua XV de Novembro

Rua XV de Novembro entre:	Comprimento (m)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Rua		Sarjeta	
				Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)	Declividade longitudinal (m/m)	Declividade Transversal média (m/m)
Avenida São Carlos e rua Episcopal	110	861,27	858,78	0,023	0,020	0,023	0,040
Episcopal e Nove de Julho	110	858,78	851,81	0,023	0,025	0,063	0,050
Nove de Julho e José Bonifácio	110	855,81	853,21	0,024	0,020	0,024	0,050
José Bonifácio e Aquidabam	110	853,21	850,97	0,020	0,025	0,020	0,050
Aquidabam e Riachuelo	100	850,97	848,36	0,026	0,020	0,026	0,050
Riachuelo e Visconde de Inhauma	100	848,36	845,67	0,027	0,025	0,027	0,060
Visconde de Inhauma e Adão Pereira da Silva Cabral	100	845,67	842,86	0,028	0,035	0,028	0,050
Adão P. da Silva Cabral e Major Júlio Salles	100	842,86	840,10	0,028	0,040	0,028	0,050
Major Júlio Salles e Vitor M. de Souza	105	840,10	836,80	0,033	0,030	0,033	0,050
Vitor M. de Souza e Paulino Botelho de Abreu	95	836,80	833,33	0,035	0,038	0,035	0,060
Paulino Botelho de Abreu e Maestro João Seppe	95	833,33	829,34	0,040	0,045	0,040	0,060
Maestro João Seppe e Madre Saint Bernard	95	829,34	825,00	0,043	0,040	0,043	0,060
Madre Saint Bernard e Henfrid Frick	80	825,00	819,57	0,054	0,048	0,054	0,060
Henfrid Frick e Antônio Álvaro Zuim	105	819,57	-	-	0,050	-	0,050

A Tabela 15 contém informações sobre as bocas-de-lobo na rua XV de Novembro.

Tabela 15 - Bocas-de-lobo na rua XV de Novembro

Rua XV de Novembro entre:	Quantidade de bocas-de-lobo	Tipo de Boca-de-lobo na quadra	Capacidade de captação (l/s)	Área contribuinte (ha)	Vazão da área contribuinte (l/s)
Adão P. da Silva Cabral e Major Júlio Salles	2	Com grade em série, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	100	7,5	1253
Henrfrid Frick e Antônio Álvaro Zuim	5	Sendo quatro do tipo com grade, e uma do tipo simples com grade, barras perpendiculares ao fluxo, sem depressão na sarjeta	250	9,8	1637

Analisando as informações na Tabela 15 conclui-se:

- O sistema de captação parcial executado no cruzamento com a rua Major Júlio Salles, não é suficiente para interceptar a vazão máxima de projeto de 1253l/s,
- E, além da vazão excedente do trecho intermediário, deve-se considerar ainda a vazão correspondente à parte final do trecho, volume de água da contribuição de 9,8 hectares, 1637l/s.

Várias inundações da caixa da via ocorreram no ano de 1993, e afetaram a operação do trecho final da rua XV de Novembro. Por exemplo, no cruzamento com a rua Antônio Álvaro Zuim isso provocou:

- Infiltrações de água nas fundações das residências,
- E, desabamentos de muros de divisa entre terrenos.

Essas ocorrências se devem em parte:

- a) Ao aumento da declividade longitudinal da via e do volume de fluxo superficial a partir da rua Vítor Manoel de Sousa;
- b) Ao transporte de lixo e materiais para as bocas-de-lobo nos primeiros momentos de chuva,
- c) E, dificuldades para captação de água provocada por defeitos de construção e falta de manutenção e limpeza nas bocas-de-lobo.

VI.5. Sobre os componentes de drenagem nos trechos observados

A classificação quanto a conservação e a manutenção de elementos componentes da drenagem nos trechos de ruas (ruas, guias, sarjetas, sarjetões e bocas-de-lobo) será definida usando informações contidas nas Tabela 16 até a Tabela 20, uma síntese de dados obtidos por consulta à bibliografia, por exemplo, CETESB (1979).

Tabela 16 - Classificação da conservação de ruas

Estado de Conservação	Classificação
Sem acúmulo de água na superfície, declividade transversal próxima de 2%, declividade longitudinal maior que 2% e ausência de jato d'água	Bom
Acúmulo de água na superfície, declividade transversal e declividade longitudinal maior que 2% e, ocorrência de jato d'água sem interferências para os tráfegos de veículos e pedestres	Regular
Acúmulo de água na superfície, declividade transversal e longitudinal menor que 2%, ocorrência de jato d'água com interferências para os tráfegos de veículos e pedestres, alteração na seção transversal do canal por recapeamento constante e deslocamento e/ou alteração do revestimento betuminoso	Ruim

Tabela 17 - Classificação da conservação de guias

Estado de Conservação	Classificação
Altura próxima de 15cm, pouco espaço entre guias e ausência de orifícios e trincas	Bom
Existência de rebaixos para entrada de veículos em residências, mas pouca interferência ao escoamento superficial e ocorrência de trincas sem perdas estruturais	Regular
Variações significativas nas alturas, alinhamentos e espaços entre as guias com interferência no escoamento superficial e perdas estruturais por infiltrações ou erosão do material da base	Ruim

Tabela 18 - Classificação da conservação de sarjetas

Estado de Conservação	Classificação
Superfície de revestimento regularizada, ausência de vegetação e sedimentos, e escoamento superficial regular com largura $\leq 0,60\text{m}$	Bom
Superfície de revestimento pouco irregular, presença de vegetação e sedimentos, mas sem acúmulo de água, e escoamento superficial de largura irregular até $0,65\text{m}$	Regular
Superfície de revestimento irregular, erosão de guia e pavimento adjacentes, presença de vegetação e sedimentos com acúmulo de água, e escoamento superficial irregular com largura maior que $0,60\text{m}$	Ruim

Tabela 19 - Classificação da conservação de sarjetões

Estado de Conservação	Classificação
Superfície de revestimento regulares, blocos encaixados, ausência de vegetação e sedimentos	Bom
Superfície de revestimento com pouca irregularidade, blocos desencaixados sem erosão e presença de vegetação e sedimentos, sem acúmulo de água	Regular
Superfície de revestimento irregular, blocos desencaixados com início de erosão e/ou infiltração de água para a base, presença de vegetação e sedimentos com acúmulo de água	Ruim

Tabela 20 - Classificação da conservação de bocas-de-lobo

Estado de Conservação	Classificação
Ausência de sedimentos na caixa, barras alinhadas e grade presa a caixa, sem acúmulo de materiais e/ou guia chapéu sem fissuras ou fendas	Bom
Acúmulo de sedimentos e outros materiais no fundo da caixa, barras desalinhadas, grade presa a caixa, com até 50% da área útil obstruída, guia chapéu com trincas sem expor ferragens e/ou recapeamento sem alteração no rebaixo da boca-de-lobo	Regular
Caixa e grade obstruída, barras desalinhadas, grade e/ou sem guia chapéu ou rompida expondo ferragens e, execução de recapeamento que altere o rebaixo para a boca-de-lobo	Ruim

As características de conservação de cada um dos elementos da drenagem nos trechos de rua estudados são ilustrados na Tabelas 21 a 30.

a) *Resultados de observações na rua Padre Teixeira*

O resumo dos resultados em observações para classificação da conservação e manutenção de elementos componentes do sistema de drenagem superficial na rua Padre Teixeira está ilustrados na Tabela 21.

Tabela 21 - Resumo de classificação da conservação de elementos componentes da drenagem na rua Padre Teixeira

Rua Padre Teixeira entre:	Ruas	Guias	Sarjetas	Sarjetões	Bocas-de-lobo
Monteiro Lobato e Eugênio Franco de Camargo	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Não há
Eugênio Franco de Camargo e Dona Maria I. de Oliveira Botelho	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Não há
Dona Maria I. de Oliveira Botelho e Totó Leite	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Não há
Totó Leite e Major Manoel Antônio de Mattos	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Não há
Major Manoel Antônio de Mattos e Cel. Marcolino Lopes Barreto	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Não há
Cel. Marcolino Lopes Barreto e Antônio Rodrigues Cajado	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Não há
Antônio Rodrigues Cajado e Campos Salles	Ruim	Ruim	Ruim	Regular	Regular

A Foto 17 ilustra acúmulo de água sobre o pavimento na rua Padre Teixeira com a rua Campos Salles, São Carlos SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 17 - Acúmulo de água sobre o pavimento à rua Padre Teixeira, São Carlos SP, 13/01/95

A tabela 22 resume resultados de observações em campo sobre a rua Padre Teixeira.

Tabela 22 - Resumo de resultados de observações em campo na rua Padre Teixeira

Trecho ou local específico	Ocorrência observada
Todo o trecho	Ocorre desprendimento ou desencaixe de paralelepípedos que compõem o sarjetão e há início de erosão na interface com o pavimento sem comprometimento da estrutura.
Entre as ruas Manoel Antonio de Mattos e Antonio Rodrigues Cajado	Há invasão de água para o passeio e operações para recapeamento reduziram a capacidade de escoamento de água pela caixa da via (guia e sarjeta).
Cruzamento com a rua Campos Salles	A declividade transversal na rua, de aproximadamente 0,3% provoca: <ul style="list-style-type: none"> a) Acúmulo de água na superfície do pavimento; b) Deficiência na captação de água pela boca-de-lobo; c) Ocorrência de jato d'água com relativa interferência para o tráfego de veículos e pedestres; d) Invasão e acúmulo de água na superfície do pavimento, e, e) Alagamentos com espessuras de até 5cm.
Entre as ruas Monteiro Lobato e Campos Salles	As guias têm trincas e fendas no pavimento. Entretanto não há carreamento do material fino que compõe a base, e a infiltração de água no pavimento não é significativa.
Entre as ruas Manoel Antônio de Mattos e Campos Salles	Há invasão do passeio pela água, em função de guias com alturas menores que 10 cm.
Entre as ruas Coronel Marcolino Lopes Barreto e Antônio Rodrigues	Há invasão do passeio pela água, em função da existência de uma "lombada" (redutor de velocidade para veículos) que obstrui e espalha o fluxo superficial.
Cruzamento com a rua Campos Salles (Foto 17)	A captação de água pela boca-de-lobo é difícil porque a declividade transversal do pavimento é pequena e não há rebaixo da sarjeta para a boca-de-lobo.

b) Resultados de observações na rua Sete de Setembro

O resumo dos resultados de classificação da conservação e manutenção de elementos componentes do sistema de drenagem superficial na rua Sete de Setembro, quanto a conservação, estão ilustrados na Tabela 23.

Tabela 23 - Resumo de classificação da conservação e manutenção de elementos componentes da drenagem na rua Sete de Setembro

Rua Sete de Setembro entre:	Ruas	Guias	Sarjeta	Sarjetão	Bocas-de-lobo
Dona Maria I. Oliveira Botelho e Totó Leite	Bom	Bom	Bom	Não há	Não há
Totó Leite e Major Manoel A. de Mattos	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Major Manoel Antônio de Mattos e Cel. Marcolino Lopes Barreto	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Cel. Marcolino Lopes Barreto e Rafael de Abreu Sampaio Vidal	Bom	Bom	Regular	Bom	Não há
Rafael de Abreu Sampaio Vidal e Antônio Rodrigues Cajado	Bom	Bom	Regular	Bom	Não há
Antônio Rodrigues Cajado e São Paulo	Bom	Bom	Regular	Bom	Ruim

A tabela 24 resume resultados de observações em campo sobre a rua Sete de Setembro:

Tabela 24 - Resumo de resultados de observações em campo na rua Sete de Setembro

Trecho ou local específico	Ocorrência observada
Todo o trecho	Não possui defeitos na caixa da via. Não possui defeitos nas guias. Não possui defeitos nos sarjetões.
Entre as ruas Dona Maria Isabel de Oliveira Botelho e Coronel Marcolino Lopes Barreto	Não possui defeitos nas sarjetas.
Entre as ruas Coronel Marcolino Lopes Barreto e Antônio Rodrigues Cajado	As sarjetas provocaram um processo de erosão na borda do pavimento.
Cruzamento com a rua Dona Maria Isabel de Oliveira Botelho	Não há sarjetão. ?
Cruzamento com a rua São Paulo.	Em todos os períodos de coleta de dados que antecederam as chuvas, constatou-se a obstrução na grade da boca-de-lobo. A extensão do trecho para uma única boca-de-lobo e a execução de recapeamento constantes no trecho modificando a declividade transversal da rua e o tamanho do rebaixo para a boca-de-lobo, podem explicar as freqüentes inundações no final do trecho.

A Foto 18 ilustra o alagamento da rua Sete de Setembro com a rua São Paulo, São Carlos SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 18 - Alagamento na rua Sete de Setembro, em São Carlos SP, em 13/01/95

c) Resultados de observações na rua São Paulo

O resumo dos resultados em observações para classificação da conservação e manutenção de elementos componentes do sistema de drenagem superficial na rua São Paulo está ilustrado na Tabela 25.

Tabela 25 - Resumo de classificação da conservação de elementos componentes da drenagem na rua São Paulo

Rua São Paulo entre:	Ruas	Guias	Sarjetas	Sarjetões	Bocas-de-lobo
XV de Novembro e São Sebastião	Regular	Regular	Regular	Não há	Não há
São Sebastião e Padre Teixeira	Regular	Regular	Regular	Não há	Regular
Padre Teixeira e Marechal Deodoro	Regular	Regular	Regular	Não há	Regular
Marechal Deodoro e Sete de Setembro	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Sete de Setembro e Major José Inácio	Regular	Regular	Regular	Não há	Regular
Major José Inácio e Conde do Pinhal	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Regular
Conde do Pinhal e Treze de Maio	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Regular
Treze de Maio e Jesuino de Arruda	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Regular
Jesuino de Arruda e Geminiano Costa	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Regular

A tabela 26 resume resultados de observações em campo sobre a rua São Paulo.

Tabela 26 - Resumo de resultados de observações em campo sobre a rua São Paulo

Trecho ou local específico	Ocorrência observada
Entre a XV de Novembro e Geminiano Costa	Constante acúmulo de água na superfície do pavimento.
A partir da rua Major José Inácio até Geminiano Costa	Ocorrem trincas e fendas nas guias. Aparência ruim (trecho com declividade acentuada), e ocorre a erosão na borda do pavimento.
Até a rua Major José Inácio.	Guias regularmente conservadas.
Cruzamento com a rua Sete de Setembro	Não há sarjetão.
Todo o trecho, exceto entre as ruas XV de Novembro e Marechal Deodoro	Ocorre o desprendimento de paralelepípedos de sarjetões e há início de erosão na interface com o pavimento.
Entre as ruas São Sebastião e Geminiano Costa	As bocas-de-lobo encontram-se em estado de conservação regular, com exceção aos serviços de limpeza nos períodos que antecedem às chuvas.

A Foto 19 ilustra uma boca-de-lobo combinada em operação no cruzamento da rua São Paulo com a Sete de Setembro, São Carlos SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 19 - Boca-de-lobo combinada, à rua São Paulo, no cruzamento com a rua Sete de Setembro, São Carlos SP, em 13/01/95

d) Resultados de observações na rua Santa Gertrudes

O resumo dos resultados de observações para classificação da conservação e manutenção de elementos componentes do sistema de drenagem superficial na rua Santa Gertrudes estão ilustrados na Tabela 27.

Tabela 27 - Resumo de classificação da conservação de elementos componentes da drenagem na rua Santa Gertrudes

Rua Santa Gertrudes entre:	Ruas	Guias	Sarjetas	Sarjetões	Bocas-de-lobo
Núncio Cardinalli e Padre Segismundo Passionista	Regular	Regular	Regular	Não há	Ruim
Pe. Segismundo Passionista e Pe. Joaquim Cipriano de Camargo	Regular	Ruim	Ruim	Não há	Ruim
Pe. Joaquim C. de Camargo e Pe. Joaquim Botelho da Fonseca	Regular	Ruim	Ruim	Não há	Ruim
Padre Joaquim Botelho da Fonseca e Bispo Dom Gastão	Regular	Ruim	Ruim	Não há	Ruim
Bispo Dom Gastão e Castro Alves	Regular	Regular	Regular	Não há	Regular

A tabela 28 resume resultados de observações em campo sobre a rua Santa Gertrudes.

Tabela 28 - Resumo de resultados de observações em campo na rua Santa Gertrudes

Trecho ou local específico	Ocorrência observada
Todo o trecho	Não há sarjetões.
Entre a Núncio Cardinalli e Castro Alves	Acúmulo de água na superfície do pavimento.
Entre a rua Núncio Cardinalli e Castro Alves	Espaços de grandes dimensões entre peças das guias.
Entre as ruas Padre Segismundo Passionista e Bispo Dom Gastão	Há guias com alturas inferiores a 10 cm. As guias estão encobertas por sedimentos e/ou entulho Há irregularidade na superfície de revestimento, presença de vegetação com acúmulo de água e larguras de escoamento superficial nas sarjetas superior a 0,60 m.
Entre as ruas Núncio Cardinalli e Bispo Dom Gastão.	Há obstrução nas caixas das bocas-de-lobo.
Entre as ruas Bispo Dom Gastão e Castro Alves.	As bocas-de-lobo podem ser classificadas como de funcionamento regular.

A Foto 20 ilustra uma guia encoberta por entulho na rua Santa Gertrudes, próximo ao cruzamento com a rua Núncio Cardinalli, São Carlos SP, em 20 de janeiro de 1995.

Foto 20 - Guias encobertas por entulho na rua Santa Gertrudes, São Carlos SP, em 20/01/95

A Foto 21 ilustra uma boca-de-lobo obstruída por lixo e sedimentos na rua Santa Gertrudes - entre as ruas Padre Joaquim Cipriano de Camargo e Padre Joaquim Botelho da Fonseca, São Carlos SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 21 - Boca-de-lobo com grade obstruída na rua Santa Gertrudes, São Carlos SP, em 13/01/95

e) *Resultados de observações na rua XV de Novembro*

O trecho da *rua XV de Novembro* usado para as observações está localizado fora do perímetro definido pela bacia do Rio Gregório. Foi incluído neste estudo também porque é uma área lindeira à bacia do Gregório que é objeto de constantes reclamações da população, e, de constantes intervenções operacionais por parte da Prefeitura Municipal.

O resumo dos resultados em observações para classificação da conservação e manutenção de elementos componentes do sistema de drenagem superficial na rua XV de Novembro está ilustrado na Tabela 29.

Tabela 29 - Resumo de classificação da conservação de elementos componentes da drenagem na rua XV de Novembro

Rua XV de Novembro entre:	Ruas	Guias	Sarjetas	Sarjetões	Bocas-de-lobo
Avenida São Carlos e rua Episcopal	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Episcopal e Nove de Julho	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Nove de Julho e José Bonifácio	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
José Bonifácio e Aquidabam	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Aquidabam e Riachuelo	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Riachuelo e Visconde de Inhauma	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Visconde de Inhauma e Adão Pereira da Silva Cabral	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Adão P. da Silva Cabral e Major J. Salles	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Major J. Salles e Vitor M. de Souza	Bom	Bom	Bom	Bom	Não há
Vitor M. de Souza e Paulino Botelho de Abreu	Bom	Bom	Bom	Regular	Não há
Paulino Botelho de Abreu e Maestro João Seppe	Regular	Bom	Bom	Regular	Não há
Maestro João Seppe e Madre Saint Bernard	Regular	Bom	Bom	Regular	Não há
Madre Saint Bernard e Henfrid Frick	Regular	Bom	Bom	Regular	Não há
Henfrid Frick e Antônio Álvaro Zuim	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Ruim

A Foto 22 ilustra a erosão em uma boca-de-lobo com grade no cruzamento da rua XV de Novembro com a rua Antônio Álvaro Zuim - isso se deu um dia após a ocorrência de uma chuva com duração de 10 minutos em 9 de maio de 1995.

Foto 22 - Boca-de-lobo com erosão de borda após chuva intensa - em cruzamento da rua XV de Novembro com Antônio Álvaro Zuim, São Carlos SP, em 09/05/95

A tabela 30 resume resultados de observações em campo sobre a rua XV de Novembro.

Tabela 30 - Resumo de resultados de observações em campo na rua XV de Novembro

Trecho ou local específico	Ocorrência observada
Da avenida São Carlos até a rua Paulino Botelho de Abreu	Manutenção e conservação em bom estado.
Da rua Paulino Botelho de Abreu até a rua Antônio Álvaro Zuim - final do trecho	Manutenção e conservação regulares: alguns locais favorecem o acúmulo de água na superfície do pavimento.
Da avenida São Carlos até a rua Madre Saint Bernard	Bom estado de conservação das guias. Sarjetas em bom estado de conservação
Entre as ruas Madre Saint Bernard e Antônio Álvaro Zuim	Guias ruins, porque há espaços entre peças sucessivas, e indícios de infiltração de água. Erosão na interface com o pavimento, irregularidade e depressões na superfície, acúmulo de água provocada pelas sarjetas.
Da Avenida São Carlos a rua Vítor Manoel de Souza Lima	Sarjetões em bom estado de conservação.
Da rua Vítor Manoel de Souza Lima até rua Antônio Álvaro Zuim.	Sarjetões ruins por desprendimento de paralelepípedos e infiltração de água.
Cruzamento com a rua Major Júlio Salles	Bocas-de-lobo de funcionamento regular. Exceto: quando ocorre a obstrução das grades por sedimentos, as bocas-de-lobo, então esses equipamentos não têm sido suficientes para interceptar o fluxo de água superficial.
Cruzamento com a rua Antônio Álvaro Zuim (trecho de maior declividade)	Bocas-de-lobo ruins, porque, há deficiências na conservação: grades obstruídas, soltas, e/ou locais sem grades. Também, há erosão na interface da boca-de-lobo.

VI.6. Observações complementares sobre componentes de drenagem em São Carlos

Uma análise sobre as observações em campo nos trechos incentivou-nos a tentar generalizar os resultados. Com os dados obtidos em mãos, observamos a drenagem na cidade de São Carlos em 30 trechos aleatórios. Abaixo, resumimos as ocorrências mais comuns sobre o comportamento de elementos de drenagem na São Carlos.

a) Sobre as guias

Os padrões construtivos de guias e sarjetas pré-moldadas e moldadas "in loco" são ruins. Na maioria das vezes, não garante a perfeita união dos materiais usados na construção. A confecção da guia com materiais ruins, as dimensões longitudinais, as pequenas dimensões transversais, as solicitações pelo tráfego e as variações de temperatura fazem com que esse componente não resista aos esforços sobre sua estrutura.

Isso provoca trincas, fendas e/ou orifícios que facilitam a infiltração de água para as camadas do pavimento e favorecem o crescimento de vegetação. Ocorre então a redução da seção transversal do conjunto guia e sarjeta - isso influencia a capacidade de vazão, ou ainda, aumenta larguras de fluxo superficial, e provoca interferências com os tráfegos de veículos e pedestres.

b) Sobre as sarjetas

Ocorre a erosão do pavimento próximo à borda da sarjeta. As causas dessa ocorrência podem estar ligadas ao volume, velocidade e larguras do escoamento superficial. Na maioria das vezes, isso pode ser causado pela infiltração de água para a base do pavimento na interface entre o pavimento e o conjunto guia e sarjeta.

Também ocorrem falhas relacionadas com a ligação deficiente entre materiais do pavimento e da sarjeta, que aliados à retração do pavimento provocam o aparecimento de fissuras e fendas. A partir de então, pequenas quantidades de água, provenientes de chuvas fracas, podem penetrar pelas fendas. Isto se agrava durante os períodos de chuva forte, pois maiores volumes de água poderão infiltrar para a base do pavimento diminuindo sua resistência.

Essas ocorrências, quando atuam em conjunto provocam o umedecimento quase contínuo da base do pavimento próximo à face da sarjeta, contribuindo para o colapso da mesma e a deterioração com conseqüente perda de serventia do pavimento.

De outro lado, várias causas podem explicar outras ocorrências de deslocamentos e alterações do revestimento betuminoso do pavimento de ruas sujeitas ao escoamento de águas pluviais. Entre esses fatores estão: forças de tração na estrutura do pavimento, carreamento de material da base do pavimento e empuxo resultante de pressão de água nas camadas inferiores do pavimento - subpressão.

Apesar dos fatores citados acima contribuírem de forma direta para a ruptura do pavimento, a ocorrência de subpressão, é sem dúvida o mais importante, e pode ser aliviada, em parte, com a adoção de medidas preventivas de manutenção de sarjetas para impedir que a água chegue até a base do pavimento.

c) Sobre os sarjetões

Os sarjetões são implantados paralelos às ruas secundárias, e usados com dupla função:

- a) Para conduzir preferencialmente o fluxo de água superficial, e/ou,
- b) Como dispositivo para controlar a velocidade de fluxo de veículos nas vias locais, opera como redutor de velocidade no cruzamento de acesso à rua secundária.

Tanto a ruptura do pavimento adjacente ao sarjetão, como a ruptura do próprio sarjetão interferem no tráfego de veículos. A drenagem, por influenciar nas características de capacidade e condução de vazão, e, ao tráfego, por estar deteriorar o sarjetão e o pavimento, por provocar freqüentes interrupções ao tráfego para execução de manutenção e reparos.

Verificamos que a base de sarjetões em São Carlos não contém a armadura correta, e a quantidade de materiais envolvidos no processo construtivo de sarjetões é também um fator que determina uma pequena resistência estrutural desses componentes da drenagem.

Particularmente nos 5 trechos observados com mais detalhes, constatou-se que:

- a) O uso de vários tipos de blocos (granito, arenito e basalto);
- b) Permanência de água no chanfro do sarjetão, e,
- c) Fendas e fissuras superficiais.

A exposição dos sarjetões às variações de temperaturas, provocam dilatações térmicas diferenciadas nos materiais - isso leva a infiltrações de água no interior do pavimento o que pode danificá-lo, provocar a ruptura do sarjetão, e contribuir para a erosão do pavimento.

d) *Sobre as bocas-de-lobo*

- a) As depressões executadas nas sarjetas para as bocas-de-lobo não seguem diretrizes preestabelecidas em projetos, ou desapareceram por recapeamento no revestimento de ruas (Foto 15, do capítulo V, página 73);
- b) As guias chapéu executadas sobre a abertura na guia são, em geral, insuficientemente armadas. A maioria está danificada, evidencia o descaso na manutenção, e expõe usuários e pedestres a riscos de acidentes.

A Foto 23 é uma ilustração desse tipo de ocorrência na rua Major José Inácio com Dom Pedro II, São Carlos SP, em 03/12/1993.

Foto 23- Defeito estrutural em boca-de-lobo combinada
Major José Inácio com Dom Pedro II, São Carlos SP, 03/12/1993

- c) Nas bocas-de-lobo combinadas a abertura na guia é coincidente com a abertura da sarjeta;
- d) Os tipos de grades atualmente em uso comprometem a captação de água nas bocas-de-lobo, tendo em vista o rápido e conseqüente entupimento nos primeiros minutos de chuvas fortes,
- e) E, não há controle de qualidade de bocas-de-lobo em São Carlos.

VI.7. Interferências entre a drenagem e o tráfego - 5 trechos principais

Na Tabela 31, até a Tabela 35, resumem-se resultados de observações sobre interferências entre o escoamento superficial de água e os tráfegos de veículos e/ou pedestres.

a) Interferências entre o escoamento superficial e o tráfego na rua Padre Teixeira

O resumo dos resultados obtidos em levantamentos sobre a ocorrência de interferências entre o escoamento superficial e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Padre Teixeira, estão ilustrados na Tabela 31.

Tabela 31 - Resumo de interferências com os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Padre Teixeira

Rua Padre Teixeira entre:	Tipo de interferência
Monteiro Lobato e Eugênio Franco de Camargo	Não ocorre
Eugênio Franco de Camargo e Dona Maria I. De Oliveira Botelho	Não ocorre
Dona Maria I. de Oliveira Botelho e Totó Leite	Efeito de estacionamentos próximos à guia
Totó Leite e Major Manoel Antônio de Mattos	Efeito de estacionamentos próximos à guia
Major Manoel Antônio de Mattos e Coronel Marcolino Lopes Barreto	Alagamento de caixa da rua Espirro d'água
Coronel Marcolino Lopes Barreto e Antônio Rodrigues Cajado	Alagamento de caixa da rua Espirro d'água
Antônio Rodrigues Cajado e Campos Salles	Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento Alagamento de caixa da rua Espirro d'água

Conforme ilustrado nas Figuras 18, 19 e 20, do capítulo V, a quantidade de bocas-de-lobo no trecho pode influenciar na capacidade de esgotamento da água superficial, e interferir na largura do escoamento pela sarjeta. O alagamento de caixa da rua (Foto 26) foi a principal interferência verificada nos 5 trechos estudados, e explicada pelos acréscimos em vazão que solicite os elementos de drenagem (função da crescente impermeabilização de área contribuinte), ou, por defeitos de funcionamento de elementos componentes da drenagem.

Na rua Padre Teixeira, a interferência do tipo "espirro d'água" pôde ser observada entre as ruas Major Manoel Antônio de Mattos e Campos Salles.

A Foto 24 ilustra a ocorrência de espirro d'água na rua Padre Teixeira com a rua Campos Salles, São Carlos SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 24 - Espirro d'água na rua Padre Teixeira, São Carlos, SP, em 13/01/95

Especificamente, no cruzamento da Padre Teixeira com a Campos Salles ocorrem:

- a) Defeitos de execução na infra-estrutura do pavimento;
- b) Afundamentos e fissuras da superfície de rolamento, e,
- c) Acúmulo e infiltrações de água para a base do pavimento.

O acúmulo de água sobre a superfície do pavimento na rua Sete de Setembro é provocado principalmente por defeitos de execução, acabamento e/ou manutenção da superfície de rolamento dessa via.

Entre as ruas Maria Isabel de Oliveira Botelho e Major Manoel Antônio de Mattos, São Carlos SP, encontramos alterações nas posições de estacionamento de veículos - conforme ilustra a Foto 25, de 13 de janeiro de 1995. A altura de guias e/ou degraus nas sarjetas causados por recapeamento, que provocam a redução de seção daquele canal, explicam tais ocorrências.

Foto 25 - Depressões acentuadas nas sarjetas e alterações nas posições de estacionamento à rua Padre Teixeira, São Carlos, SP, em 13/01/95

b) Interferências entre o escoamento superficial e o tráfego na rua Sete de Setembro

O resumo dos resultados obtidos em levantamentos sobre a ocorrência de interferências entre o escoamento superficial e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Sete de Setembro, estão ilustrados na Tabela 32.

Tabela 32 - Resumo de interferências entre o escoamento de água e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Sete de Setembro

Rua Sete de Setembro entre:	Tipo de interferência
Dona Maria I. de Oliveira Botelho e Totó Leite	Não ocorre
Totó Leite e Major Manoel Antônio de Mattos	Não ocorre
Major Manoel Antônio de Mattos e Cel. Marcolino Lopes Barreto	Não ocorre
Cel. Marcolino Lopes Barreto e Rafael de Abreu Sampaio Vidal	Alagamento de caixa da rua Espirro d'água
Rafael de Abreu Sampaio Vidal e Antônio Rodrigues Cajado	Alagamento de caixa da rua Espirro d'água
Antônio Rodrigues Cajado e São Paulo	Efeitos sobre pedestre, ciclista e motociclistas Alagamento de caixa da rua Espirro d'água

Verificam-se alterações em rebaixos na entrada de boca-de-lobo mista, no cruzamento da rua Sete de Setembro com a rua São Paulo.

A Foto 26 ilustra o alagamento de caixa da rua Sete de Setembro próximo ao cruzamento com a rua Marcolino Lopes Barreto, São Carlos, SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 26 - Alagamento na rua Sete de Setembro, São Carlos, SP, em 13/01/95

c) Interferências entre o escoamento superficial e o tráfego na rua São Paulo

O resumo dos resultados obtidos em levantamentos sobre a ocorrência de interferências entre o escoamento superficial e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua São Paulo, estão ilustrados na Tabela 33.

Tabela 33 - Resumo de interferências entre o escoamento de água e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua São Paulo

Rua São Paulo entre:	Tipo de interferência
Quinze de Novembro e São Sebastião	Não ocorre
São Sebastião e Padre Teixeira	Não ocorre
Padre Teixeira e Marechal Deodoro	Não ocorre
Marechal Deodoro e Sete de Setembro	Alagamento de caixa da rua
Sete de Setembro e Major José Inácio	Alagamento de caixa da rua
Major José Inácio e Conde do Pinhal	Alagamento de caixa da rua
Conde do Pinhal e Treze de Maio	Alagamento de caixa da rua Espirito d'água
Treze de Maio e Jesuino de Arruda	Alagamento de caixa da rua Espirito d'água
Jesuino de Arruda e Geminiano Costa	Alagamento de caixa da rua Espirito d'água

O alagamento de caixa da rua ocorre a partir do cruzamento da rua São Paulo com a rua Marechal Deodoro, entretanto, a ocorrência de espirito d'água se dá a partir do cruzamento da São Paulo com a Conde do Pinhal - trecho de declividade acentuada.

d) Interferências entre o escoamento superficial e o tráfego na rua Santa Gertrudes

O resumo dos resultados obtidos em levantamentos sobre a ocorrência de interferências entre o escoamento superficial e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Santa Gertrudes, estão ilustrados na Tabela 34.

Tabela 34 - Resumo de interferências entre o escoamento de água e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Santa Gertrudes

Rua Santa Gertrudes entre:	Tipo de interferência
Núncio Cardinali e Padre Segismundo Passionista	Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento Espirito d'água
Pe. Segismundo Passionista e Pe. Joaquim Cipriano de Camargo	Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento Alagamento de caixa da rua Espirito d'água
Pe. Joaquim C. de Camargo e Pe. Joaquim Botelho da Fonseca	Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento Alagamento de caixa da rua Espirito d'água
Padre Joaquim Botelho da Fonseca e Bispo Dom Gastão	Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento Alagamento de caixa da rua Espirito d'água
Bispo Dom Gastão e Castro Alves	Alagamento de caixa da rua Espirito d'água

O trecho estudado liga a Rodovia Estadual - SP-215 à Avenida São Carlos, e também é solicitado pelo tráfego de veículos pesados:

- a) Da rua Padre Segismundo Passionista até à rua Bispo Dom Gastão, o acúmulo de água sobre a superfície do revestimento são evidentes, e,
- b) Da rua Padre Joaquim Botelho da Fonseca até à rua Castro Alves identificam-se sinais de fadiga e afundamentos no pavimento, favorecendo o acúmulo de água.

As interferências e os riscos ao tráfego de pedestres, ciclistas e motociclistas são mais visíveis entre as ruas Núncio Cardinalli e Segismundo Passionista, e são provocados pelo estado de conservação de bocas-de-lobo - há grades soltas e aberturas expostas.

A Foto 27 ilustra uma boca-de-lobo com necessidade de manutenção na rua Santa Gertrudes, São Carlos, SP, em 13 de janeiro de 1995.

Foto 27 - Boca-de-lobo sem manutenção - rua Santa Gertrudes entre as ruas Núncio Cardinalli e Segismundo Passionista, São Carlos, SP, em 13/01/95

- e) Interferências entre o escoamento superficial e o tráfego na rua Quinze de Novembro

O resumo dos resultados obtidos em levantamentos sobre a ocorrência de interferências entre o escoamento superficial e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Padre Teixeira, estão ilustrados na Tabela 35.

Ocorre acúmulo de água, sem interferências significativas ao tráfego em áreas próximas aos pontos de captação, respectivamente nos cruzamentos com as ruas Major Júlio Salles e Antônio Álvaro Zuim. No cruzamento com a rua Álvaro Zuim, verificam-se defeitos de manutenção de bocas-de-lobo. As ocorrências mais comuns são: grades soltas e aberturas expostas.

Tabela 35 - Resumo de interferências entre o escoamento de água e os tráfegos de veículos ou pedestres na rua Quinze de Novembro

Rua Quinze de Novembro entre:	Tipo de interferência
Avenida São Carlos e rua Episcopal	Não ocorre
Episcopal e Nove de Julho	Não ocorre
Nove de Julho e José Bonifácio	Não ocorre
José Bonifácio e Aquidabam	Não ocorre
Aquidabam e Riachuelo	Não ocorre
Riachuelo e Visconde de Inhaúma	Alagamento de caixa da rua
Visconde de Inhaúma e Adão Pereira da Silva Cabral	Alagamento de caixa da rua
Adão P. da Silva Cabral e Major Júlio Salles	Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento Alagamento de caixa da rua
Major Júlio Salles e Vitor M. de Souza	Não ocorre
Vitor M. de Souza e Paulino Botelho de Abreu	Não ocorre
Paulino Botelho de Abreu e Maestro João Seppe	Não ocorre
Maestro João Seppe e Madre Saint Bernard	Não ocorre
Madre Saint Bernard e Henrfrid Frick	Não ocorre
Henrfrid Frick e Antônio Álvaro Zuim	Acúmulo de água sobre a superfície do pavimento Efeitos sobre pedestres, ciclistas e motociclistas Alagamento de caixa da rua

VI.8. Outros fatores que comprometem a rede de drenagem de São Carlos

Dentre outros fatores que interferem no comportamento da rede de drenagem em São Carlos, destacamos:

- Há, ligações clandestinas, para descarga de esgoto na rede de água pluvial - prática freqüente usada pela população, e,
- Observações em dias de chuva identificaram pontos de saturação da rede de drenagem e acúmulo de água na entrada de bueiros e poços de visita provocados por descargas clandestinas de água de chuva. Convém lembrar que isso pode causar, de interferências ao tráfego, até à proliferação de doenças epidêmicas graves para a população.

Também, o despejo de esgoto nas redes subterrâneas de águas pluviais, que estão ligadas às bocas-de-lobo, gera inconvenientes pela exalação de mau cheiro principalmente nos dias de calor, nas áreas onde o trânsito de pedestres é muito intenso - isso era comum nos trechos observados. E, segundo técnicos do Departamento de Serviços Urbanos da Prefeitura Municipal de São Carlos, na região central da cidade, são freqüentes as reclamações de comerciantes e pedestres sobre o mau cheiro exalado por bocas-de-lobo.

VII. O processo para projeto adotado pela Prefeitura Municipal de São Carlos

Nesta seção, resume-se o roteiro para elaboração e os procedimentos para projeto de elementos para drenagem utilizados pela Prefeitura Municipal de São Carlos. As informações usadas foram obtidas por entrevistas a técnicos e engenheiros da Prefeitura Municipal de São Carlos e seus Empreiteiros, que nos forneceram documentos, citações, processos, rotinas e memoriais de cálculo para estudo.

Essas informações foram complementadas através de estudos de condições geométricas e classificação dos elementos para drenagem através de levantamentos em campo para detalhar, classificar e obter os dados básicos sobre geometria e composição dos elementos do processo para drenagem nas vias da bacia analisada. Isso contribuiu para possibilitar a identificação de variáveis envolvidas durante fases de elaboração de projeto, operação e manutenção dos elementos do processo para drenagem adotados em São Carlos, segundo os "usos e costumes" da região.

VII.1. O uso do método racional e estimativa de vazões em São Carlos

Na Prefeitura Municipal de São Carlos, são adotados desde 1994 as seguintes premissas para escolha e projeto de elementos componentes da drenagem superficial:

- a) Estimativa de vazão pelo Método Racional;
- b) Estimativa do coeficiente de escoamento superficial;
- c) Estimativa de intensidade de chuva usando a equação obtida por PORTO (1987/1990) para a cidade de São Carlos;
- d) Estimativa da área de contribuição a ser drenada;
- e) Estudo da velocidade de escoamento em sarjetas, segundo IZZARD (1946);
- f) Estudo da capacidade de escoamento em sarjetas,
- g) E, análise da capacidade de captação para bocas-de-lobo.

Recordando, o Método Racional para estimativa de vazões pode ser resumido:

$$Q = \frac{c.i.A}{360}$$

Expressão 39

Onde:

Q = vazão que escoar sob a superfície de solo (m^3/s);

c = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade de chuva de projeto (mm/h), e,

A = área da bacia contribuinte (ha).

Dentre os fatores que afetam a solicitação dos componentes da drenagem em São Carlos, estão: o coeficiente de escoamento superficial, c , e a intensidade de chuva, i . O *coeficiente de escoamento superficial* recomendado pela Prefeitura de São Carlos é obtido através da expressão 40, de HORNER & JENS (citada na revista DAE - vol. 47 - n° 148, março de 1987):

$$c = 0,364 \cdot \log t_c + 0,0042 \cdot p' - 0,142$$

Expressão 40

Onde:

c = coeficiente de escoamento superficial;

t_c = duração da chuva de projeto (min), adotada igual ao tempo de concentração da bacia, e,

p' = percentagem da área impermeabilizada da bacia (tabela 2).

Sobre o procedimento utilizado para estimar o valor de, c , destacamos:

Segundo PEDROSA (1957), a expressão de HORNER foi desenvolvida, para fornecer valores variáveis do coeficiente de escoamento superficial, c , com o tempo de duração da chuva ou tempo de concentração, t_c , e com a percentagem de impermeabilização superficial da bacia, p' . Ou seja, da maneira como é utilizada em projetos pela Prefeitura Municipal de São Carlos, a expressão de HORNER leva a valor constante para o coeficiente de escoamento superficial, $c \cong 0,60$, já que vincula um valor fixo para o tempo de concentração, $t_c = 20$ minutos e para a percentagem de impermeabilização, $p' = 65\%$ - que corresponde à área residencial com tamanho médio dos lotes $\leq 0,05$ ha.

Para pesquisadores como CHOW (1964), PILGRIM & CORDERY (1993) e TITIMARSH et al. (1995), a maior dificuldade na estimativa do coeficiente de escoamento superficial, não está na estimativa da área impermeabilizada da bacia, mas, na adoção de valores variáveis de c , uma função do tempo de concentração, t_c , e também na verificação das consequências da detenção de água na bacia.

Ou seja, há ainda muito a se discutir quanto ao coeficiente de escoamento, c , para garantir a aplicação correta em projetos e verificações sobre drenagem superficial em São Carlos.

A *intensidade de chuva para a cidade de São Carlos* é adotada "100mm/h". Entretanto, os técnicos da Prefeitura Municipal admitem que a estimativa de intensidade de chuva deve ser feita através estudos desenvolvidos por PORTO (1987). No estudo de PORTO (1987), a coleta de dados de intensidade de chuva, i , foram os expostos por PFAFSTETTER (1957) em posto pluviométrico localizado dentro do município de São Carlos - SP (latitude 22°01'S e longitude 47°54'W). A expressão relatada é:

$$i = \frac{33358.903.T_r^{-0,202}}{(t_c + 43)^{1,458.T_r^{-0,070}}}$$

Expressão 41

Pode ser usada ainda a segunda versão da Expressão 41, exposta por COUTINHO & PORTO (1991), no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - USP:

$$i = \frac{1200.T_r^{0,166}}{(t_c + 13)^{0,777}}$$

Expressão 42

Onde:

- i = intensidade da chuva de projeto (mm/h);
- T_r = período de retorno (anos), e,
- t_c = duração da chuva de projeto (min), adotada igual ao tempo de concentração da bacia.

O valor do tempo de concentração adotado, t_c , depende de análise sobre os tempos t_e , e, t_s , assim:

$$t_c = t_e + t_s$$

Expressão 43

Onde:

- t_e = tempo de escoamento superficial antes de atingir a sarjeta (min), e,
- t_s = tempo de escoamento superficial na sarjeta (min).

- Admite-se para, t_e , o intervalo de valores entre 10 minutos e 15 minutos.

Para a estimativa de, t_s , admite-se $y = y_0$ (y_0 = altura do fluxo de água na guia), que corresponde a uma altura média de 7,5cm (para guias com 15cm de altura útil).

Se:

v = velocidade média do escoamento (m/s);

l = distância percorrida pela água até atingir um ponto de captação (m), e admitindo-se que:

t = tempo de percurso de água pela sarjeta igual a t_s (s).

Da cinemática tem-se que:

$$v = \frac{l}{t} \Leftrightarrow t = t_s = \frac{l}{v}$$

Expressão 44

- O valor de, l , é estimado em planta de bacia sobre análise e o valor de, t_s , pode assumir valores entre 12 e 15 minutos, dependendo do comprimento e da velocidade do fluxo de água superficial no trecho.

BARBASSA (1991) propôs para estimativa da intensidade de chuva em São Carlos:

$$i = \frac{1519 \cdot T_r^{0,236}}{(t_c + 16)^{0,935}}$$

Expressão 45

Para analisar a adoção de intensidade de chuva, i , em projetos para drenagem para São Carlos, adotamos os resultados expostos nos trabalhos de PORTO (1987), COUTINHO & PORTO (1991) e BARBASSA (1991). Ressalte-se que a Expressão 45 de BARBASSA (1991) para estimativa da intensidade de chuva, i , é desconhecida pelo setor técnico da Prefeitura Municipal de São Carlos.

A estimativa de intensidade de chuva, i , exige então adoção adequada de duas variáveis: o período de retorno, T_r , usual entre 5 anos e 10 anos (valores habitualmente usados em projetos para drenagem) e a duração da chuva de projeto, t_c , entre 22 minutos e 30 minutos (de acordo com valores extremos da Expressão 5). Para a cidade de São Carlos os valores adotados em projetos são: T_r = 5 anos e t_c = 16 minutos ou 20 minutos (dependendo do local de projeto).

Apesar da divulgação de expressões como as desenvolvidas por PORTO (1987) e COUTINHO & PORTO (1991), o valor adotado para a intensidade de chuva crítica, i , em São Carlos é mantido fixo em 100mm/h. Tal valor é recomendado (não foi possível obter justificativa do porque) pelos técnicos da Prefeitura.

A Figura 32 ilustra as curvas que representam a intensidade de chuva para São Carlos usando-se as três expressões PORTO (1987), COUTINHO & PORTO (1991) e BARBASSA (1991), e o programa de computador - MATHCAD 5.0 (1994) para Windows da Mathsoft, para os intervalos de valores, T_r (5 anos ou 10 anos) e t_c (entre 10 minutos e 30 minutos).

Figura 32 - Curvas de intensidade de chuva para São Carlos

Analisando-se os dados resumidos na Figura 32:

- Há evidências de que as expressões desenvolvidas, diferem na coleta de dados (localização dos postos pluviométricos);
- A expressão de BARBASSA (1991) fornece valor mínimo de $i = 62 \text{ mm/h}$, utilizando $T_r = 5 \text{ anos}$ e $t_c = 30 \text{ min}$;
- A expressão de COUTINHO & PORTO (1991), fornece valor máximo de $i = 154 \text{ mm/h}$, utilizando $T_r = 10 \text{ anos}$ e $t_c = 10 \text{ min}$,
- E, o valor adotado em projetos para drenagem para São Carlos, com $i = 100 \text{ mm/h}$, pode ser obtido através de:

- PORTO (1987), utilizando $T_r = 5$ anos e $t_c \cong 24$ min;
- COUTINHO & PORTO (1991), utilizando $T_r = 5$ anos e $t_c \cong 22$ min;
- COUTINHO & PORTO (1991), utilizando $T_r = 10$ anos e $t_c \cong 27$ min;
- BARBASSA (1991), utilizando $T_r = 10$ anos e $t_c \cong 17$ min, e,
- BARBASSA (1991), utilizando $T_r = 5$ anos e $t_c \cong 12$ min.

A análise dos resultados obtidos permite concluir que:

- a) Há variações nos valores de intensidade de chuva, i , em função dos valores adotados para T_r e t_c ;
- b) Para tempos de concentração, t_c , inferiores a 30 minutos (usual em projetos de bacias de micro drenagem), as diferenças nas expressões são mais significativas,
- c) E, é justificada a necessidade de discussão de conseqüências de adoção de valores para, T_r e t_c , já que o valor estimado para a intensidade de chuva, i , tem influência direta na estimativa de vazão pelo método racional.

Há evidências de que as intensidades de chuva obtidas através de uso da expressão de PORTO (1987) são maiores que os obtidos pela aplicação de conceitos adotados por BARBASSA (1991) para tempos de concentração, t_c , inferiores a 30 minutos, indicando que o processamento e o conjunto de hipóteses adotados diferem - seria conveniente verificar praticamente, através de medidas em campo as conseqüências e a adequação das expressões ao funcionamento do sistema para drenagem em São Carlos.

A *área de contribuição à vazão na seção de controle* deve ser definida como a que efetivamente colabora para a vazão. O processo habitual é delimitar para as bacias de contribuição a vazão que escoar superficialmente através da identificação de divisores de água e de sarjetões. As unidades normalmente utilizadas são m^2 , km^2 ou hectare (ha).

Em São Carlos a estimativa da área é feita a partir de dados obtidos através de levantamentos efetuados para cadastro imobiliário, ou, através de dados levantados para uso durante o projeto dos sistemas de distribuição de água potável e coleta de esgoto.

A *velocidade de escoamento da água superficial* é estimada, com uso da Expressão 48 proposta a seguir - desenvolvida por IZZARD (1946):

$$v = R_h^{2/3} \cdot \frac{I^{1/2}}{n}$$

Expressão 46

Onde:

 v = velocidade do escoamento (m/s); R_h = raio hidráulico (m); I = declividade longitudinal do trecho (m/m), e, n = rugosidade da superfície, função do material (Tabela 3).

Para o escoamento na sarjeta o raio hidráulico, R_h , é adotado igual a y_0 e no caso também vale 7,5cm (para guias com 15cm de altura útil). O valor do coeficiente de rugosidade, n , adotado, é igual a 0,016 (superfícies betuminosas). Supondo fixos os valores; raio hidráulico, $R_h = 0,075$ metro e, coeficiente de rugosidade, $n = 0,016$ (sarjeta de concreto com acabamento betuminoso de textura áspera), a velocidade média de escoamento na sarjeta, v , é função somente da declividade longitudinal, I .

A declividade longitudinal da via é usualmente estimada a partir de planta topográfica (com dados do levantamento aerofotogramétrico realizado em 1970) usando a Expressão 47:

$$I = \frac{a - b}{e}$$

Expressão 47

Onde:

 I = declividade longitudinal do trecho; a = cota no centro da interseção de vias, a montante do trecho (m); b = cota no centro da interseção de vias, a jusante do trecho (m), e, e = comprimento entre interseções de vias (m).

A Figura 33 ilustra os valores de, a , b e e , para a estimativa de I .

Figura 33 - Ilustração dos valores a , b e e , para a estimativa de declividade longitudinal I

Deste modo, estimada a velocidade média v , obtém-se t_s , e , t_c usando a Expressão 44.

A *capacidade teórica de descarga em canais* (guias e sarjetas) é estimada pela Expressão 48 (de MANNING), modificada por IZZARD (1946):

$$Q = 0,375 \cdot \left(\frac{z}{n} \right) \cdot y_0^{2,667} \cdot i^{1/2}$$

Expressão 48

Onde:

- Q = vazão que escoar pela sarjeta (m^3/s);
- z = o inverso da declividade transversal (m);
- n = constante de rugosidade em função do material (Tabela 3);
- y_0 = altura do fluxo de água junto à guia (m), e,
- I = declividade longitudinal da sarjeta (m/m);

A Expressão 48, também usada em forma de nomograma, auxilia na obtenção de dados para escoamento em canais triangulares (guias e sarjetas). O nomograma pode ser usado também, para o dimensionamento de sarjetões (WILKEN, 1978, página 339).

A Expressão 48, desenvolvida para estimativa de vazão em sarjetas e utilizada em projetos na cidade de São Carlos, requer o conhecimento prévio dos valores estabelecidos para declividade transversal e longitudinal, rugosidade da superfície e a altura do fluxo na guia. Estes parâmetros são usualmente estimados em projetos com as seguintes considerações:

- a) A altura de água na guia, y , tem influência direta na capacidade de vazão de uma sarjeta e está inversamente relacionada com a declividade longitudinal, I ;

- b) O coeficiente de rugosidade, n , tem pouca influência na altura de água gerada na guia, quando constituídas de concreto, $n = 0,015$. Pode ocorrer influência, quando a superfície da sarjeta for encoberta por misturas de agregados e betumes - como é o caso de recapeamento;
- c) A largura da faixa inundada na sarjeta depende diretamente da altura livre disponível na guia (deve-se ressaltar que a largura da faixa inundável na sarjeta em locais onde há grande concentração de pedestres não deve ultrapassar a distância máxima do passo do pedestre que na média gira em torno de 0.60 metro),
- d) E, ocorre ainda a restrição quanto a área de alagamento na lateral da via - função da classificação da via de acordo com a CETESB (1979).

As condições operacionais tanto de velocidade, quanto capacidade de escoamento d'água em sarjetas e sarjetões depende do rigor da manutenção e limpezas de rotina. Observa-se, no caso de sarjetas e sarjetões, perda de características originais, principalmente provocadas por recapeamento na região central da cidade. Há mudanças significativas nas seções dos canais (diminuição da seção transversal, variações na rugosidade da superfície, etc...), que alteram a velocidade de fluxo de água e a capacidade dos componentes de drenagem.

VII.2. As bocas-de-lobo em São Carlos

Na cidade de São Carlos, não há estudos sobre capacidade de captação das bocas de lobo instaladas nas vias. Para efeito de cálculo de fluxo interceptado, os técnicos da Prefeitura adotam um volume máximo de 50l/s por boca de lobo, independente do tipo e localização. Partindo dessa hipótese, o que se verifica na prática, é que em alguns pontos isolados, a vazão estimada para a intensidade de chuva em São Carlos ultrapassa a capacidade da boca de lobo, gerando volume de água excedente para as captações subseqüentes.

Os projetos executivos de bocas-de-lobo em uso na cidade de São Carlos estão ilustrados na Figura 34 até a Figura 36. Note-se, os tipos de barras (perpendicular ao fluxo), a abertura na guia coincidente com a grade e as dimensões do rebaixo na sarjeta (tecnicamente incorretas).

Figura 34 - Boca-de-lobo combinada, para galerias com diâmetro de até 0,60 metro

Figura 35 - Boca-de-lobo combinada em série, para galerias com diâmetro de até 0,60 metro

Figura 36 - Seção transversal padrão para os tipos de bocas-de-lobo ilustrados nas Figuras 34 e 35

VIII. Conclusões, recomendações e sugestões

Durante a drenagem de vias urbanas, o volume de água precipitado sobre o pavimento, somado ao volume de água que os terrenos lindeiros canalizam para as vias, dá origem ao escoamento superficial transversal para as sarjetas das ruas. Para o bom funcionamento da drenagem de vias urbanas, a profundidade de escoamento superficial de água pela caixa da via deverá ser zero no eixo da pista, e aumentar de forma gradativa e controlada até próximo da guia.

A chuva que se precipita sobre ruas e terrenos adjacentes gera um volume de água que escoará pela sarjeta até atingir um ponto de captação da água para conduzi-la para fora da via, geralmente uma boca-de-lobo. O aumento da área de contribuição faz crescer o volume de descarga e a largura do escoamento superficial nas vias pode provocar a invasão de faixas de trânsito pela água, e interferências com o tráfego de veículos e pedestres.

O desenvolvimento de projeto criterioso e bem elaborado, a execução cuidadosa, e manutenção constante, preventiva e corretiva de componentes para drenagem é indispensável para garantir o funcionamento da captação de águas que escoam pelas vias.

Não foram encontrados na bibliografia consultada, um volume correto de citações sobre manutenção e limpeza. Consideramos que o desenvolvimento de diretrizes que orientem a execução de serviços de manutenção e limpeza são imprescindíveis para o funcionamento de componentes para drenagem. Um cronograma de diretrizes de execução e seqüência de operações de construção, manutenção e avaliação de componentes para drenagem de vias pode contribuir para manter a capacidade de esgotamento do fluxo de água superficial nos moldes estabelecidos através de projetos.

VIII.1. Conclusões de análises sobre informações gerais obtidas

As conclusões de análises sobre as informações obtidas durante estudos, discussão e verificação de dados obtidos em levantamentos executados durante a análise de comportamento de bocas-de-lobo e funcionamento de componentes do processo para drenagem superficial de vias urbanas coletadas e/ou expostas nos capítulos anteriores serão relatadas atendo-se a três sujeitos: projeto, operação e manutenção, e o próprio "processo para drenagem em vias urbanas". Visa-se identificar o potencial de contribuição que essa caracterização têm para colaborar com o aperfeiçoamento do tratamento da condução de água de chuva em vias públicas.

Nos primeiro e segundo capítulos expuseram-se itens gerais sobre o processo e componentes para drenagem superficial de vias urbanas. A principal informação obtida a partir desses dois capítulos é que *"rua e elementos específicos para condução de água que escoam superficialmente"* são itens do processo para drenagem cuja eficiência depende da interação entre esses componentes - a geometria de cada um, sua capacidade e adequação hidráulica, seus processos de manutenção e operação são condicionantes dos produtos da drenagem. A informação pode pecar pelo óbvio - entretanto, o mérito da mensagem exposta está em ressaltar que há que se agir para proteger e expor a necessidade de aperfeiçoamento do processo para drenagem urbana lembrando aos envolvidos em projeto, construção, administração e manutenção de vias que existe grande interligação entre os componentes da caixa de ruas e a condução de água que escoam pela superfície de vias e pavimentos.

No capítulo III expõe-se que os elementos para drenagem podem ser escolhidos, dimensionados e projetados para cumprir o objetivo de conduzir e controlar o fluxo de água superficial através de "pré-escolha de elementos do processo para drenagem; estimativa de vazões, dimensionamento hidráulico desses elementos, e, escolha e projeto final de componentes para drenagem".

Os processos para escolha, projeto e dimensionamento de elementos para drenagem podem ser os recomendados em obras de referência como CHOW (1964) e WILKEN (1978), e, manuais emitidos por órgãos como a CETESB (1979) e a FHWA (1984). Recomendam-se processos para pré-escolha de componentes para drenagem e comentam-se sobre a necessidade de experiência pela equipe envolvida no projeto para drenagem.

WILKEN (1978) relata e discute uma boa síntese de processos para estudos de drenagem urbana. Detalham-se e comentam-se nesse trabalho processos para estimativa de vazões - particularmente o método racional para estimativa de vazões de pequenas bacias.

A escolha dos elementos componentes do processo de drenagem pode ser efetuada a partir de padrões recomendados por órgãos públicos, ou entidades de pesquisa, combinando-se características de topografia de terrenos, geometria de obras, capacidade de elementos para drenagem, segurança ao fluxo de veículos e pedestres ou outros fatores com resultados de estudo hidráulico e hidrológico.

O dimensionamento de componentes do processo de drenagem é um complemento da escolha: trata-se de um processo de dimensionamento que trabalha com formas geométricas e materiais sugeridos por padrões adotados em órgãos públicos ou de pesquisa. Aplicam-se conceitos de hidráulica e dados experimentais sobre elementos padronizados para análise e previsão das capacidades dos elementos e condições de regime de fluxo, erosão, sedimentação, etc., depois da fixação de hipóteses pelo projetista.

Dos relatos no capítulo III destaque-se o comentário: *“o uso do método racional para estimativa de vazões implica em ignorar a complexidade de processos de escoamento superficial de água de chuva, os efeitos de armazenamento em depressões, variações de intensidade de chuva e capacidade de infiltração”*.

Dentre as discussões no capítulo III destacam-se análises sobre a estimativa e o comportamento do coeficiente de escoamento superficial - variável cuja grandeza depende de tipo e composição de solo e revestimento de bacias, da infiltração e retenção de água, de regularidade e declividade de terrenos, de história e regime de chuvas, e outras variáveis. Ressaltam-se hipóteses adotadas para estimativa de coeficientes de deflúvio e a necessidade de uso constante de bom senso para coordenação de raciocínios durante a estimativa de coeficientes de escoamento. Expõe-se que o coeficiente de escoamento superficial é a variável menos susceptível de determinação precisa em usos do método racional e estimativa de vazões - é a maior fonte de incerteza de resultados obtidos durante a estimativa de vazões. Há inúmeras discussões (FELEX, 1982; PILGRIM & CORDERY, 1993; HORTON, 1933; HORNER & FLYNT, 1936; WILKEN, 1978; HARDENBERG, 1950; CHOW, 1964; TITIMARSH et al., 1995) que contribuem para reforçar as afirmativas contidas neste parágrafo - há muito que se estudar para aperfeiçoar a análise da infiltração durante a estimativa de vazões.

Também, no capítulo III há relatos de resultados de análises sobre a duração da chuva adotada nas aplicações do método racional para estimativa de vazões - o tempo de concentração. Essa variável é função de forma de bacias; declividade de terrenos; declive, comprimento e rugosidade de canais; revestimentos vegetais, e distâncias percorridas pela água que escoar pela superfície. Comentam-se fórmulas empíricas, originárias dos Estados Unidos e desenvolvidas com uso de dados obtidos durante observações sobre áreas rurais. Mas, estudos mais detalhados (WPCF, 1967) foram um primeiro grupo de orientações que aperfeiçoaram o uso do conceito de tempo de concentração em vias de áreas urbanas.

E ainda, comentam-se no capítulo III itens sobre análise do "período de retorno", a variável adotada para incluir parâmetros estatísticos - principalmente o risco de vazões de projeto serem superadas durante a vida útil da obra - um tópico que interfere e define condições de economia associadas ao processo de dimensionamento e escolha de componentes para drenagem em projetos.

Há inúmeras variações na formulação que pode ser adotada para aplicação do método racional para estimativa de vazões. Em particular, destacou-se PORTO (1987): o uso conjunto dos métodos racional e do U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) para determinação do coeficiente de escoamento superficial - o processo amplia conceitos e incorpora vantagens de aperfeiçoamento nas estimativas do coeficiente de escoamento sem perder a simplicidade do método racional para estimativa de vazões.

PORTO (1987) relatou que: a partir do uso conjunto dos métodos racional para estimativa de vazões e U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (1975) consegue-se uma especificação mais detalhada da natureza e características dos terrenos da bacia, e é possível estimar um valor para o coeficiente de escoamento superficial mais adequado. O autor contribuiu para expor uma nova proposta de discutir o coeficiente de escoamento em áreas urbanas - deixaram evidências de que as estimativas do coeficiente de deflúvio são bastante conservadoras no Brasil Urbano. Também, COUTINHO e PORTO (1991) desenvolveram uma expressão para estimativa de intensidade de chuva e um gráfico para a estimativa expedita da vazão para a cidade de São Carlos.

Consideramos extremamente interessante o uso das propostas de PORTO (1987). Mas não se pode perder de vista a idéia de que as tabelas do U.S. CONSERVATION SERVICE (1975) expõem análise de observações sobre bacias rurais - as conseqüências de aplicações desses procedimentos a bacias urbanas carece ainda de estudos e aplicações no Brasil, um vasto campo para pesquisas e coleta de dados.

Também, HORNER & JENS (1941), propuseram processos para estimativa do coeficiente superficial - mas, esta proposta leva a valores de coeficiente de escoamento superficial superestimados. E, um valor assumido como constante e "médio" em projetos de drenagem no Brasil é usualmente bastante conservador.

Ainda, outros autores sugerem interpretações probabilísticas sobre os resultados obtidos em estimativas de vazões (HORNER & FLYNT, 1936; PILGRIM & CORDERY, 1993). Esses autores esperam que a adoção desses conceitos alterem "provável chuva de projeto" para "inundação provável" na obra - um conjunto de aplicações realistas da estatística aos estudos de drenagem.

Usam-se também no Brasil conceitos e processos expostos no manual de projeto elaborado pela COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1979), que fornece critérios para elaboração de projetos de drenagem urbana. Aquele documento pode ser útil para contribuir na identificação e classificação de elementos componentes do processo de drenagem, e para a descrição de interferências geradas entre a drenagem das ruas e os tráfegos de veículos e pedestres. Mas, os roteiros de projeto e estimativas de vazões, relatados no manual de projeto CETESB (1979) adotam as propostas da JOHNS HOPKINS UNIVERSITY (1956), detalhadas por WILKEN (1978). *Consideramos que o conteúdo informativo do manual de projeto CETESB (1979) é limitado, porque fornece apenas critérios para a elaboração de projetos de ruas na área da drenagem, e, roteiro para dimensionamento e escolha de bocas-de-lobo através de tabelas e ábacos que não deixam claro as hipóteses adotadas e os intervalos de validade de resultados obtidos.*

O conteúdo do manual de projeto da CETESB (1979), por ser generalizado e voltado apenas para projetos, fica aquém de muitas necessidades de operadores e administradores de drenagem urbana. Por exemplo, tanto manutenção quanto limpeza dos equipamentos de drenagem, que são importantes para a operação dos componentes para drenagem, a eficiência e manutenção da capacidade de captação e condução de água, não são discutidas nesse manual. O manual de projeto da CETESB (1979), a exemplo da bibliografia consultada, é omissa na discussão da manutenção, e de forma resumida descreve somente alguns itens sobre consequências de serviços para recapeamento de ruas.

Os resultados de estudos relatados pela FHWA (1984) mostram avanços tecnológicos ocorridos durante os últimos anos em equipamentos para micro drenagem urbana. Mas, de outro lado, evidenciaram que muito resta em necessidades de desenvolvimento do planejamento e execução de projetos para atingir um grau satisfatório de resposta tecnológica dos equipamentos para drenagem superficial urbana.

O relatório de estudos publicado pela FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (1984), "Drainage of Highway Pavements", aborda tópicos sobre resultados de análises sobre bocas-de-lobo, e, ressalta a preocupação de técnicos nos Estados Unidos com a segurança de usuários e desenvolvimento de novos tipos de grades de proteção para bocas-de-lobo. Sem dúvida, a principal virtude dos estudos feitos pela FHWA (1984) é relatar a busca de soluções para a drenagem superficial que, apesar do volume de estudos nas décadas anteriores, ainda é pobre em inovações.

Dentre as inovações propostas pela FHWA (1984), estão o uso de: grade de lâminas transversais curvas, grade de barras inclinadas a 45°, grade de barras inclinadas a 30° e grade com retículos (barras cruzadas em forma de rede), ilustradas nas figuras de 10 a 15 (páginas 44 a 47) e foto 9 (página 46).

Isso porque, de acordo com a FHWA (1984), *uma das preocupações que administradores públicos devem ter é que as grades para proteger as aberturas de bocas-de-lobo podem gerar conflitos para pedestres e outros usuários, como ciclistas e motociclistas*. Desse modo, as grades devem ser dispositivos para proteção a usuários da via, e “sujeitos” em pesquisas que verifiquem, além da eficiência de captação e condução de água, a segurança associada aos pedestres, ciclistas, motociclistas e veículos.

A eficiência de uma boca-de-lobo com grade, além de fatores já citados, é função da altura do fluxo de água na guia - uma variável de projeto de difícil tratamento. Para a FHWA (1984), o fator mais importante, que interfere na capacidade de captação das bocas-de-lobo, é a altura do fluxo de água na guia antes da interceptação de fluxo.

Os estudos da FHWA (1984) comprovam que a ação da altura efetiva de água na guia e a eficiência e a capacidade de bocas-de-lobo simples são melhoradas com o uso de uma depressão para a abertura na guia. É indicado usar depressão na sarjeta, para aumentar a altura do fluxo adjacente a abertura. A espessura da placa sobre a abertura na guia (guia chapéu), pode reduzir substancialmente a capacidade de captação da boca-de-lobo simples.

A principal vantagem de bocas-de-lobo simples é que as obstruções causadas por detritos na entrada, apesar de inevitáveis, são menos freqüentes quando comparadas com outros tipos de bocas-de-lobo, porque as aberturas de entrada são maiores nesse tipo de equipamento de drenagem. A principal desvantagem é a baixa eficiência de captação quando utilizada em sarjeta com declividade longitudinal acentuada, maior que 2%.

A principal desvantagem de bocas-de-lobo com grade é a obstrução causada por materiais e detritos transportados pelas enxurradas. Segundo a FHWA (1984), grades constituídas por barras longitudinais são mais eficientes na captação e menos sujeitas a obstrução do que as constituídas por barras transversais, ou que tenham algumas barras transversais. As grades longitudinais, mesmo bem projetadas, também são passíveis de obstrução, porém menos freqüentes que as transversais. Para CHOW (1964), o tipo mais eficiente de grade é o de barras paralelas, dispostas na direção do fluxo, com abertura mínima de 50% da área superficial da grade. Segundo CHOW (1964), as barras executadas com a parte superior lisa contribuem para a autolimpeza e não entupimento de bocas-de-lobo.

Segundo a FHWA (1984), testes sobre bocas-de-lobo combinadas indicam que: o entupimento da abertura na guia à jusante da boca-de-lobo combinada, pode reduzir a capacidade de captação em mais de 50%, e um prolongamento dessa abertura para montante (foto 10, página 50) aumenta a área para captação de fluxo de água, melhorando a capacidade de captação da boca-de-lobo.

E, também de acordo com a FHWA (1984), a capacidade de captação para bocas-de-lobo depende de: declividades longitudinal e transversal de pavimento e sarjeta, fluxo total sobre a grade, e rugosidade de pavimento.

O estudo relatado por KIYOSHI, TATSUYA e ATSUSHI (1993) mostrou características de poluentes encontrados em pontos baixos nas áreas urbanas, e verificou a influência do material transportado para pontos baixos do terreno na capacidade de captação das bocas-de-lobo. Os resultados expostos indicam um relacionamento íntimo entre o diâmetro de sedimentos encontrados, e outros poluentes, como a matéria orgânica e outros materiais. Entre as principais conclusões expostas destacam-se: a acumulação de sedimentos nas bocas-de-lobo possui relação direta com o tamanho (densidade) dos grãos carregados pela água, e a acumulação de sedimentos nas bocas-de-lobo está diretamente relacionada com o uso e ocupação do solo urbano.

A operação de dispositivos para drenagem instalados em vias públicas pode gerar interferências entre o escoamento superficial e o tráfego de veículos e pedestres. Os principais tipos de interferências podem ser: deslizamento do veículos sobre a superfície de rolamento, espirro de água, acúmulo de água sobre a superfície do pavimento ou depressões da superfície de rolamento, alteração de posição de estacionamento de veículos, riscos de acidentes provocados pela geometria, localização, execução e manutenção inadequadas dos componentes da drenagem para os pedestres ciclistas e motociclistas, e alagamento de caixa de rua e/ou larguras do escoamento superficial na sarjeta maior que 0,60 metro.

As interferências entre o escoamento superficial pela rua e o tráfego podem ser atribuídas a: escoamento superficial transversal ao pavimento, cuja direção principal é a do eixo da rua para as sarjetas, volume de chuvas que se precipitam sobre terrenos adjacentes e são concentradas nas ruas gerando fluxos que podem invadir a pista, acúmulos de água em depressões, e jatos (espirros) de água sobre pedestres (e outros) (exemplos são ilustrados nas fotos 11 e 12, páginas 66 e 68). As bocas-de-lobo, suas aberturas e barras podem comprometer a segurança de pedestres (cuja capacidade de movimentação é limitada pela largura do passo e tamanho dos pés), bicicletas e motocicletas (porque possuem pneus estreitos e desenvolvem velocidades baixas e circulam próximo a sarjeta).

Durante a manutenção de vias, o recapeamento (construção de nova camada de revestimento em vias) pode alterar a geometria de entrada e o rebaixo que conduz água para bocas-de-lobo. Após execução de recapeamento as espessuras da nova capa e deficiências de acabamento na borda próxima a boca-de-lobo pode deixar o rebaixo fora dos padrões normais e comprometer a segurança de ciclistas e motociclistas (ver foto 15, página 73).

A falta de manutenção de elementos para drenagem, principalmente de grades de bocas-de-lobo, pode também comprometer a segurança de pedestres e outros usuários de vias. Quando a largura da faixa de água é maior que a largura do passo do pedestre (0,60 metro) (foto 14, página 71) há dificuldades para o pedestre atravessar a área inundada. O jato de água pode atingir o pedestre - bocas-de-lobo e equipamentos para drenar podem ser restrições à circulação de pedestres.

Itens que controlam a construção e manutenção de vias e equipamentos para drenagem têm relações com a qualidade de tráfego de veículos e pedestres: normas técnicas para controle de execução de pavimentos no Brasil, ausência de diretrizes e critérios para projeto, construção e manutenção de vias que contribuam para manter e/ou aperfeiçoar o desempenho de componentes da drenagem urbana, falta de previsões e propostas de ação para preservar a capacidade e condições operacionais dos dispositivos do processo de drenagem em si. Isso prejudica o processo para drenagem, e aumenta a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de métodos para análise das consequências de operações para construção e manutenção de vias na capacidade e operação de equipamentos para drenagem, e principalmente das bocas-de-lobo.

Nos processos de construção de pavimentos urbanos há dificuldades para a compactar e fazer o acabamento de bordas, provocadas pelas características das sarjetas. Além de infiltração de água, isso leva a deformações permanentes e trincamento da camada para rolamento de veículos. Além disso, dentre os serviços de manutenção da caixa da rua, a execução de recapeamento em pavimentos é prática comum dentre as tentativas de minimizar a deterioração e o desgaste na superfície das faixas de rolamento - se, de um lado o recapeamento reduz a deterioração e o desgaste do pavimento, de outro pode contribuir para diminuir a capacidade e a eficiência de elementos de drenagem.

Resultados de análise sobre bibliografia, WILKEN (1978), CETESB (1979) e FHWA (1984) ressaltam a importância da execução dos serviços para manutenção e limpeza dos equipamentos de drenagem. Porém, não se especificam claramente as diretrizes, métodos e processos para efetuar tais operações que mantêm a eficiência da coleta e condução de águas superficiais das vias.

Com relação às bocas-de-lobo, CHOW (1964), WILKEN (1978), CETESB (1979) e FHWA (1984) são unânimes em destacar a importância da execução de serviços para manutenção do processo para drenagem, mas da mesma forma, deixam de indicar normas ou diretrizes para efetuar os serviços de manutenção e limpeza desses elementos.

Lembremos novamente que, no Brasil, há hábitos ruins quanto à higiene e limpeza urbanas: em diversas cidades a limpeza urbana é repassada a empresas privadas, que empregam trabalhadores braçais que insistem em varrer o lixo para dentro das bocas-de-lobo. Também, os habitantes da cidade têm o hábito de jogar lixo nas bocas-de-lobo. *São necessárias campanhas de esclarecimento para que a população e operários compreendam a importância dos componentes para drenagem e evitem o mau funcionamento da captação de água de chuva.*

VIII.2. Sobre organização e projeto de drenagem de vias em São Carlos

Verificando a organização do processo de armazenagem e cadastro de dados e informações sobre os componentes de drenagem da cidade de São Carlos, verificamos que: nem mesmo datas de construção das redes e implantação de componentes para drenagem na região central da bacia do Rio Gregório são estimadas corretamente por deficiências em arquivos da Administração Municipal de São Carlos e outros órgãos. Uma simples planta planialtimétrica da região compreendida pelo município é difícil de ser consultada - os principais envolvidos no dia a dia do processo de drenagem urbana ficam sempre "esperando o novo estudo". Para informações sobre linhas divisórias, dados geológicos e ocupação da bacia do rio Gregório foi necessário recorrer a dados contidos em dissertações de mestrado (MACHADO, 1981; LORANDI, 1985; REBELLATO, 1992), e, parte das características da bacia só é obtida através de levantamento em campo.

Desde 1994, diz-se que *"se adota" em São Carlos para a escolha e projeto de componentes para drenagem superficial de vias*: as estimativas de vazão pelo método racional, do coeficiente de escoamento superficial, de intensidade de chuva usando a equação obtida por PORTO (1987) para a cidade de São Carlos, a área de contribuição a ser drenada; estudo da velocidade de escoamento em sarjetas, segundo IZZARD (1946); estudo da capacidade de escoamento em sarjetas, e análise da capacidade de captação para bocas-de-lobo. *Mas, exceto para bairros muito novos, esse procedimento não foi usado para obras que implantaram os elementos de drenagem da cidade - assim, há que esperar ocorrências desagradáveis provocadas por mau funcionamento da condução de águas de chuva que escoam superficialmente pelas vias públicas.*

O *coeficiente de escoamento superficial* recomendado pela Prefeitura de São Carlos é obtido através da formulação proposta por HORNER & JENS (1987, expressão 40). E, da maneira como é usada na Prefeitura Municipal de São Carlos essa expressão leva a valor constante para o coeficiente de escoamento superficial, porque aplicam-se valores fixos para o tempo de concentração e para a percentagem de impermeabilização (página 117) - isso é de difícil de justificar e leva a valores de coeficiente de escoamento superficial superestimados. *Ou seja, há ainda muito a se discutir e pesquisar para obter valores de coeficiente de escoamento de aplicação correta em projetos e verificações sobre drenagem superficial na cidade de São Carlos.*

Resultados de entrevistas a técnicos da Prefeitura municipal de São Carlos indicam que a *intensidade de chuva para a cidade de São Carlos* é adotada "100 mm/h", um valor fixo. Entretanto, a estimativa de intensidade de chuva deve ser feita através resultados expostos por PORTO (1987), COUTINHO & PORTO (1991) e BARBASSA (1991). O *tempo de concentração* adotado está entre 10 minutos e 15 minutos. O *período de retorno* usual é 5 anos.

Analisando-se os dados resumidos na figura 32 (página 120) pode-se concluir que valores de intensidade de precipitação obtidos por PORTO (1987), COUTINHO & PORTO (1991) e BARBASSA (1991) e o 100mm/h adotados em São Carlos diferem para diferentes tempos de concentração e períodos de retorno fixos. Isso se dá porque a história dos dados usados para cada expressão é diferente - e também porque alterações ao longo da coleta de informações provocou um tratamento diferente para cada conjunto de autores - *seria conveniente verificar na prática, através de medidas em campo as conseqüências e a adequação das expressões ao funcionamento da drenagem urbana em São Carlos.*

Em São Carlos, a estimativa da área de contribuição à vazão é feita a partir de dados obtidos através de levantamentos efetuados para cadastro imobiliário, ou, através de dados levantados para uso durante o projeto dos sistemas de distribuição de água potável e coleta de esgoto. Seria isso suficiente? A *velocidade de escoamento da água superficial* é estimada, com uso da expressão 46 (IZZARD, 1946; página 122). A *capacidade teórica de descarga em canais* (guias e sarjetas) é estimada com uso da expressão 48 (de MANNING, modificada por IZZARD, 1946; página 123). Mas, *condições operacionais tanto de velocidade, quanto capacidade de escoamento de água em sarjetas e sarjetões dependem do rigor da manutenção e limpeza de rotina provocando a necessidade de verificar outras hipóteses para garantir a qualidade do processo para drenagem de vias.*

Os componentes da drenagem superficial em São Carlos perderam suas características originais e recapeamento mudou a configuração das caixas de via na região central da cidade. *Há mudanças significativas nas seções originais de canais, que alteram a velocidade de fluxo de água e a capacidade dos componentes de drenagem - desconhecemos resultados de estudos que facilitem o tratamento e orientem a conservação e manutenção da eficiência e eficácia dos componentes para drenagem em São Carlos.*

Recordamos que, na cidade de São Carlos, não há estudos sobre capacidade de captação das bocas de lobo instaladas nas vias. Para efeito de cálculo de fluxo interceptado, os técnicos da Prefeitura adotam um volume máximo de 50l/s por boca de lobo, independente do tipo e localização. Os projetos executivos de bocas-de-lobo em uso na cidade de São Carlos estão ilustrados nas figuras 34 até 36. Adotam-se barras perpendiculares ao fluxo de água, a abertura na guia coincidente com a grade e rebaixo na sarjeta.

VIII.3. Sobre a análise de dados obtidos em campo

Os principais dados obtidos em campo se ativeram a quatro trechos pertencentes à bacia do rio Gregório e um trecho limítrofe (figura 25, página 82; figuras 27 a 31, páginas 85, 87, 88, 91, 93). As características de topografia das vias observadas foram o comprimento, as cotas, as declividades longitudinais e transversais da rua e das sarjetas. As características de bocas-de-lobo observadas nos trechos analisados foram a localização, o tipo, a capacidade de captação, a área contribuinte, a estimativa de vazão da área contribuinte, e informações visuais sobre estado de conservação. Também, sobre os trechos observados relataram-se informações sobre o fluxo e classificação de veículos que por ali trafeguem, as sub-bacias de captação, a carga que solicita as bocas de lobo, as relações de declividades e alguns fatos específicos sobre cada trecho.

Dentre os principais resultados encontrados durante a análise dos trechos observados destacam-se que há grande ocorrência de:

- a) Sobrecarga nas primeiras bocas-de-lobo, o que provoca a transferência de volumes de água através de escoamento superficial pela caixa das vias para quadras seguintes;
- b) Quarteirões de vias construídos com declividades transversais pequenas;
- c) Bocas-de-lobo construídas com grades perpendiculares ao fluxo, com grande espaçamento entre elementos da grade ;
- d) Bocas-de-lobo com materiais acumulados na grade;
- e) Depressões em sarjetas alteradas por recapeamento;
- f) Largura de escoamento superficial maior que a largura do passo do pedestre, 0,60 metro;
- g) Falta de manutenção e limpeza em bocas-de-lobo;
- h) Defeitos de construção em bocas-de-lobo;
- i) Acúmulo de água em superfície de pavimento, o que em muitos lugares provocava espirros de água, e,
- j) Infiltração de água em pavimento e fundações de residências;

O estado de conservação de caixas de ruas, guias, sarjetas, sarjetões e bocas-de-lobo foi classificado através de critérios obtidos em síntese de consulta bibliográfica - bom, regular ou ruim. A classificação das ruas nos trechos observados foi, na maioria das vezes, de regular a ruim - indicando um grande potencial de ocorrências de interferências entre a via, o fluxo de águas, pedestres, veículos e outros. A maioria das guias também estiveram entre regular e ruim. Sarjetas e sarjetões, idem, indicando falta de manutenção e defeitos na construção desses componentes para drenagem. As bocas de lobo estiveram de regular a ruim - produto da falta de conservação e manutenção, além de falta de atualização dos equipamentos usados (figuras 34, 35 e 36).

A expansão do levantamento de dados a trinta trechos aleatórios na cidade de São Carlos mostrou que:

- a) O padrão de guias e sarjetas da cidade é ruim - isso é provocado por materiais e dimensões ruins dos componentes usados, que possuem fendas e/ou orifícios que facilitam a infiltração de água e favorecem o crescimento de vegetação;
- b) As sarjetas e os métodos construtivos de caixas de vias provocam erosões de pavimento próximo à borda e ligações deficientes entre materiais do pavimento e sarjeta - o que contribui para a diminuição de resistência e colapso de pavimentos;
- c) Os sarjetões na cidade são mal armados e possuem pequena resistência;
- d) Uma grande parcela das depressões nas entradas das bocas-de-lobo não estão de acordo com as necessidades, ou foram corrompidas pelo recapeamento de vias;
- e) As "guias-chapéu" são mal armadas e construídas - isso é mais um fator de interferência entre os componentes para drenagem e o tráfego de pedestres;
- f) O tipo de grade das bocas-de-lobo usado na cidade é desatualizado e perigoso para pedestres, bicicletas e motocicletas;
- g) Não há controle de qualidade e manutenção de guias, sarjetas e bocas-de-lobo em São Carlos.

Os resultados de observações sobre ocorrências de interferências entre o escoamento superficial de água e o tráfego de veículos e/ou pedestre podem ser resumidos em grande volume de ocorrência de:

- a) Alagamentos de caixa de rua;
- b) Locais com acúmulo de água na caixa da rua;
- c) Locais onde ocorre o "espirro de água";
- d) Afundamentos e fissuras na superfície de rolamento de veículos provocados pela ação da água;
- e) Alterações em guias e bocas-de-lobo provocados por recapeamento;
- f) Locais com acúmulo de água na superfície de pavimento e alagamento de caixa de via;
- g) Grades soltas e aberturas expostas;
- h) Locais onde se altera a posição de estacionamento de veículos por ações de bocas-de-lobo;
- i) Locais onde os equipamentos de drenagem alteram posições de estacionamento de veículos, e,
- j) locais de risco à circulação de pedestres, bicicletas e motocicletas.

Também a extensão das observações identificou um “belo” volume de ligações de esgoto na rede pluvial, mau cheiro e trechos de saturação da rede pluvial. Considerando que o alagamento da caixa de ruas foi a principal ocorrência atribuída a defeitos de funcionamento de componentes de drenagem dos trechos observados, há que se ressaltar que as ligações de esgoto na rede de drenagem urbana tem sido um elemento de deterioração da qualidade de vida na cidade.

O projeto do sistema de drenagem da cidade de São Carlos parece não aplicar variáveis apropriadas para a região com relação a por exemplo: o tipo de solo, clima, topografia, intensidade de chuva e outras. Uma das possíveis explicações se deve ao fato da equação racional ser empírica e sua estimativa vai sendo modificada por “experiência de pessoas”. *Assim, por exemplo os valores adotados para coeficiente de escoamento superficial, dados sobre o clima, e outras variáveis deveriam ser atualizados, tendo em vista a diminuição da capacidade de infiltração na bacia do Rio Gregório.*

Há a necessidade de estudos para reavaliar o sistema de drenagem superficial na cidade de São Carlos. A execução de vias deveriam respeitar métodos e procedimentos que garantam a qualidade desses equipamentos. O reparo de trincas e fendas na superfície de revestimento nas vias da cidade podem ajudar a evitar a infiltração de água para a base do pavimento e a erosão do revestimento betuminoso próximo a esses elementos. Na execução de recapeamento, dever-se-ia aplicar técnicas que permitam a redução na espessura da camada recapeada. Para o caso de sobreposição de camadas que possam interferir e/ou alterar a seção transversal do canal guia e sarjeta ou a declividade transversal do pavimento, deve ser indicada a “fresa” (remoção) da camada superficial de pavimento existente.

A guia, sarjeta e sarjetão poderiam ser melhor utilizados. Para isso é necessário o uso de processos que aperfeiçoem a qualidade desses elementos durante a construção e manutenção de componentes para drenagem. As bocas-de-lobo poderiam ser melhoradas, por exemplo aplicando-se: o uso de bocas-de-lobo combinadas com a abertura na guia instalada a montante da boca de lobo com grade; uso de depressão em todas as bocas-de-lobo, independente do seu tipo e localização, e uso de tipos e disposição de grades mais adequadas visando a melhoria da capacidade de captação da boca de lobo e a segurança de usuários das ruas de São Carlos.

VIII.4. Conclusão final

O exposto neste capítulo VIII permite-nos concluir que: *produtos de ações durante uma tentativa para mostrar que a observação de bocas-de-lobo e do funcionamento de componentes do processo para drenagem superficial de vias urbanas podem contribuir para identificar informações que colaborem no aperfeiçoamento da qualidade de condução de água em vias urbanas.*

IX. Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS AND WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. *'Design and Construction of Sanitary Storm Sewers'*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N° 37 and WPCF Manual of Practice N° 9, 1970.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 2.10.11-012 - *"Ante Projeto de Normas para Drenagem Urbana"*. Rio de Janeiro, 1984.
- ANDRADE, G.O. *"Os Climas"*. In: Brasil, a terra e o homem. v.I, Cia. Editora Nacional. São Paulo, 1964.
- AZEVEDO NETTO, J.M. *"Manual de Hidráulica"*. v.2, 5ª. ed. São Paulo, 1970.
- BARBASSA, A.P. *"Simulação do Efeito da Urbanização Sobre a Drenagem Pluvial na Cidade de São Carlos - S.P."*. São Carlos. SHS -EESC, Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
- CAPUTO, H.P. *"Mecânica dos Solos e suas Aplicações"*. v.1, Ed. LTC, 6ª Edição, Rio de Janeiro, p.25-32, 1988.
- CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - CTH. *"Boca-de-lobo - Eficiência Hidráulica"*. Relatório do Estudo Experimental. Convênio Departamento de Águas e Energia Elétrica e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1983.
- CHOW, V.T. *"Handbook of Applied Hydrology"*. New York, McGraw Hill, 1964.
- CHOW, V.T. *"Open-Channel Hydraulics"*. International Edition, Singapore, McGraw Hill, 680p, 1986.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *"Drenagem Urbana - Manual de Projeto"*. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente em colaboração com o Departamento de água e Energia Elétrica. s.ed. São Paulo, 1979.
- COUTINHO, J.L.; PORTO, R.M., (Orientador). *"Avaliação de Vazões de Projeto em Drenagem Urbana na Cidade de São Carlos"*. X Congresso de Iniciação Tecnológica em Engenharia, São Carlos, dez. 1991.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA. *"Drainage of Highway Pavements"*. United States Department of Transportation. Circular N°. 12. Virginia, 1984.

- FELEX, J.B. *"Notas sobre dimensionamento de vazões pelo método racional"*. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos, 1982.
- FERREIRA, A.B.H.; FERREIRA, M.B. *"Dicionário Aurélio Eletrônico"*. Versão 1.2, Regis Ltda. E J. C. M. M. Editores Ltda, dez. 1993.
- FORBES, H.J.C. *"Capacity of Lateral Storm-Water Inlets"*. Die Sivele Ingenieur in Suid-Afrika, sep. 1976.
- HARDENBERG, W. . *"Sewerge and Sewage Treatment"*. Seranton, International Text-Book, 1950.
- HORNER W.W.; FLYNT F.L. *"Relation between Rainfall and Runoff from Small Urban Areas, with Discussion by SNYDER, F.F.; BERNARD, M.M.; SHERMAN, L.K. and HORNER, W.W. and FLYNT, F.L."*. Transaction of the American Society of Civil Engineers. v.101(1926), p.140-206, 1936.
- HORNER, W.W.; JENS, S.W. *"Surface Runoff Determination from Rainfall without using Coeficients"*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, New York, apr. 1941.
- IZZARD, C.F. *"Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces"*. Proceedings of the 26th annual meeting of the Highway Research Board, Washington, p.129-146, 1946.
- JOHNS HOPKINS UNIVERSITY - JHU. *"The Design of Storm-Water Inlets"*. Report of the Storm Drainage Research Committee of the Storm Drainage Research Project. Baltimore, Maryland, 1956.
- KIYOSHI, Y.; TATSUYA, U.; ATSUSHI, I. *"Study on Statistical Characteristics of Nonpoint Pollutants Deposited in Urban Areas"*. Ritsumeikan University, kyoto, Japan, p.283-290, 1993.
- KUICHLING, E. *"The Relation Between the Rainfall and the Discharge of Sewers in Populous District"*. Transactions, ASCE, v.20, 1889.
- LINDLEY, R.K.Jr.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J.L.H. *"Applied Hydrology"*. New York, McGrawHill, 689p, 1976.
- LORANDI, R. *"Caracterização dos Solos das Área urbana e suburbana de São Carlos (SP) e suas Aplicações"*. Piracicaba. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1985.
- MACHADO, E.S. *"Modelo Hidrológico Determinístico para Bacias Urbanas"*. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v.3, p.561-580, 1981.
- MICHELIN. R.G. *"Drenagem Superficial e Subterrânea de Estradas"*. 2^a.ed. Porto Alegre, 1975.
- PEDROSA, H.X.A. *"Hidráulica Aplicada"*. Ed. Científica, Rio de Janeiro, p.25-33, 1957.
- PFAFSTETTER, O. *"Chuvas Intensas no Brasil"*. Departamento Nacional de Obras de Saneamento, Rio de Janeiro, 1957.
- PILGRIM, D.H.; CORDERY, I. *"Flood Runoff"*. Handbook of hidrology. D. R. Maidment. Ed., McGrawHill Book Co., Inc. New York, N.Y., p.9.1-9.42, 1993.
- PINTO, N.S.L.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A. *"Hidrologia de Superfície"*. 2^a ed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda., 179p, 1973.

- PORTO, R.M. "*Uso Conjunto dos Métodos Racional e do Soil Conservation Service na Determinação da Vazão de Projeto em Bacias Urbanas*". Revista D.A.E., v.47, N° 148, p.38, mar. 1987.
- REBELATTO, D.A.N. "*A Influência do Processo de Ocupação do Solo na Bacia do Rio Gregório em São Carlos (SP) sobre a Incidência de Enchentes nas Áreas Próximas ao Mercado Municipal*". São Carlos. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.
- ROOSAM, K. "*The Hydraulic Efficiency and Spacing of British Standard Road Gulleys*". Road Research Laboratory. Report LR 277, 1969.
- TITIMARSH, G.W.; CORDERY, I.; PILGRIM, D.H. "*Calibration Procedures for Rational and USSCS Design Flood Methods*". Journal of Hydraulic Engineering, v. 121, N° 1, p.61-70, jan. 1995.
- U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE. - U.S.S.C.S. "*Hidrology Guide for Use in Watershed Planning*". National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Supplement A, U.S. Department of Agriculture, s.d.
- U. S. SOIL CONSERVATION SERVICE. - U.S.S.C.S. "*Urban Hydrology for Small Watersheds - Technical Release*". N° 55, Washington, DC, 1975.
- UYUMAZ, A. "*Discharge Capacity for Curb-opening Inlets*". Journal of Hydraulic Engineering, Turk, p.1048-1051, 1992.
- VILLIBOR, D.F.; NOGAMI J.S. "*Novo Critério para Escolha de Solos Arenosos Finos para Bases de Pavimentos*". Anais 17ª. Reunião Anual de Pavimentação. v.2, p.107-127, Rio de Janeiro, 1982.
- VILLIBOR, D.F.; NOGAMI J.S.; SÓRIA. M.H.A. "*Considerações sobre Pavimentos Urbanos e Propostas de Pavimentos Alternativos*". Anais 23ª. Reunião Anual de Pavimentação. v.3, p.1675-1696, Florianópolis, out. 1988.
- WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF. "*Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers*". WPCF Manual of Practice N° 9, ASCE Manuals and Reports on Engineering practice, N° 37, 1970.
- WIEST, R.J.M. "*Geohydrology*". New York, John Wiley & Sons, p21, 1965.
- WILKEN, P.S. "*Engenharia de Drenagem Superficial*". São Paulo, CETESB, 1978.
- YAMASHIRO, W.; HIROYUKI, M. "*Characteristics of Accumulated Loads in the Street Inlets in Urban Area and its Flushing*". Technology Reports of Kansai University, Japan, p.153-166, 1988.
- YONG, K.C. "*Hydraulic Model Investigation of Kerb-Opening Inlets*". Water Research Laboratory, The University of New South Wales, Report N° 79, Australia, 1965.
- ZWAMBORN, J.A. "*Storm-Water Inlet Design*". Proceedings of the Annual Municipal Conference, Johannesburg, may. 1966.

X. Bibliografia consultada

- BOLINAGA, J.J. *"Drenaje Urbano"*. Instituto Nacional de Obras Sanitárias, 1979.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). *"Hidrologia Urbana"*. 1º Relatório Parcial, São Paulo, p.1-12, 1978.
- BEREAU OF RECLAMATION. *"Design of Small Dams"*. Washington, dec. 1975.
- FENDRICH, R.; OBLADEN, N.N.; AISSE, M.M.; GARCIAS, C.M.; ZENY, A.S. *"Drenagem e Controle da Erosão Urbana"*. EDUCA, Curitiba, 1984.
- GRUNSKI, C.E. *"The Sewer System of San Francisco, and a Solution of the Storm-Wather Problem"*. Transaction of the American Society of Civil Engineers. New York, 65: 303, 1909.
- IZZARD, C.F. *"Tentative Results ou Capacity of Curb Opening Inlets"*. In Surface Drainage H.R.B. ("Res Rept") 11B, dec. 1950.
- JOHNSON, D.A.; MEADOWS, M.E. *"Urban Peak Runoff Prediction Using Rational Formula Compled with S.C.S. Curve Number"*. International Symposium on Urban Storm Runoff, University of Kentucky, p.1-12, 1980.
- LENCASTRE, A.; FRANCO, F.M. *"Lições de Hidrologia"*. Editora Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, p.276-306, mar. 1984.
- LARSON, C.L. *"Grate Inlets For Surface Drainage of Streets and Highways"*. ST. Anthony Falls Hydraulic, Bull.2, University of Minnesota, Minneapolis, 1949.
- MIRANDA, L.M. *"Padronização de Dispositivo de Drenagem Superficial"*. DNER, Rio de Janeiro, 1978.
- NEVES, A.P. *"São Carlos na Esteira do Tempo"*. Ed. do Autor, São Carlos, 1984.
- RIGHETTO, A.M.; PORTO, R.M.; VILLELA, S.M. *"O Modelo E.E.S.C."*. In: Seminário de Hidráulica Computacional Aplicada a Problemas de Drenagem Urbana, - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, p.13-24, 1994.
- SANTOS, M.S.M. *"Drenagem Urbana"*. Editores COTEC DEH - UFMG (apostila), Belo Horizonte, 1984.
- VILLIBOR, D.F. *"Pavimentos Econômicos, Novas Considerações"*. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1981.
- VILLIBOR, D.F.; NOGAMI J.S. *"Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos"*. Ed. Vilibor, São Paulo, P.176-183, 1995.