

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL - FEC**

**ESTUDO DE TRÊS TIPOS DE BOCA DE  
LOBO**

**Alice Dalva Ramos**

**Campinas**

**1999**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL - FEC**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

# **ESTUDO DE TRÊS TIPOS DE BOCA DE LOBO**

**Alice Dalva Ramos**

**Orientador: Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira**

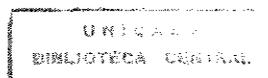
Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração de Recursos Hídricos.

**Campinas, 1999**  
**S.P. - Brasil**

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação.

06/09/99

Prof. Dr.   
Matrícula 03843-1



99.19241

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Es.
T.º	301.39.328
PROJ.	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	29/10/99
N.º CPD	

CM-00136622-8

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R147e Ramos, Alice Dalva  
Estudo de três tipos de boca de lobo. / Alice Dalva  
Ramos.--Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Dirceu Brasil Vieira  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

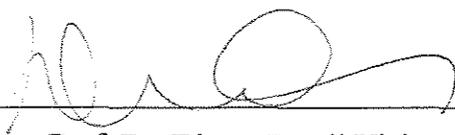
1. Drenagem. 2. Águas pluviais. 3. Hidrologia  
urbana. 4. Bueiros. 5. Escoamento urbano. I. Vieira,  
Dirceu Brasil. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL - FEC**

**ESTUDO DE TRÊS TIPOS DE BOCA DE**  
**LOBO**

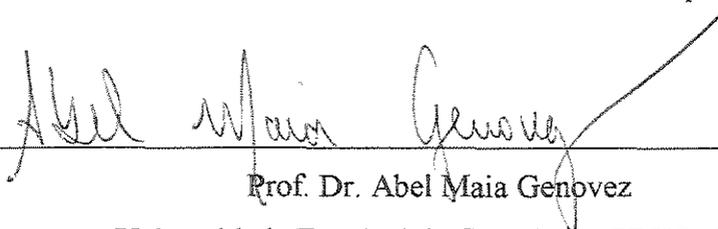
**Alice Dalva Ramos**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, Constituída por:**



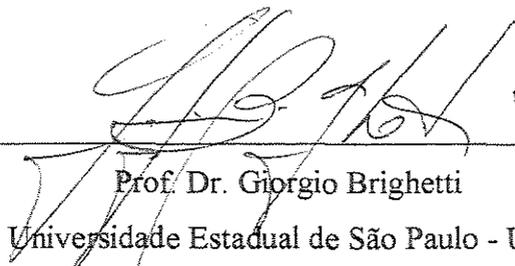
Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira

Presidente e Orientador / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP



Prof. Dr. Abel Maia Genovez

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP



Prof. Dr. Giorgio Brighetti

Universidade Estadual de São Paulo - USP

Campinas, 26 de Fevereiro de 1999

## **Dedicatória**

À minha filha, Izabela Carulina , ao meu marido e toda minha família, pela compreensão, amor e carinho, oferecidos a mim nesta árdua caminhada.

## Agradecimentos

A autora agradece a todos os amigos e companheiros que de maneira direta ou indiretamente colaboraram para realização deste trabalho, em especial :

- Ao Professor Doutor Dirceu Brasil Vieira, pelas orientações prestadas;
- Ao Tecnólogo Wagner Pizani Guidi, pela colaboração e apoio na realização dos levantamentos topográficos, pela atenção, incentivos e ajudas prestadas;
- À todos amigos de trabalho da Prefeitura Municipal de Santa Bárbara d'Oeste, à Secretária de Serviços Urbanos Arquiteta Ketly Polezer Leite, pela compreensão e permissão na realização deste estudo;
- Aos Professores, funcionários e amigos da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP pelas orientações e colaborações prestadas.

“Execute com fé tudo o que decidiu,  
Saboreie a alegria da perseverança,  
Cultive a fé, ore e confie em Deus”.

# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b> .....	v
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	x
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	71
<b>4.1 PLANO GERAL</b> .....	71
<b>4.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BOCAS DE LOBO</b> .....	71

4.2.1	SELEÇÃO.....	71
4.2.2	CARACTERIZAÇÃO.....	74
4.3	MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DA ÁGUA NA SARJETA.....	78
4.4	MEDIÇÃO DA ALTURA DA ÁGUA NA SARJETA.....	79
4.5	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE CAPTAÇÃO.....	80
4.6	CÁLCULO DAS VAZÕES CAPTADAS PELAS BOCAS DE LOBO.....	81
4.6.1	CÁLCULO DA BOCA DE LOBO TIPO - A.....	81
4.6.2	CÁLCULO DA BOCA DE LOBO TIPO - B.....	83
4.6.3	CÁLCULO DA BOCA DE LOBO TIPO - C.....	85
4.7	MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ UTILIZANDO UM CAMINHÃO PIPA.....	87
4.8	CÁLCULO DE $Q_o$ e $V_o$ COM EQUAÇÃO COM E SEM SIMPLIFICAÇÃO.....	87
4.9	DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE $n$ DE MANNING.....	89
4.10	MEDIÇÕES DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS.....	91
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	92
6	CONCLUSÕES.....	117
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
8	ANEXOS.....	124
8.1	ANEXO I.....	125
8.2	ANEXO II.....	137
8.3	ANEXO III.....	144
8.4	ANEXO IV.....	148
8.5	ANEXO V.....	153

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 – Esquema de projeto de drenagem de água pluvial – ( CETESB ( 1986 ), pg. 226 );**
- Figura 02 – Boca de lobo com grade – ( LI, GEYER e BENTON ( 1951 ), pg. 130 );**
- Figura 03 – Boca de lobo com abertura na guia e depressão – ( CETESB (1986 ), pg. 286);**
- Figura 04 – Defletores – (LI, GOODELL e GEYER ( 1954 ), pg. 162 );**
- Figura 05 – Boca de lobo combinada com depressão – ( LI, GEYER e GOODELL (1954 ), pg. 171 );**
- Figura 06 – Solução aproximada da Equação 18 –( LI, GEYER e GOODELL (1954), pg.174);**
- Figura 07 – Canal Vertical de um Canal Aberto – ( LI ( 1954 ), pg. 180 );**
- Figura 08 – Boca de lobo com grade – ( LI ( 1954 ), pg. 182 );**
- Figura 09 – Boca de lobo com abertura na guia – (GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 10);**
- Figura 10 – Boca de lobo com abertura na guia e depressão – ( GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 47 );**
- Figura 11 – Tipos de grades usados na cidade de Baltimore – ( GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 09 );**
- Figura 12 – Boca de lobo com grade e boca de lobo combinada – ( GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 56 );**
- Figura 13 – Curva do método simplificado – (GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), pg. 114 );**
- Figura 14 – Relação entre E e Y – ( WILKEN (1968), pg. 358 );**
- Figura 15 – Capacidade da BOCA DE LOBO TIPO - A – ( WILKEN ( 1968 ), pg. 362 );**
- Figura 16 – Seção transversal da sarjeta – ( WILKEN (1978), pg. 340 );**
- Figura 17 – Capacidade da boca de lobo em l/s por m – ( LINSLEY e FRANZINI ( 1978 ), pg. 596 );**
- Figura 18 – Vazão captada em relação a/d e L/La –( LINSLEY e FRANZINI (1978 ), pg.596);**
- Figura 19 – Boca de lobo combinada sem depressão –DIMENSIONAMENTO ( MÉTODO SIMPLIFICADO ), ( AISSE ( 1982 ), pg. 200 );**
- Figura 20 – Modificação do fluxo captado por uma boca de lobo – ( WOO (1984), pg. 74);**
- Figura 21 – Grade com barras transversais e longitudinais – ( WOO ( 1984), pg. 74 );**
- Figura 22 – Gráfico para obter o valor de C – ( CETESB ( 1986), pg. 288 );**

- Figura 23 – Gráfico para determinar Q/L – ( CETESB ( 1986 ), pg. 289 );**
- Figura 24 – Grelhas com indicações dos limites de escoamento –( CETESB ( 1986), pg. 312 );**
- Figura 25 – Alternativas de posicionamento das grelhas para interceptar 100% das vazões pelas sarjetas – ( CETESB ( 1986 ), pg. 312 );**
- Figura 26 – Gráfico para determinar a vazão escoada da BOCA DE LOBO TIPO – C, CETESB ( 1986 ), pg. 307 );**
- Figura 27 – Boca de lobo com depressão na sarjeta estudada nos modelos 1:3 e 1:1 (dimensões protótipo) – SOUZA ( 1986 ), pg. 11 );**
- Figura 28 - Vazão captada pela boca de lobo  $Q_i$  para declividade longitudinal de 2 % – DEPOTOVIC ( 1987 ), pg. 96 );**
- Figura 29 - Vazão captada pela boca de lobo  $Q_i$  – DEPOTOVIC ( 1987 ), pg. 97 );**
- Figura 30 – Mapa de localização de Santa Bárbara d’Oeste no Brasil e no estado de São Paulo – ( Home page da Prefeitura Municipal de Santa Bárbara d’Oeste );**
- Figura 31 – Mapa de localização das Bocas de Lobo no Jardim Pérola e no Jardim Esmeralda – S.B.O. – ( Mapa da Cidade de Santa Bárbara d’Oeste – sem escala );**
- Figura 32 – Foto das medições de  $Y_o$  e de  $V_o$  utilizando o caminhão pipa;**
- Figura 33 – Foto da Boca de lobo Tipo – A ( Jardim Pérola – S.B.O. );**
- Figura 34 – Foto da Boca de lobo Tipo – B ( Jardim Esmeralda – S.B.O. );**
- Figura 35 – Foto da Boca de lobo Tipo – C ( Jardim Pérola – S.B.O. ); e**
- Figura 36 – Forças que atuam sobre a massa fluida – ( PORTO ( 1998 ) 2ª Parte, pg. 220 ).**

## LISTA DE TABELAS

- Tabela ( 01 )** – Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo – A;
- Tabela ( 02 )** – Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo – B;
- Tabela ( 03 )** – Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo – C;
- Tabela ( 04 )** – Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo–A ( menos as eficiências de 100%);
- Tabela ( 05 )** – Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo–B ( menos as eficiências de 100%);
- Tabela ( 06 )** – Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo–C ( menos as eficiências de 100%);
- Tabela ( 07 )** – Valores Medidos e Calculados da Boca de Lobo Tipo - A (com Caminhão Pipa );
- Tabela ( 08 )** – Valores Medidos e Calculados da Boca de Lobo Tipo - B (com Caminhão Pipa );
- Tabela ( 09 )** – Valores Medidos e Calculados da Boca de Lobo Tipo - C (com Caminhão Pipa );
- Tabela ( 10 )** – Comparação do Coeficiente  $n$  de Manning;
- Tabela ( 11 )** – Comparação da Vazão;
- Tabela ( 12 )** – Comparação da Velocidade;
- Tabela ( 13 )** – Valores do coeficiente de rugosidade  $n$  da fórmula de Manning.  
( PORTO ( 1998 ) – 2<sup>a</sup> Parte, pg. 249 );
- Tabela ( 14 )** – Valores do coeficiente de rugosidade  $n$  da fórmula de Manning para Canais.  
( PORTO ( 1998 ) – 2<sup>a</sup> Parte, pg. 250 );
- Tabela ( 15 )** – Determinação do Fator F ao nível de 5 % de probabilidade;
- Tabela ( 16 )** – Determinação do Fator F ao nível de 1 % de probabilidade;

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $a$  = Altura da depressão na guia , ou altura da fenda na linha da guia nos defletores ( ft.; m );  
 $a$  = Altura da fenda na linha da guia (ft.);  
 $a$  = Aceleração (ft.per sec.per sec.);  
 $A$  = Área da seção transversal do fluxo na sarjeta correspondente a  $y$  (sq.ft.);  
 $A' = A_g$  = Área de abertura entre as barras da grade ( sq.ft =ft<sup>2</sup> ; m<sup>2</sup> );  
 $A_o$  = Área da seção transversal do canal, ou área da seção transversal do fluxo na sarjeta correspondente a  $y_o$  (sq.ft.);  
 $b$  = Largura do defletor (ft.);  
 $c$  = Espaçamento entre defletores, ou largura da fenda (ft.);  
 $C$  = Constante, o valor de  $C$  será determinado pelas Equações 11;  
 $C_o$  = Coeficiente do orifício, 0,67;  
 $C_S$  = Declividade transversal ( % );  
 $C_w$  = Coeficiente de descarga do vertedor, 2,3 (1,25 para SI) ;  
 $d$  = Altura do fluxo captado por  $L_o$  (ft);  
 $d_i$  = Altura do nível de água até a parte de baixo da abertura (ft., m );  
 $d_o$  = Altura efetiva da água no centro da garganta do orifício ( ft., m );  
 $d_l$  = Altura do fluxo captado por  $L$  ( ft.; m );  
 $E = E_F$  = Eficiência da boca de lobo;  
 $f$  = Fator de atrito;  
 $g$  = Aceleração da gravidade, ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  ;  $g = 32,16 \text{ ft/ s}^2$ );  
 $h$  = Desnível ( ft);  
 $h_i$  = Altura da abertura do orifício (ft., m ),  $h_i = T.Sx + a / 12$ ;  
 $h''$  = Altura da abertura da boca de lobo;  
 $I$  = Declividade longitudinal da sarjeta ( m / m );  
 $K$  = Constante , dos testes realizados encontrou-se o valor de  $K= 0,23$ ;  
 $L$  = Comprimento da boca de lobo, ou comprimento da grade ( ft.; m );  
 $L'$  = Comprimento total da grade ( ft.; m );  
 $L_o$  = Comprimento da grade requerido para captar toda água sobre a grade, ou comprimento da abertura na guia para capturar toda água da sarjeta (ft.);

- $L_1$  = Comprimento da transição da depressão à montante da boca de lobo (ft.);  
 $L_2$  = Comprimento da transição da depressão à jusante da boca de lobo (ft.);  
 $L_S$  = Declividade longitudinal ( % );  
 $L_T$  = Comprimento da abertura da boca de lobo;  
 $m$  = Coeficiente determinado experimentalmente,  $m = 4$  ou  $3,33$  para boca de lobo combinada, quando for necessário usar barras transversais para fortalecer a grade, o valor de  $m$  passará a ser  $m = 8$  ou  $6,66$  para boca de lobo combinada;  
 $n$  = Coeficiente de rugosidade de Manning depende do material do canal, ou da sarjeta;  
 $q$  = Descarga que passa sobre a boca de lobo (c.f.s.);  
 $q_1$  = Vazão que passa entre a guia e a primeira fenda da grade (c.f.s.);  
 $q_2$  = Vazão excedente (c.f.s.);  
 $q_3$  = Vazão que passa através da grade (c.f.s.);  
 $Q$  =  $Q_I$  = Descarga ( Vazão ) captada pela boca de lobo (c.f.s.,  $m^3/s$ );  
 $Q_A$  = Vazão média de aproximação ( l/s );  
 $Q_C$  = Vazão que passa sobre a boca de lobo ( l/s );  
 $Q_c$  = Vazão de entrada no vertedor ( c.fs.);  
 $Q_g$  = Vazão de entrada no orifício ( cfs);  
 $Q_I$  = Vazão captada pela boca de lobo ( l/s );  
 $Q_o$  = Vazão no canal , ou na sarjeta a montante da boca de lobo (c.f.s.,  $m^3/s$ );  
 $R$  = Razão entre o total da largura dos espaços vazios entre as barras com a largura da grade, usualmente  $R$  é cerca de  $0,5$  a  $0,6$ ;  
 $R_o$  = Raio hidráulico ( ft.);  
 $s$  =  $S$  = Declividade longitudinal do canal, da rua ou da sarjeta (ft.per ft, m/m);  
 $S_x$  = Declividade transversal do pavimento ( ft/ft , m/m );  
 $T$  = Extensão da água no pavimento ( ft., m );  
 $v$  = Velocidade medida na sarjeta à montante no fim da grade ( ft.per sec.);  
 $V$  = Velocidade média do fluxo na sarjeta a montante no fim da abertura da boca de lobo, ou da grade, onde a altura do fluxo é  $y$ , e  $V = Q_o/A$  (ft. per sec.);  
 $V'$  = Velocidade média de chegada no prisma de água interceptado pela grelha ( m /s );  
 $V''$  = Velocidade do escoamento na sarjeta;  
 $V_o$  = Velocidade média da água na sarjeta (ft. per sec.);

$V_o''$  = Velocidade na qual começa a ocorrer espirramento do escoamento pela grade, é obtida experimentalmente;

$W$  = Largura da grade, largura da depressão, ou largura da área do defletor ( ft.; m );

$W'$  = Largura da sarjeta;

$W_o$  = Largura da vazão excedente ( ft.; m );

$X$  = Comprimento da boca de lobo, da grelha ou do vão livre ( m );

$y$  = Altura do fluxo na guia à montante no fim da abertura da boca de lobo, da grade (ft);

$y'$  = Altura do fluxo sobre a grade na borda afastada da guia (ft);

$y''$  = Altura da lâmina d'água;

$y_o$  = Altura do nível da água na sarjeta medida encostado na guia (ft., m );

$y_l$  = Altura de queda, da superfície da água até a parte inferior da grelha ( m );

$Z$  = Perda de carga na sarjeta (ft.); inverso da declividade e  $Z = \tan \theta_o$ ;

$Z'$  = Perda de carga na transição  $L_1$  da sarjeta (ft.);

$\alpha$  = Ângulo entre defletores e a linha da guia;

$\varepsilon$  = Rugosidade da sarjeta ( m );

$\theta$  = Ângulo entre a vertical e a depressão na superfície da sarjeta;

$\theta'$  = Ângulo entre a vertical e a superfície da rua, na borda da grade afastada da guia; e

$\theta_o$  = Ângulo entre a vertical e a superfície da sarjeta sem depressão;

## RESUMO

O homem, há muito tempo, vem enfrentando problemas provenientes de enchentes nas áreas baixas, com danosas conseqüências ocasionadas pela velocidade das correntes d'água e inundação de partes baixas. Até pouco tempo, os projetos para drenagem urbana limitavam-se ao dimensionamento das tubulações sem a preocupação do estudo detalhado da captação das águas pluviais pelas bocas de lobo. Com o objetivo de oferecer uma contribuição para melhor entendimento deste problema, foi realizado uma pesquisa de campo com o “**Estudo de três tipos de Boca de Lobo**” : BOCA DE LOBO TIPO - **A**, simples com abertura na guia (chapéu) e com depressão; BOCA DE LOBO TIPO – **B**, de grelha com abertura na sarjeta e sem depressão; BOCA DE LOBO TIPO – **C**, combinada com abertura na guia e na sarjeta, e sem depressão. Estas bocas de lobo estão localizadas nos Bairros Jardim Pérola e Jardim Esmeralda na Cidade de Santa Bárbara d'Oeste, Estado de São Paulo, Brasil. Os dados foram coletados entre 1997 e 1998, em dias de chuva, mediu-se a altura da água na guia à montante e à jusante das bocas de lobo estudadas, determinando as vazões captadas pelas bocas de lobo e as velocidades da água nas sarjetas. Também foi utilizado um caminhão pipa com vazão conhecida e determinou-se a altura da água na guia e a velocidade de lançamento na sarjeta. Foi efetuada uma comparação dos resultados obtidos através de medição em campo com os de algumas equações teóricas existentes na literatura, calculou-se também o valor do coeficiente de rugosidade  $n$  de Manning. Concluiu-se que os três tipos de bocas de lobo apresentaram boa capacidade de engolimento, a Equação 35 utilizada para a determinação da velocidade ( $V_o$ ) da água na sarjeta, foi considerada satisfatória apresentando resultados uniformes, e a determinação da vazão na sarjeta através da equação sem simplificação apresentou melhores resultados para os Tipos – A e C, para o Tipo –B a equação simplificada apresentou resultado mais próximo ao medido em campo.

PALAVRAS CHAVES: Drenagem Urbana , Captação de Águas Pluviais, e Boca de Lobo.

## ABSTRACT

For a long time, the man has been facing many problems deriving from inundation in low areas, with damaging consequences occasioned by the velocity of the water's current and the flood of low areas. Until short time ago, the projects of pluvial water's drainage for urban drainage was limited on calculating the tubulation's dimension not concerning on a detailed study of the pluvial water's impounding by street inlets. With the objective of offering a contribution for a better understanding of this problem, it was realized a field research with "**Study of three types of Street Inlets**": Street inlet type – A, Curb-Opening Inlet simple with curb's opening, and with depression; Street inlet type – B, Grate Inlet, with gutter's opening and without depression; Street inlet type – C, Combined Inlet, with curb's opening and grate and without depression. The street inlets are located on districts Jardim Pérola and Jardim Esmeralda in Santa Bárbara D'Oeste city, State of São Paulo, Brazil. These datas were collected between 1997 and 1998, in rainy days, when the water's height was measured upstream and downstream of the street inlets studied, determining the outflow capted by the street inlets and water's velocity in the gutters. It was also used a cask trunk, with it's outflow known, and it was determined the height and the velocity of the water in the curbs. It was done a comparision of the results, by measuring in a field with the resulys of some theoretical equations existent in the literature, and it was also calculated, the Manning's coefficient roughness. It was concluded which the three types of street inlets showed good capacity of the pluvial water's impounding, the Equation 35 used for delimit the water's velocity in the gutters (  $V_o$  ) it was considered satisfactory because it produced uniform results, and the determination of gutter's flow with the equation without simplification, showed better results for the types – A and C, for the type – B the simplificated equation showed a result more near of the one measured in field research.

KEY WORDS: Drainage Urban, Pluvial Water's Drainage, Street Inlets.

# 1 INTRODUÇÃO

As águas pluviais constituem se num sério problema nas áreas urbanas das principais cidades, caracterizado pela formação de enxurradas e acumulo de água nas partes baixas, afetando o tráfego, invadindo residências e causando riscos de vida aos habitantes. A drenagem das águas pluviais é feita pelo sistema de captação e esgotamento das ruas, compreendendo os pavimentos, guias, sarjetas e rede de galerias. Um sistema de galerias de águas pluviais compreende as bocas de lobo, as tubulações, os poços de visitas e estruturas acessórias, sendo projetado com o objetivo de captar e conduzir as águas pluviais até o ponto de despejo, convenientemente localizado, impedindo distúrbios à população por ocasião das chuvas. O estudo dos problemas de captação e esgotamento das águas pluviais nas áreas urbanas deve ser feito por especialistas, buscando soluções hidrológicas e hidráulicas para garantir a eficiência do sistema de drenagem proposto e proteger a população, que na maioria das vezes sofre os efeitos danosos de enchentes.

O problema das inundações está intimamente ligado aos aspectos sanitários envolvidos, bem como, ao desenvolvimento da própria cidade. Um sistema de drenagem urbana de águas pluviais é um serviço público visando o conforto da população, protegendo-a contra a ação das águas pluviais que escoam pela superfície do terreno, provocam a erosão do solo, o solapamento de alicerces, o desabamento de construções e o transporte de sedimentos. As inundações podem também causar doenças, na maioria das vezes de conseqüências bastante sérias, de ordem sanitária. O bom funcionamento do sistema de drenagem urbana é de fundamental importância para a segurança da população, que habita locais sujeitos à enchentes. Para que o sistema de galerias tenha bom funcionamento, todos os parâmetros devem estar adequadamente dimensionados, bem como ser eficiente a admissão das águas pluviais aos coletores, através da estrutura hidráulica conhecida como boca de lobo, que é uma estrutura especial, cuja finalidade é

captar as águas que escoam pelas sarjetas, conduzindo às galerias ou tubulações subterrâneas. A sua eficiência depende da capacidade de esgotamento e é obtida através da relação entre a vazão a montante e a vazão a jusante. A capacidade de esgotamento de uma boca de lobo, depende principalmente do seu tipo, além disso da altura de água no trecho da sarjeta imediatamente a montante da abertura da boca de lobo e de suas dimensões, portanto, para determinação da capacidade de esgotamento de qualquer tipo de boca de lobo, a primeira exigência é se conhecer as características de escoamento em conduto livre da sarjeta. Tais características incluem: a seção transversal, a declividade e a rugosidade da sarjeta e das superfícies do pavimento sobre os quais a água escoam.

## 2 OBJETIVOS

No presente trabalho serão estudadas três tipos de bocas de lobo ( **A**, **B** e **C** ), que são largamente utilizadas em projetos de drenagem urbana: BOCA DE LOBO TIPO – **A**, simples com abertura na guia ( Chapéu ) é uma abertura vertical na guia coberta pôr uma laje de topo, com depressão na sarjeta e localizada em ponto intermediário da sarjeta; BOCA DE LOBO TIPO – **B**, é uma abertura na sarjeta coberta por uma ou mais grelha de barras espaçadas formando aberturas para entrada do fluxo, sem depressão e localizada em ponto intermediário da sarjeta; BOCA DE LOBO TIPO – **C**, combinada com abertura na guia e na sarjeta colocada em uma configuração lado a lado, com grade, sem depressão na sarjeta e localizada em ponto intermediário da sarjeta. Os desenhos com essas bocas de lobo estão no **Anexo I**.

Com o objetivo de determinar o comportamento hidráulico dos referidos tipos de bocas de lobo, foi realizado um conjunto de medições no campo em três bocas de lobo de tipos diferentes, procurando-se determinar o melhor desempenho, bem como, comparar as vazões e velocidades calculadas teoricamente com as encontradas em medições de campo e analisar quais fórmulas teóricas fornecem resultados, que mais se aproximam dos obtidos em campo para as situações estudadas. Aos dados será aplicado o método de Análise de Regressão Linear, um estudo probabilístico, utilizando o modelo para Ajuste ZULLO e ARRUDA ( 1986 ).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O homem há muito tempo vem enfrentando problemas provenientes de inundações decorrentes da concentração do escoamento superficial. A urbanização acelerada observada no mundo no presente século trouxe sérios problemas aos planejadores do meio ambiente urbano. Em particular, no Brasil, a maioria das cidades sofrem grandes prejuízos econômicos e sociais em função das inundações, que ocorrem na estação chuvosa. Tais inundações causam grandes prejuízos materiais, principalmente em baixadas de regiões habitadas, com residências, comércio e indústrias, podendo assumir características catastróficas, ao ceifar vidas humanas. Com o crescimento das cidades e o conseqüente aumento das áreas impermeabilizadas, os problemas foram se agravando, são necessários sistemas de drenagem de águas pluviais eficientes, com a finalidade de captar estas águas escoadas superficialmente nas vias urbanas, conduzindo-as a local de descarga adequado. A visão moderna acerca da problemática da drenagem urbana envolve o conceito de planejamento urbano integrado ao sistema de drenagem, com o desenvolvimento de um plano diretor de drenagem urbana.

Um sistema de drenagem urbana, composto de sarjetas, boca de lobo, galerias, poço de visita e estruturas especiais, como mostrado na Figura 01. Entre estes componentes, as bocas de lobo por serem responsáveis pela captação da água pluvial escoada pelas sarjetas, são fundamentais na eficiência do sistema de drenagem urbanas.

Um dos primeiros trabalhos experimentais sobre o assunto foi conduzido por **LI, GEYER e BENTON (1951)**, pesquisadores do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Johns Hopkins, que analisaram o comportamento hidráulico das Bocas de Lobo na captação das águas de chuvas e publicaram o primeiro artigo sobre captação de água de

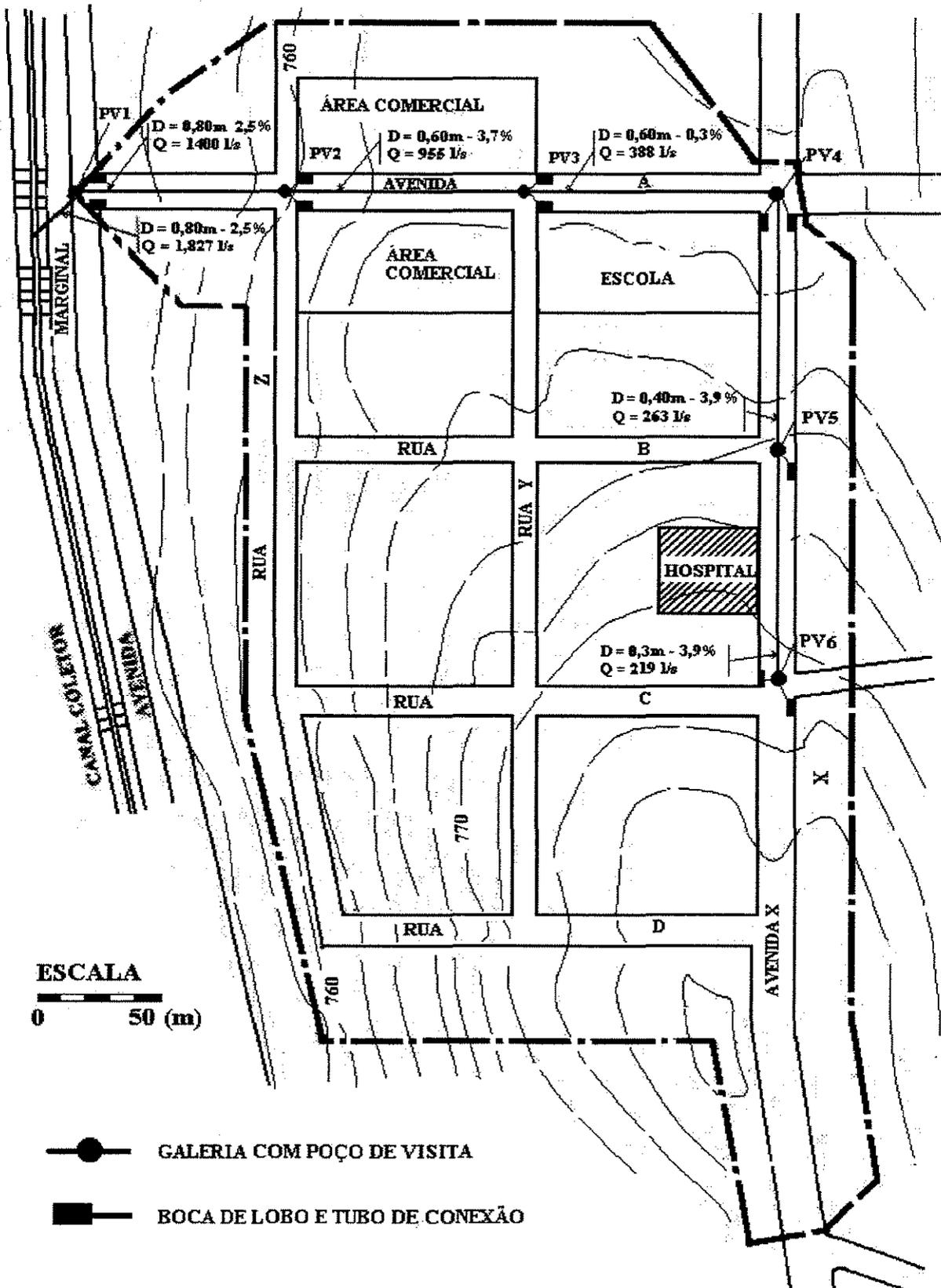
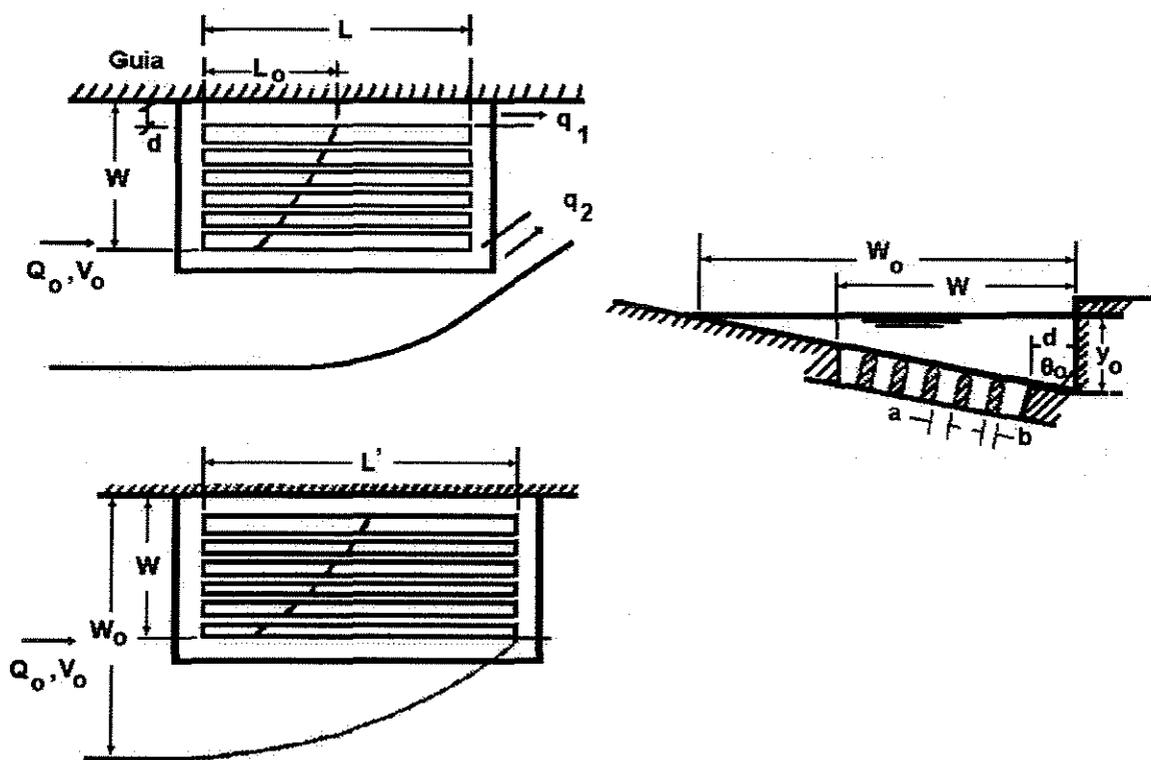


Figura 01 – Esquema de projeto de drenagem de água pluvial – (CETESB (1986), pg. 226)

chuva pela boca de lobo, basearam-se os autores em boca de lobo com abertura na sarjeta, tendo grade com barras longitudinais e sem depressão, este trabalho baseou-se na BOCA DE LOBO TIPO – B, conforme apresentada na Figura 02. Neste primeiro trabalho, foram obtidas fórmulas a partir de testes e de modelos. Os testes de campo foram feitos para comprovar a confiabilidade do modelo feito na escala 1:3, testado em laboratório. Em todos os casos, os resultados do protótipo e do modelo tiveram um excelente ajuste, o desvio médio da capacidade da boca de lobo foi inferior que 1 por cento. Portanto, os modelos de bocas de lobo para drenagem na escala 1:3, em grande parte produz resultados confiáveis.



**Figura 02 – Boca de lobo com grade – ( LI, GEYER e BENTON ( 1951 ), pg. 130 )**

Estes autores desenvolveram alguns parâmetros para projeto, tendo como base que em tal tipo de boca de lobo o fluxo da água pode ocorrer de três maneiras: a) Fluxo que passa entre a guia e a primeira fenda da grade,  $q_1$ . Este fluxo tem a largura  $d$  (distância entre a guia e a primeira abertura da grade em pé) conforme mostrado na Figura 02. Geralmente o fluxo  $q_1$  é desprezível em praticamente todas condições de campo; b) Fluxo que passa sobre a parte central da grade, e tem largura  $W$ . Com base nos seus experimentos os autores concluíram que

o mínimo comprimento necessário para captar o fluxo que passa sobre a grade obedece a seguinte relação:

$$\frac{L_o}{V_o} \sqrt{\frac{g}{y_o}} = m \quad (01)$$

Onde :

$L_o$  = comprimento da grade requerido para captar toda água sobre a grade (ft.);  $V_o$  = velocidade média da água na sarjeta (ft. per sec.);  $g$  = aceleração da gravidade (ft. per sec. per sec. );  $y_o$  = altura do nível da água na sarjeta encostado na guia (ft.); e  $m$  = coeficiente determinado experimentalmente ,  $m = 4$ , quando for necessário usar algumas barras transversais para fortalecer a grade, o valor de  $m$  passará a ser  $m = 8$ .

Para captar toda a água que passa sobre a grade é necessário que:

$$L \geq L_o = mV_o \sqrt{\frac{y_o}{g}} \quad (02)$$

Onde:

$L$  = comprimento da boca de lobo (ft.), quando  $L < L_o$  a grade torna-se muito ineficiente; e **c)** Fluxo que passa depois da última fenda da grade,  $q_2$  (vazão excedente) , este fluxo tem largura  $W_o$ .

O mínimo comprimento necessário para captar o fluxo  $q_2$  será  $L'$  ( comprimento total da grade para captar todos fluxos ( ft.)), como na Figura 02 , os testes foram realizados para determinar  $L'$  com os seguintes limites  $V_o / \sqrt{(g.y_o)}$  até 3.5; com  $W / (y_o.tan\theta_o)$  entre 1 / 2 a 4/5; e com  $tan\theta_o$  igual a 12 e 24. Para casos onde a declividade da rua é uniforme próximo a boca de lobo, os autores obtiveram a seguinte relação para determinar  $L'$ :

$$\frac{L'}{V_o} \sqrt{\frac{g}{y_o - W / \tan\theta_o}} = 1,2 \tan\theta_o \quad (03)$$

Onde :

$L'$  = comprimento total da grade , requerido para captar as outras porções dos fluxos (ft.);  $W$  = largura da grade (ft.);  $\theta_o$  = ângulo entre a seção inclinada da rua e a vertical;  $q_2$  = vazão excedente (c.f.s.).

Os autores adotaram os seguintes limites para os testes realizados com  $L < L'$  e com  $V_0 / \sqrt{(g \cdot y_0)}$  até 3; com  $W / (y_0 \cdot \tan \theta_0)$  entre 1 / 2 a 4 / 5; com  $L' / L$  de 1 a 3; e com  $\tan \theta_0$  igual a 12 e 24. Com base nisso obteve-se a seguinte relação para determinar  $q_2$ :

$$q_2 = \frac{1}{4} (L' - L) \sqrt{g} \left( y_0 - \frac{W}{\tan \theta_0} \right)^{3/2} \quad (04)$$

Para desenvolverem esta pesquisa LI, GEYER e BENTON ( 1951 ), utilizaram a fórmula de Manning ( desenvolvida no **Anexo II** ), para cálculo da vazão em canal aberto:

$$Q_0 = \frac{1,5\sqrt{s}}{n} A_0 R_0^{2/3} \quad (05)$$

Onde :

$Q_0$  = vazão no canal (c.f.s.);  $s$  = declividade longitudinal do canal (ft.per ft.);  $n$  = coeficiente de rugosidade depende do material do canal;  $A_0$  = área da seção transversal do canal (sq.ft.); e  $R_0$  = raio hidráulico ( ft.).

Adotando a declividade transversal como sendo uniforme, os autores obtiveram as fórmulas:

$$y_0 = 1,326 \frac{(1 + \sec \theta_0)^{1/4}}{(\tan \theta_0)^{5/8}} \left( \frac{Q_0}{\sqrt{s}/n} \right)^{3/8} \quad (06)$$

$$V_0 = 1,14 \frac{(\tan \theta_0)^{1/4}}{(1 + \sec \theta_0)^{1/2}} \left( \frac{\sqrt{s}}{n} \right)^{3/4} Q_0^{1/4} \quad (07)$$

Observaram ainda que nos testes em bocas de lobo com grade de barras transversais em sarjetas sem depressão, a capacidade de captação é muito baixa.

Os pesquisadores LI, GEYER e SORTEBERG (1951) trabalhando com bocas de lobo de abertura na guia, com ou sem depressão na sarjeta , BOCA DE LOBO TIPO – A, desenvolveram e publicaram o segundo artigo sobre a pesquisa de hidráulica da captação de

águas pluviais por boca de lobo. Os autores utilizaram modelos na escala 1:3 conforme apresentado na Figura 03.

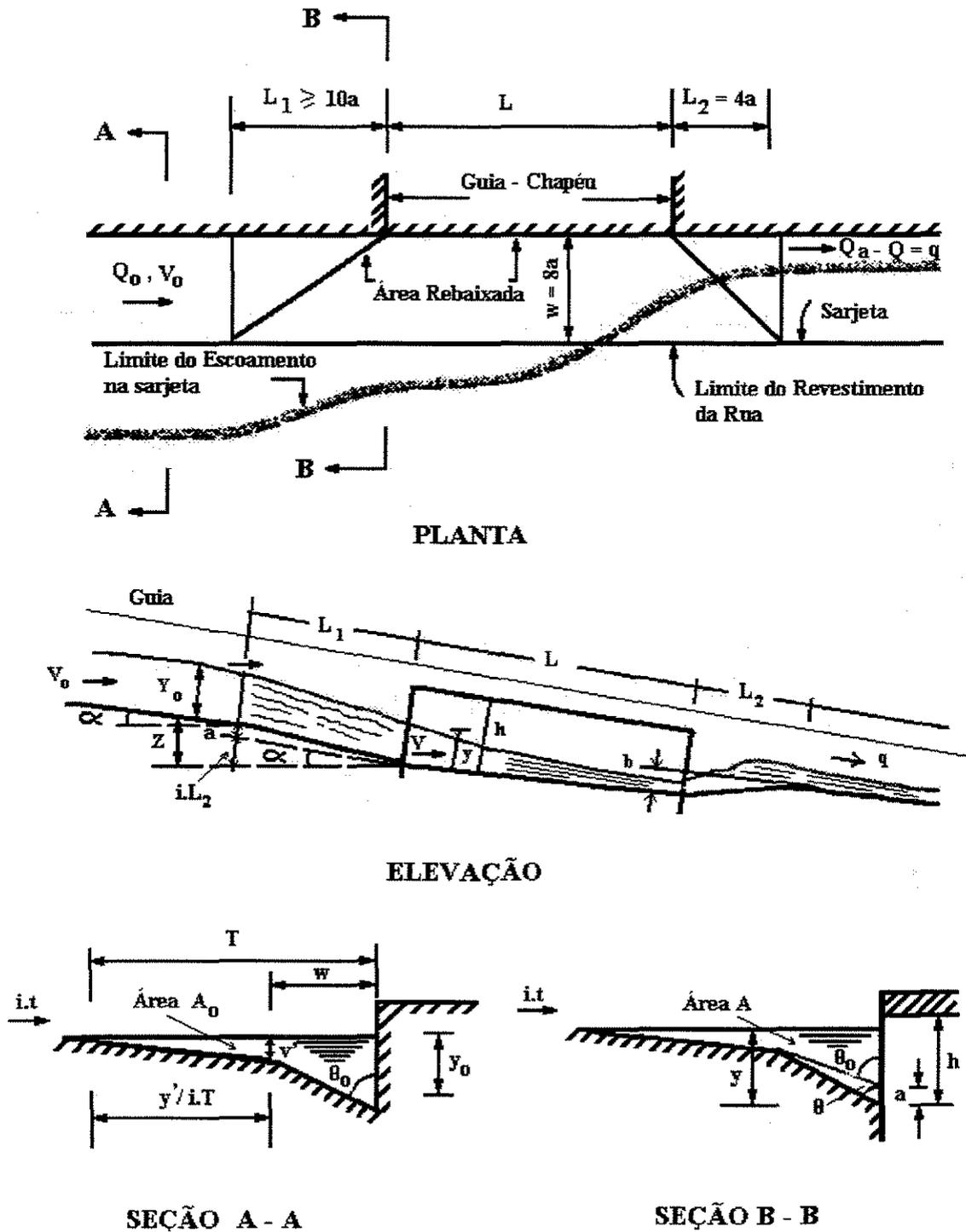


Figura 03 – Boca de lobo com abertura na guia e depressão – ( CETESB ( 1986 ), pg. 286 ).

Os autores analisaram a boca de lobo simples com abertura na guia com depressão na sarjeta, conforme Figura 03, com a depressão  $a$ , altura  $y$  a montante da abertura será diferente da altura da água na sarjeta  $y_0$ , devido a presença da depressão a água é geralmente bloqueada perto do fim da abertura da boca de lobo à jusante, na forma de um ressalto hidráulico, isto provoca um aumento do fluxo que entra na boca de lobo.

Segundo os autores o valor de  $y$  pode ser calculado com os elementos do fluxo na sarjeta. Pelo princípio de conservação de energia tem-se:

$$\frac{V_0^2}{2.g} + y_0 + Z = \frac{V^2}{2.g} + y + Z' \quad (08)$$

Onde :

$Z$  = perda de carga na sarjeta (ft.), inverso da declividade ( $Z = \tan\theta$ );  $y$  = altura do fluxo na guia à montante no fim da abertura da boca de lobo (ft);  $Z'$  = perda de carga na transição  $L_1$  da sarjeta (ft.).

A energia na transição é praticamente a mesma que na declividade longitudinal da rua; e se  $s$  = declividade da rua (ft.per ft.) é uniforme; a perda de carga na transição será  $Z' = s.L_1$ ; então  $Z = s.L_1 + a$ ,  $V_0 = Q_0/A_0$  e  $V = Q_0/A$ , obteve a seguinte equação :

$$\frac{Q_0^2}{2.g.A^2} + y = \frac{Q_0^2}{2.g.A_0^2} + y_0 + a \quad (09)$$

Onde :

$V$  = velocidade média do fluxo na sarjeta a montante no fim da abertura da boca de lobo (ft. per sec.);  $A$  = área da seção transversal do fluxo na sarjeta correspondente a  $y$  (sq.ft.);  $a$  = altura da depressão na guia (ft.).

Como a área da seção transversal do fluxo é determinada pela altura de água na sarjeta,  $y$ , então o valor de  $y$  pode ser determinado através da Equação 09.

LI, GEYER e SORTEBERG (1951), desenvolveram com base em dados experimentais, algumas relações para determinação da quantidade de águas de chuva captada pela boca de lobo estudada. Os testes foram feitos no modelo na escala 1:3 e com  $V^2/g.y$  entre 2 a 9; com

declividade longitudinal da rua entre 0,5 a 8 por cento;  $L/a$  entre 8,7 a 26;  $\tan\theta$  igual a 4,8 e 6,0 (resultante de  $W=8'$  a com  $\tan\theta_0 = 12$  e 24);  $L_2/a = 4$  e  $L_1/a = 10$ .

A descarga captada pela boca de lobo,  $Q$ , pode ser determinada pela Equação 10:

$$\frac{Q}{L.y\sqrt{g.y}} = K + C \quad (10)$$

Onde :

$Q$  = descarga captada pela boca de lobo (c.f.s.);  $\theta$  = ângulo entre a seção inclinada da rua e a vertical ( com depressão);  $L_1$  = comprimento da transição da depressão a montante da boca de lobo (ft.);  $L_2$  = comprimento da transição da depressão à jusante da boca de lobo (ft.);  $K$  e  $C$  = constantes , dos testes realizados encontrou-se o valor de  $K=0,23$  e o valor de  $C$  será determinado pelas Equações 11 :

$$C = \frac{0,45}{1,12^M} \quad (11)$$

$$M = \frac{L.F}{a.\tan\theta} \quad (11a)$$

$$F = \frac{V^2}{g.y} \quad (11b)$$

Citam os autores que toda fórmula empírica como estas equações, podem ser usadas com confiança somente para condições semelhantes a dos testes que foram obtidas. Se as condições atuais de campo são diferentes da condição média apresentadas no estudo, conforme Figura 03 e, como a capacidade de uma boca de lobo muda com a mudança da altura da depressão e com a declividade da rua, cada boca de lobo deve ser estudada independentemente.

Os professores e pesquisadores da Universidade de Johns Hopkins , **LI, GOODELL e GEYER (1954)**, desenvolveram e publicaram um artigo em que sugerem a colocação de fendas na sarjeta em frente a abertura da guia (boca de lobo simples). Os topos entre as fendas são chamados defletores (pois, desviam o fluxo d'água para dentro da boca de lobo), na Figura 04 tem-se o tipo de defletor de boca de lobo que foi analisado.

Os testes realizados pelos autores mostraram que os defletores de boca de lobo aumentam a capacidade de captação do fluxo. No caso de boca de lobo de abertura na guia, sem depressão a capacidade é dada pela equação semelhante a Equação 10 , como não existe depressão a constante  $C$  terá valor nulo, e a constante  $K$  terá valor entre 0,20 a 0,23, portanto:

$$\frac{Q}{Ly_0\sqrt{g \cdot y_0}} = 0,20 \text{ a } 0,23 \quad (12)$$

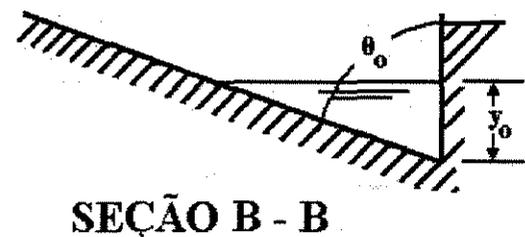
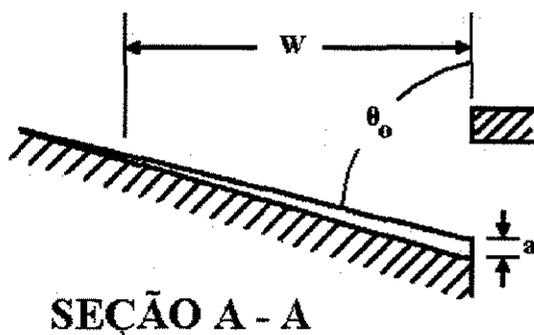
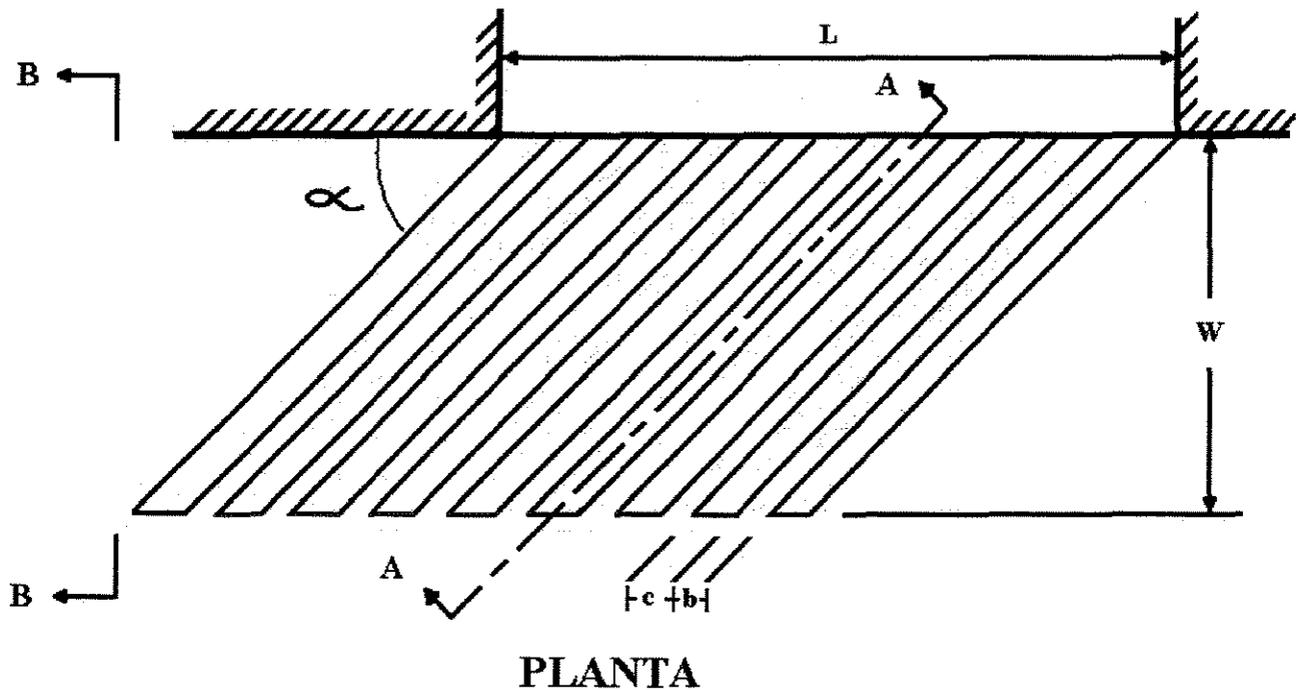


Figura 04 – Defletores – ( LI, GOODELL e GEYER ( 1954 ), pg. 162 )

Os autores utilizaram nos testes defletores em boca de lobo de abertura na guia com  $\alpha = 45^\circ$  e  $\tan\theta=18$ . Determinaram a capacidade da boca de lobo pela largura da boca,  $Q/L$  através da Equação 13:

$$\frac{Q}{L.y_0.\sqrt{g.y_0}} = 0,058.\left(\frac{c}{b}\right)^{1/20} \frac{\sqrt{s}}{n} \sqrt{\frac{W}{L}} \quad (13)$$

Onde :

$a$  = Altura da fenda na linha da guia (ft.);  $b$  = largura do defletor (ft.);  $c$  = espaçamento entre defletores, ou largura da fenda (ft.);  $\alpha$  = ângulo entre defletores e a linha da guia. O número de fendas ( $N$ ) entre os defletores será determinado pela Equação 14:

$$N = \frac{L.\sin\alpha}{b+c} \quad (14)$$

LI, GOODELL e GEYER ( 1954 ), conseguiram aumentar a capacidade de captação da boca de lobo sem depressão utilizando os defletores, pois com a Equação 13 obteve-se valor de  $Q/L$  superior ao encontrado na Equação 12 .

Em 1954 outro estudo foi publicado por **LI, GEYER e GOODELL (1954)**, que apresentaram uma análise experimental do comportamento hidráulico de boca de lobo combinada e com depressão na sarjeta, BOCA DE LOBO TIPO – C. O método desenvolvido pelos autores, aplica-se somente para boca de lobo combinada com depressão em que a grade tenha o mesmo comprimento da abertura da guia e esteja localizada ao lado encostado a ela conforme mostra a Figura 05.

Com a depressão na sarjeta os valores de  $V$  e  $y$  na entrada da boca de lobo são diferentes de  $V_0$  e  $y_0$ , para calcular os valores de  $V$  e  $y$  foi utilizado a equação de energia, Equação 09. O fluxo da água passa na abertura da grade de três maneiras, como mostrado na Figura 05: **a)** Fluxo entre a guia e a primeira abertura da grade, que é geralmente muito pequena e pode ser ignorado na prática; **b)** Fluxo que passa sobre a grade, que para elimina-lo é necessário que a largura da grade  $L$ , seja igual ou maior que a largura  $L_0$  que é dado pela Equação 15:

$$L_0 = mV \sqrt{\frac{y}{g}} \tag{15}$$

Onde:

$V = Q_0 / A$  (ft. per sec.); c) Fluxo que passa fora da última abertura da grade,  $q_2$ .

Para elimina-lo, a largura da grade  $L$  deverá ser igual ou maior que a largura  $L'$  que é dada pela Equação 16:

$$L' = 1,2V \cdot \tan \theta \sqrt{\frac{y - \frac{W}{\tan \theta}}{g}} \tag{16}$$

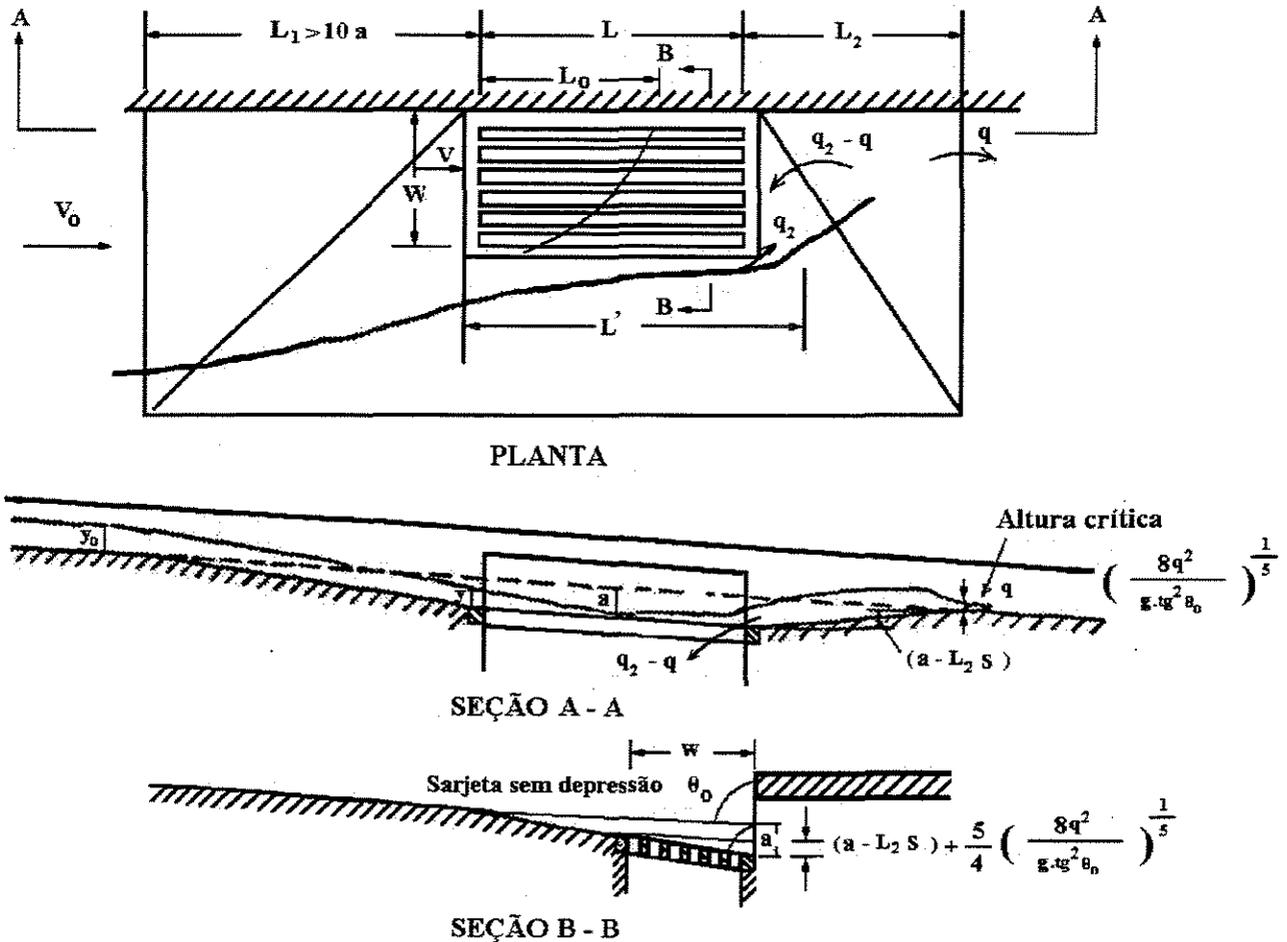


Figura 05 – Boca de lobo combinada com depressão – ( LI, GEYER e GOODELL ( 1954 ), pg. 171 )

Se o comprimento da grade  $L$  é menor que  $L'$ , o fluxo  $q_2$  que passa fora da última abertura da grade será dado pela Equação 17:

$$q_2 = \frac{1}{4} \cdot (L' - L) \cdot \sqrt{g} \cdot \left( y - \frac{w}{\tan \theta} \right)^{3/2} \quad (17)$$

Devido ao acúmulo de água à jusante, no fim da depressão (Ressalto Hidráulico), parte de  $q_2$  entrará pela grade e parte entrará pela abertura na guia. Conforme indicado pelos autores na Figura 05, o líquido transportado sobre a boca de lobo,  $q$ , será menor que  $q_2$ . A descarga que entra na boca de lobo ( $q_2 - q$ ) e poderá ser aproximadamente calculada pela Equação 18:

$$q_2 - q = 0,226 R \cdot \sqrt{g} \cdot \tan \theta \left[ (a - L_2 \cdot S) + \frac{5}{4} \left( \frac{8q^2}{g \cdot \tan^2 \theta} \right)^{1/5} \right]^{5/2} \quad (18)$$

Onde:

$q$  = Descarga que passa sobre a boca de lobo (c.f.s.);  $R$  = razão entre o total da largura dos espaços vazios entre as barras com a largura da grade. Usualmente  $R$  é cerca de 0,5 a 0,6. A solução aproximada da Equação 18 foi apresentada pelos autores graficamente na Figura 06.

Segundo LI, GEYER e GOODELL ( 1954 ), quando a grade de barra longitudinal é usada em boca de lobo combinada com depressão, obtém-se o tipo mais eficiente entre todos os estudados neste artigo. Em lugares onde a depressão na sarjeta não é desejável, como no caso de bocas de lobo ao longo de rodovias expressas, ao longo de avenidas ou ruas urbanas onde os veículos trafegam muito próximo da guia, a solução poderá ser usar defletores em bocas de lobo combinadas localizadas em ruas que possuam pequenas declividades.

LI (1954), apresentou uma teoria hidráulica para projetos de bocas de lobo para captação de águas de chuva. A capacidade de muitas bocas de lobo para captação de água de chuva pode ser baseada comparando o fluxo que entra na boca de lobo com o fluxo desviado da

abertura. Assim fórmulas foram desenvolvidas para projetar BOCAS DE LOBO DOS TIPOS – A, B e C. As fórmulas foram substanciadas com numerosos dados de testes realizados pelo autor, em modelos na escala 1:2 e 1:3 e os resultados dos modelos foram checados com testes realizados em campo. Os tipos de boca de lobo mais eficientes são as combinadas e as de grade. Em ambos casos, a grade deve ter somente barras longitudinais. Quando o perfil da rua é íngreme e a depressão na sarjeta é considerada indesejável por motivo de segurança, principalmente em auto-estradas onde não é recomendado a utilização de depressão na sarjeta, nestas situações as bocas de lobo com abertura na guia e com defletores diagonal na sarjeta podem ser usadas.

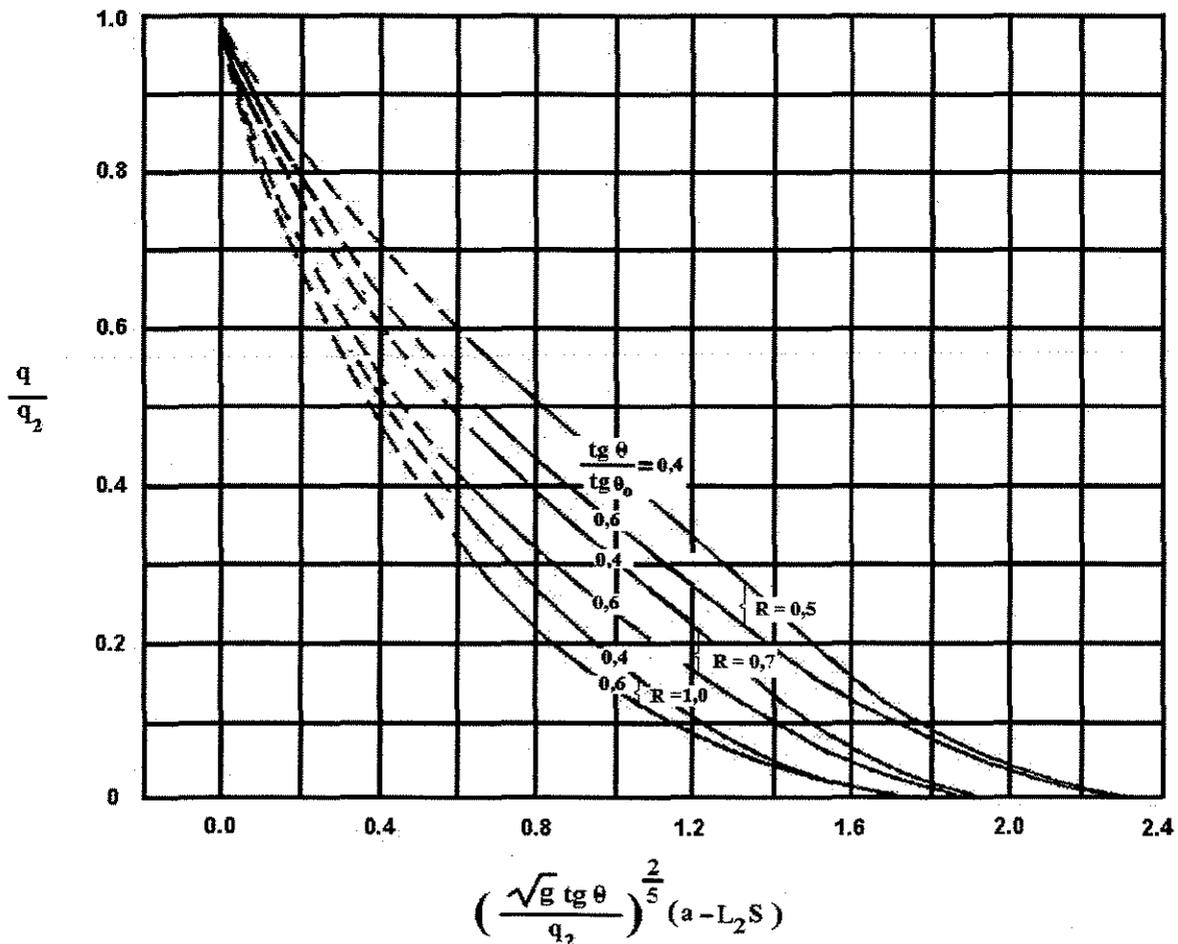
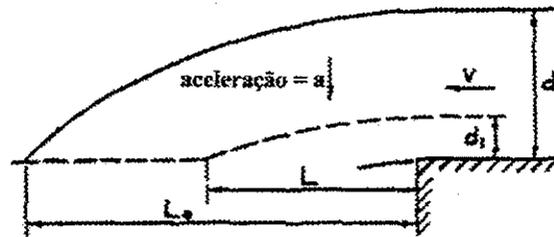


Figura 06 – Solução aproximada da Equação 18 – ( LI, GEYER e GOODELL ( 1954 ), pg. 174)

Estudando a teoria hidráulica, o autor considerou o fluxo no fim de uma canal aberto como mostrado na Figura 07, assumindo a distribuição uniforme da velocidade no canal, a largura  $Lo$  pode ser obtida da seguinte forma:



**Figura 07 – Corte Vertical de um Canal Aberto** – (LI ( 1954 ), pg. 180 )

Assumindo:

$$Lo = vt \quad d = \frac{at^2}{2}$$

Para se obter o valor de  $Lo$  utilizou a Equação 19 :

$$Lo = v \cdot \sqrt{\frac{2d}{a}} \quad (19)$$

Onde :

$v$  = velocidade media na sarjeta a montante no fim da grade (ft. per sec.);  $d$  = altura do fluxo captado por  $Lo$  (ft);  $a$  = aceleração (ft.per sec.per sec.). O autor afirma que quando existir uma abertura de largura  $L$  menor que  $Lo$ , a altura do fluxo  $d_1$  na entrada da abertura é dada pelas Equações 20:

$$L = v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot d_1}{a}} \quad (20)$$

$$\frac{d_1}{d} = \left( \frac{L}{Lo} \right)^2 \quad (20 a)$$

Onde :

$d_1$  = Altura do fluxo captado por  $L$  (ft). Estas equações foram usadas pelo autor para derivação das fórmulas de capacidade de boca de lobo.

No estudo realizado por LI ( 1954 ), em boca de lobo com grade de barras longitudinais em sarjetas retas, sem depressão local, conforme mostrado na Figura 08 , o transporte da água sobre a boca de lobo pode ocorrer de três maneiras: **a)** O fluxo que passa entre a guia e a primeira abertura da grade é sempre muito pequeno, podendo ser desprezada na prática. **b)** O fluxo que passa fora da última abertura  $q_2$ . Em seus estudos o autor para eliminar  $q_2$  encontrou um comprimento  $L'$  da grade requerido para  $q_2 = 0$  . Dos testes realizados para casos com largura de fluxo na sarjeta de 25 a 100 por cento maior que a largura da grade, a fórmula encontrada foi a seguinte :

$$\frac{L'}{V_0} \sqrt{\frac{g}{y'}} = 1,2. \tan \theta' \quad (21)$$

Onde :

$y'$  = altura do fluxo sobre a grade na borda afastada da guia (ft);  $\theta'$  = ângulo entre a vertical e a superfície da rua, na borda da grade afastada da guia. Para casos onde  $L$  é menor que  $L'$ , pode-se estimar  $q_2$  pela Equação 22:

$$q_2 = \frac{1}{4}(L'-L)y'\sqrt{g \cdot y'} \quad (22)$$

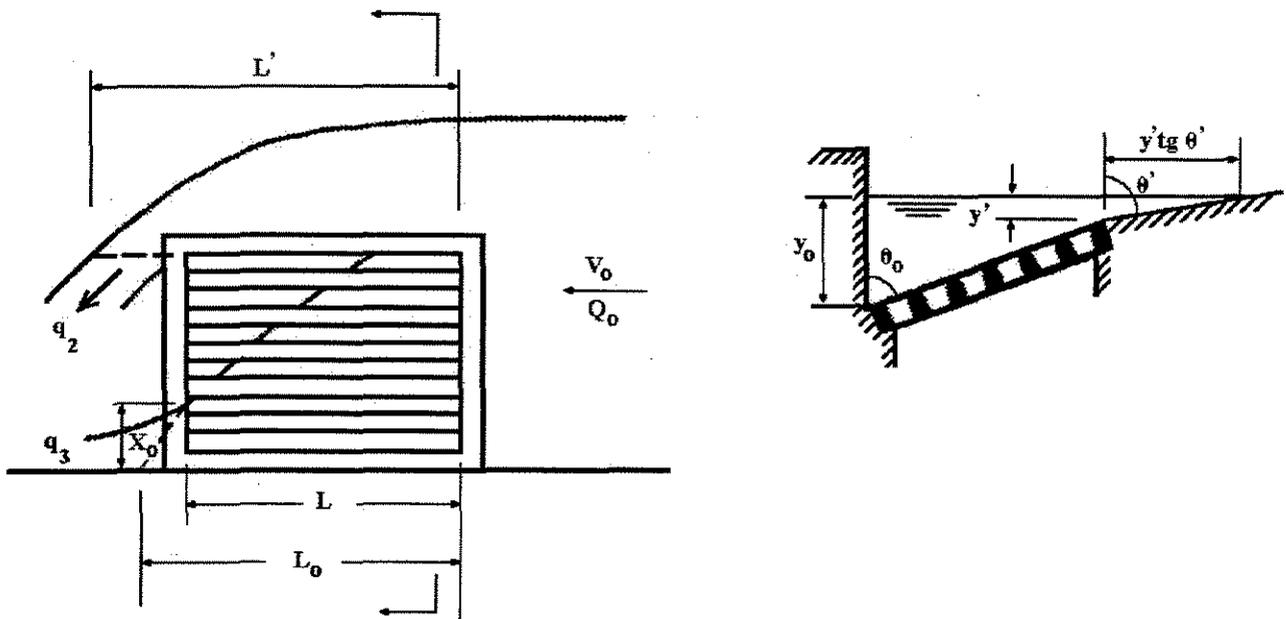


Figura 08 – Boca de lobo com grade – (LI ( 1954 ), pg. 182 )

c) O autor, para eliminar o fluxo que passa sobre a grade  $q_3$ , determinou que o comprimento da grade  $L$  deve ser maior que o comprimento  $Lo$ , conforme apresentado na Figura 08, onde  $Lo$  é determinado pela Equação 01. Para as grades curtas, o fluxo  $q_3$  pode ser estimado pela Equação 23:

$$q_3 = Qo \left( 1 - \frac{L^2}{Lo^2} \right)^2 \quad (23)$$

Onde :

$q_3$  = Vazão que passa através da grade (c.f.s.).

Estudando a BOCA DE LOBO TIPO – C, LI (1954) analisou que se a abertura na guia é igual a da grade e estiver colocada ao lado da mesma, o único efeito sobre o fluxo é a redução do comprimento  $Lo$ . A abertura na guia somente serve como ajuda quando a grade na sarjeta estiver obstruída e o fluxo for captado pela abertura na guia. A capacidade da BOCA DE LOBO TIPO – C pode ser determinada da mesma forma que a BOCA DE LOBO TIPO – B. Nos testes feitos em boca de lobo com grade de ferro fundido, o valor de  $m$  da Equação 01 sofreu variações. Obteve-se um menor valor para  $m$  ( $m = 3,33$ ) ao invés de 4, ou 6,66 ao invés de 8, se for utilizadas algumas barras transversais.

Analisando a BOCA DE LOBO TIPO – A, o autor concluiu que, a capacidade deste tipo de boca de lobo, geralmente é menor que BOCA DE LOBO TIPO – B com barras longitudinal e depressão. O método de cálculo deste tipo de boca de lobo foi desenvolvido no segundo trabalho realizado pelos pesquisadores LI, SORTEBERG e GEYER (1951), sobre “Fluxo em boca de lobo de abertura na guia”.

**GEYER, BENTON e LI (1956)**, formaram um comitê de professores e engenheiros, através do departamento de engenharia sanitária e recursos hídricos da Universidade de Johns Hopkins, para conduzir uma pesquisa de drenagem urbana de águas pluviais, fornecendo importantes informações sobre hidráulica das bocas de lobo. Os trabalhos foram desenvolvidos durante os anos de 1.949 até 1.955, financiado pela Cidade de Baltimore e a Comissão Estadual de Estradas de Maryland, para pesquisar problemas de drenagem de águas de chuvas. O principal objetivo na compilação de todo material pesquisado durante vários anos em um livro,

foi a de apresentar informação sobre bocas de lobo para captação de água de chuva nas formas que elas são realmente usadas, descrevendo os vários tipos de bocas de lobo e apresentando os dados e formulações para determinar a capacidade hidráulica e o comportamento das mesmas. Neste trabalho, os autores discutiram os vários tipos de bocas de lobo existentes na cidade de Baltimore, apresentando os desenhos e descrevendo todo o trabalho experimental realizado, mostrando tabelas de dados usadas para comparar os diferentes tipos de bocas de lobo, também são apresentados 154 gráficos com curvas de todos tipos de bocas de lobo estudados, descrevendo os métodos usados para avaliar as curvas, e apresentando um rápido método gráfico para estimar a capacidade das bocas de lobo quando as curvas não estão disponíveis ou uso de equações complexas não é garantido.

Os pesquisadores classificaram as bocas de lobo em quatro grupos: Boca de lobo de abertura na guia, Boca de lobo de abertura na sarjeta, Boca de lobo combinada, Bocas de lobo múltiplas. Cada tipo de boca de lobo poderá ter muitas variações: quanto à localização, com ou sem depressão da sarjeta, ou quanto a utilização ou não de defletores. Nos testes de laboratórios realizados pelos pesquisadores, foram utilizados modelos de ruas nos quais fosse possível variar a declividade transversal e longitudinal. Os modelos de bocas de lobo utilizados foram feitos de madeira nas escalas entre 1:2 a 1:4 e adaptados ao suprimento limitado de água, disponível para os testes. Também foram feitos cuidadosos testes nos protótipos para verificar a precisão dos modelos.

A seguir será apresentado um breve resumo de apenas três tipos de bocas de lobo estudadas pelos referidos autores (anteriormente definidas como BOCAS DE LOBO TIPOS – A, B e C):

**a) BOCA DE LOBO TIPO – A**, conforme apresentado na Figura 09, os autores desenvolveram 10 curvas (da 21 a 30). Variando o comprimento  $L$  de 4.5, 5, 6, 7.5 e 10 fts., a declividade transversal em 1:18 e 1:24, a altura da depressão de 2,5 polegadas, com largura de 4 pés, o coeficiente de Manning utilizado foi  $n = 0,013$ . Para o comprimento  $L = 6$  pés, foram elaborados gráficos, em função da vazão na sarjeta  $Q_0$ , da declividade longitudinal da rua e da declividade transversal, obtêm-se o valor de  $Q / Q_0$  em %, um dos gráficos está apresentado na Figura 10.

**b) BOCA DE LOBO TIPO – B**, os autores desenvolveram gráficos (curva), utilizando vários tipos de grades apresentadas na Figura 11. Conforme pode ser observado na

Figura 12, para boca de lobo com abertura na sarjeta, a Curva B é aplicada para o tipo de grade n° 6 ( barras longitudinais ) e a curva D é aplicada para as grades n° 1, 2, 3, ou 1B ( onde a n° 1 é grade de barras transversais ). c) BOCA DE LOBO TIPO – C, os autores concluíram que o valor de  $Q / Q_0$  pode ser obtido utilizando-se a Curva A ou C da Figura 12, onde a curva A é para o tipo de grade n° 6 ( barras longitudinais ) e a curva C é aplicada para as grades n° 1, 2, 3, ou 1B ( onde a n° 1 e 1B são grade com barras transversais ).

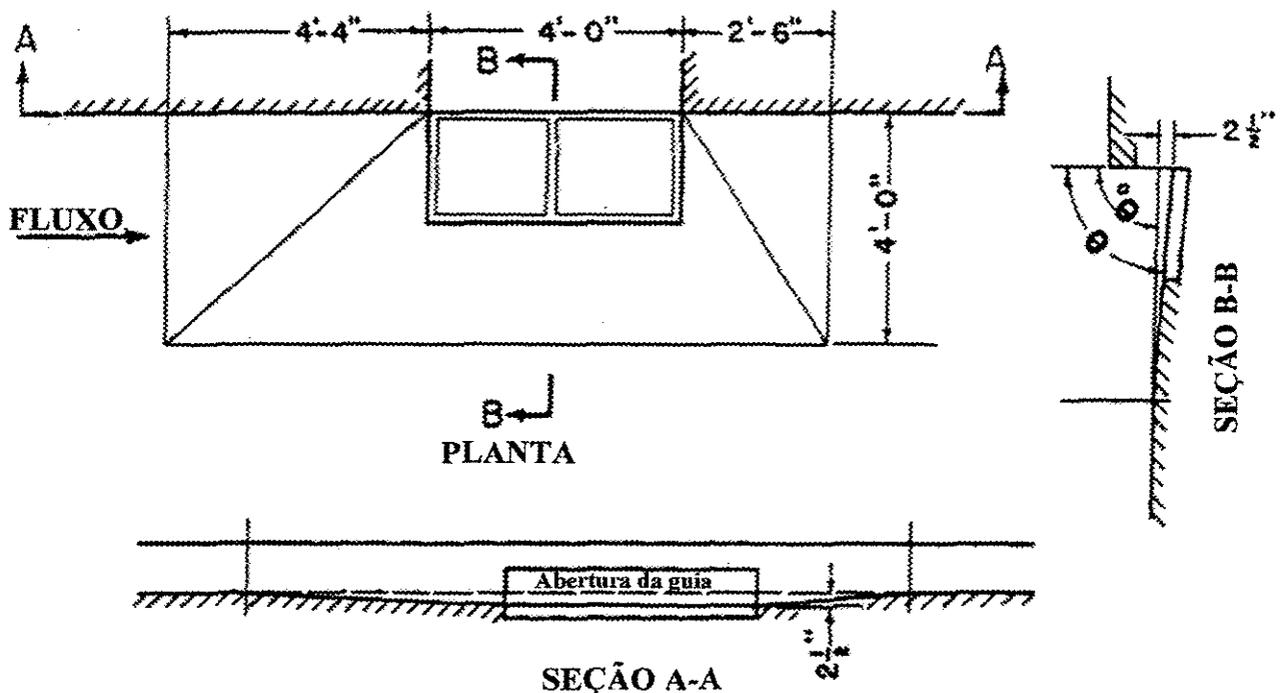


Figura 09 – Boca de lobo com abertura na guia – (GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 10).

GEYER, BENTON e LI (1956), para desenvolverem os cálculos destas curvas, utilizaram-se das equações desenvolvidas nos cinco trabalhos citados anteriormente. Na Figura 05 foram definidos os símbolos utilizados nas equações. As soluções da altura e da velocidade do fluxo na sarjeta foram baseadas na formula de Manning modificada por C.F. IZZARD, Equação 24 ( desenvolvida no Anexo II ):

$$Q_0 = 0,56 \frac{Z}{n} s^{1/2} y^{8/3} \quad (24)$$

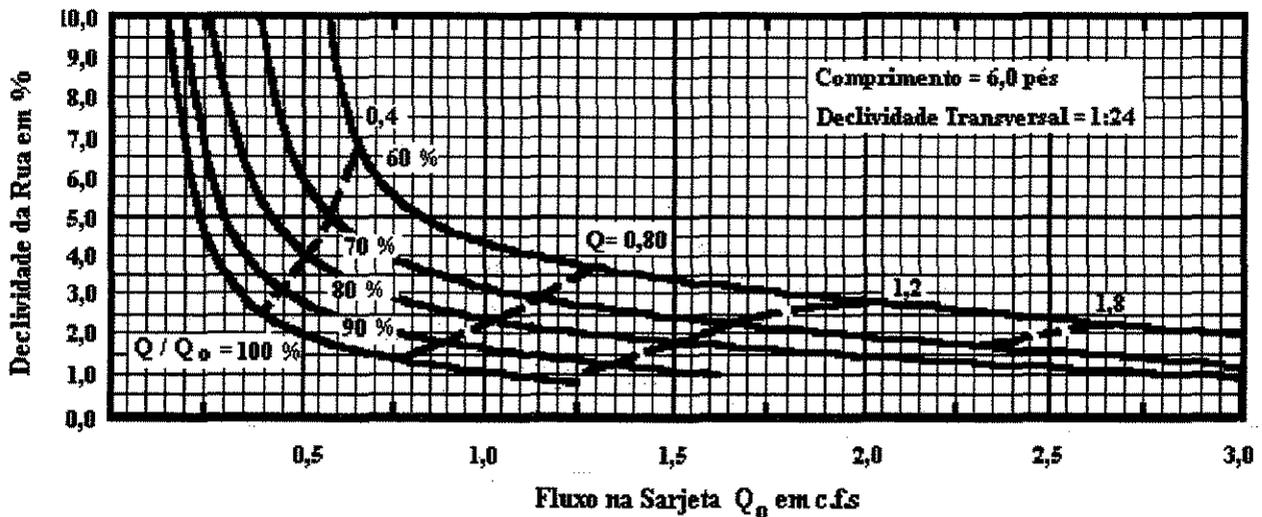


Figura 10 – Boca de lobo com abertura na guia e depressão – (GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 47)

As equações básicas utilizadas para cálculo do fluxo captado pelas bocas de lobo foram:

a) Quando não existe depressão na sarjeta:

$$Q_o = \frac{1,486}{n} s^{1/2} \left( \frac{3}{8} \tan \theta_o \right) y^{8/3} \quad (25)$$

$$y_o = 1,245 \cdot Q_o^{3/8} \frac{n^{3/8}}{s^{3/16}} \left( \frac{1}{\tan \theta_o} \right)^{3/8} \quad (26)$$

$$v_o = 1,288 \cdot Q_o^{1/4} \frac{n^{3/8}}{s^{3/4}} \left( \frac{1}{\tan \theta_o} \right)^{1/4} \quad (27)$$

$$L' = 1,2 \cdot v_o \cdot \tan \theta_o \left( \frac{y_o - \frac{w}{\tan \theta_o}}{g} \right)^{1/2} \quad (28)$$



**BOCA DE LOBO DE GRADE SEM DEPRESSÃO**  
**E**  
**BOCA DE LOBO COMBINADA SEM DEPRESSÃO**

Curva	Tipo de boca de lobo	Tipo de grade
A	Combinada	No. 6
B	Grade	No. 6
C	Combinada	No. 1,2,3 ou 1B
D	Grade	No. 1,2,3 ou 1B

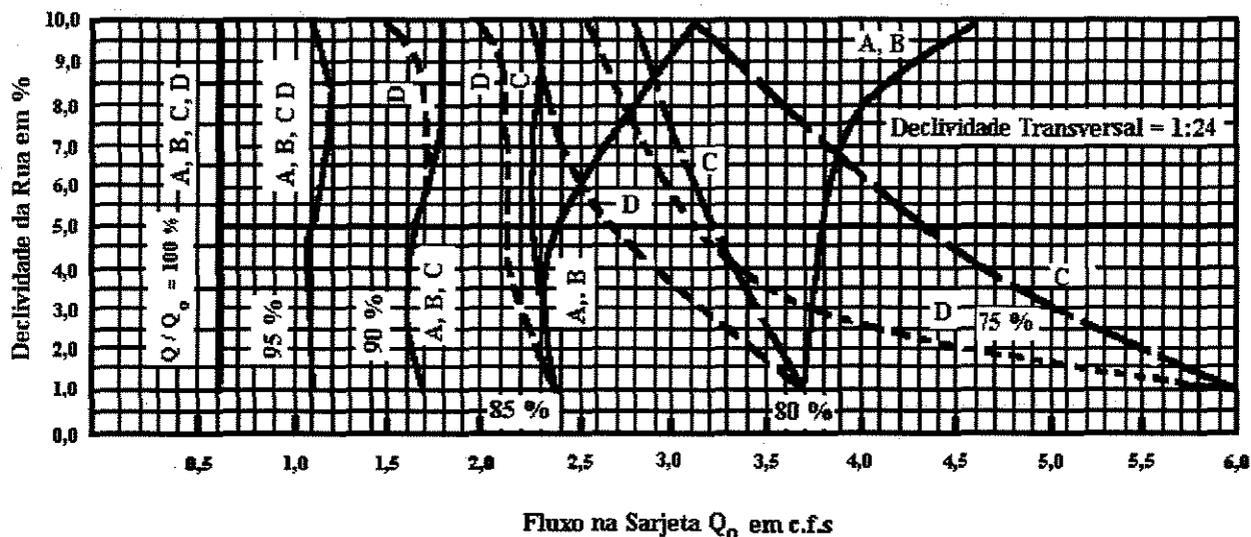


Figura 12 – Boca de lobo com grade e boca de lobo combinada – (GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 56)

$$L_0 = m \cdot v_0 \cdot \left( \frac{y_0}{g} \right)^{1/2} \quad (29)$$

$$q_2 = \frac{(L' - L)}{4} \cdot g^{1/2} \cdot \left( y_0 - \frac{w}{\tan \theta_0} \right)^{3/2} \quad (30)$$

$$q_3 = Q_0 \cdot \left( 1 - \frac{L^2}{L_0^2} \right)^2 \quad (23)$$

b) Quando existe depressão na sarjeta;

$$L' = 1,2.v.\tan\theta \left( \frac{y - \frac{w}{\tan\theta}}{g} \right)^{1/2} \quad (28 a)$$

$$L_0 = m.v. \left( \frac{y}{g} \right)^{1/2} \quad (29 a)$$

$$q_2 = \frac{(L' - L)}{4} . g^{1/2} . \left( y - \frac{w}{\tan\theta} \right)^{3/2} \quad (30 a)$$

Onde:

As unidades utilizadas nas equações são no Sistema Americano ( ft. , s );  $n$  = coeficiente de rugosidade de Manning , utilizado  $n = 0.013$  .

Segundo GEYER, BENTON e LI (1956), em geral, as Equações 28 e a 23 aplicam-se somente para dimensões de boca de lobo e fluxo dentro dos limites normais. Para fluxo extremamente elevados que fiquem fora do limite do modelo experimental (  $Q_0$  até 6.0 cfs para bocas de lobo simples e combinadas, e  $Q_0$  em torno de 12 cfs para bocas de lobo múltiplas), as soluções utilizando-se estas equações devem ser interpretadas com muita cautela. Eles apresentaram também um estudo sobre bocas de lobo localizadas em pontos baixos da sarjeta, cuja capacidade deve ser determinada, analisando a altura e o comprimento do reservatório que poderá ser formado na rua, em locais de baixadas. Os estudos mostram que boca de lobo de grade em sarjeta pode ser considerada como um orifício, com área igual a área da abertura na grade e coeficiente de descarga igual a 0,6. A capacidade de captação de uma boca de lobo com grade em pontos baixos da sarjeta é dada pela Equação 31:

$$Q_g = 0,6.A.\sqrt{2.g.h} \quad (31)$$

Onde:

$Q_g$  = Vazão de entrada no orifício ( cfs);  $A'$  = Área de abertura entre as barras da grade ( sq.ft = ft<sup>2</sup> ; m<sup>2</sup> );  $h$  = Desnível ( ft).

A boca de lobo de abertura na guia pode ser considerada como um vertedor retangular cuja capacidade é dada pela Equação 32:

$$Q_c = 3,0.h^{3/2}L \quad (32)$$

Onde:

$Q_c$  = Vazão de entrada no vertedor ( c.fs.).

Como verificado pelos pesquisadores, a boca de lobo em ponto baixo tem a tendência de entupir quando o fluxo na sarjeta carrega entulhos como folhas, papéis e etc. O risco de obstrução das grelhas não é eliminado mesmo quando se utilizam barras longitudinais. Pôr esta razão, a boca de lobo de abertura na guia e a boca de lobo combinada são preferidas, no lugar da boca de lobo com abertura na sarjeta, já que esta última tem maior probabilidade de obstrução. Segundo os autores, na comarca de Baltimore para boca de lobo localizada em ponto baixo, o critério de projeto especifica que:

- I- Para BOCA DE LOBO TIPO - A, a capacidade calculada será reduzida em 10%;
- II- Para BOCA DE LOBO TIPO - B, a capacidade calculada será reduzida em 30%;e
- III- Para BOCA DE LOBO TIPO - C, a capacidade calculada será reduzida em 20%.

Os pesquisadores da Universidade Johns Hopkins desenvolveram um método simplificado para determinar a capacidade de bocas de lobo simples e múltiplas. Este método simplificado foi desenvolvido para reduzir o tempo gasto para determinar a capacidade de captação de águas pluviais pelas bocas de lobo simples ou múltiplas. Foi baseado na suposição de que a velocidade por toda a seção transversal do fluxo na guia seja uniforme. Seguindo isto, a razão da largura do fluxo interceptado pela largura do fluxo total ( $W_i / W_o$ ), geometricamente, determina a porcentagem da vazão captada ( $Q / Q_o$ ). Outra suposição é que não há fluxo passando sobre a grade em boca de lobo simples ou sobre a grade de jusante em boca de lobo múltiplas. A Figura 13 apresenta a curva do método simplificado.

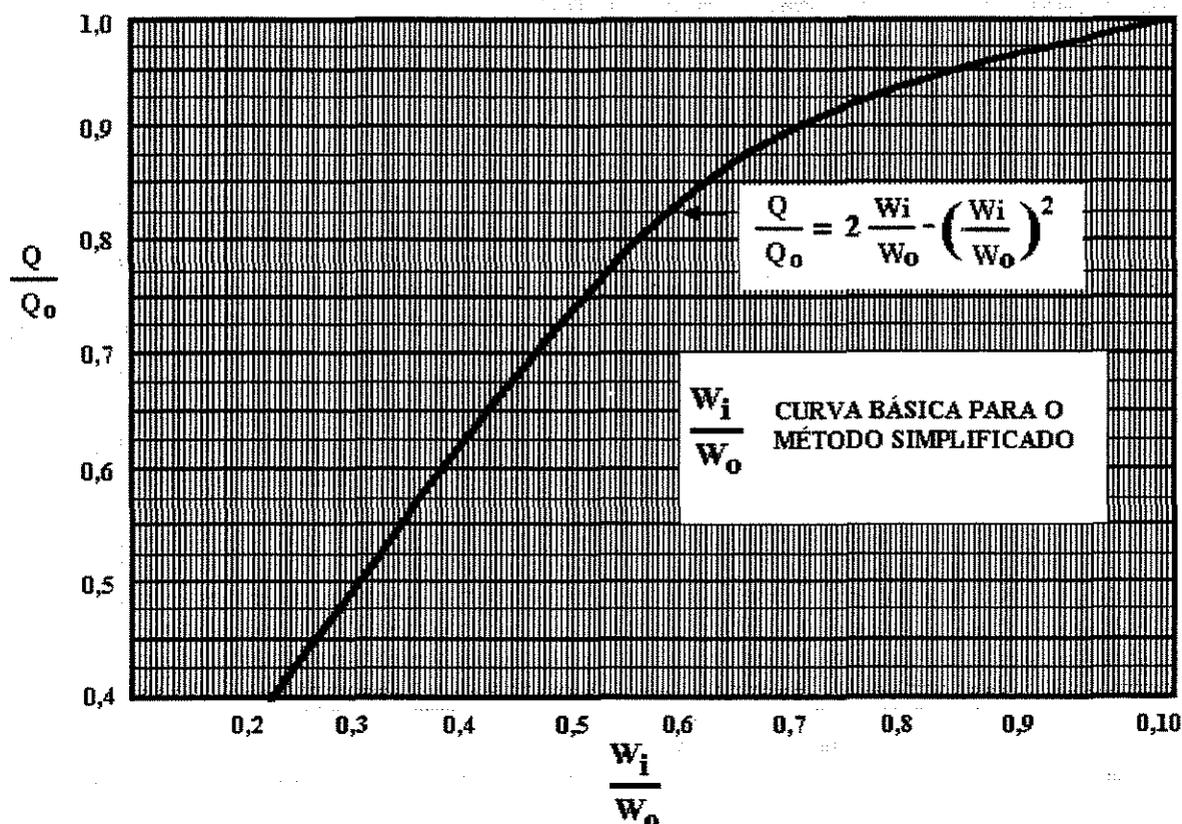


Figura 13 – Curva do método simplificado – (GEYER, BENTON e LI (1956), pg. 114).

Os resultados dos trabalhos realizados por GEYER, BENTON e LI (1956), e seus colaboradores da Universidade Johns Hopkins, foram apresentados em tabelas comparando os comportamentos de vários tipos de bocas de lobo, em gráficos cobrindo todos os campos das experiências, na descrição do método gráfico rápido e simplificado para a estimativa da capacidade de esgotamento de bocas de lobo, além do desenvolvimento da análise matemática empregada nos trabalhos pesquisados. Portanto este trabalho é um dos mais completos sobre estudos de Bocas de Lobo.

Nos estudos realizados por WILKEN (1968), foram desenvolvidos traçados de diagramas utilizados para projetar bocas de lobo, que podem ser empregados com segurança em casos práticos, desde que estejam dentro dos limites dos referidos estudos. Na determinação da

capacidade de esgotamento da boca de lobo, a primeira exigência é que as características de escoamento em conduto livre da sarjeta a montante sejam conhecidas. Segundo o autor foi comprovado nos trabalhos de Izzard e de Tapley que é possível o emprego da fórmula de Manning para o cálculo de vazões em sarjetas, desde que se despreze a parte do perímetro molhado correspondente a face da guia, adotando  $Rh = y$ ,  $\tan \theta = Z$  e obtém-se a Equação 33:

$$Q_o = 0,375 \cdot y_o^{8/3} \frac{Z}{n} \sqrt{I} \quad (33)$$

Onde:

I = Declividade longitudinal da sarjeta, em m por m.

As bocas de lobo são geralmente localizadas imediatamente a montante das curvas das guias no cruzamento, em pontos baixos ou em pontos intermediários segundo as necessidade de captação de água. Podem ter ou não uma capacidade fixada para interceptar todo o caudal que se escoo pela sarjeta. Todos os tipos de bocas de lobo captam mais água, a medida em que aumenta a altura da água na sarjeta, podendo uma parte do caudal ultrapassar a boca de lobo.

Segundo WILKEN ( 1968 ), a quantidade de água que uma boca de lobo intercepta em uma sarjeta, de uma dada declividade, variará conforme as características hidráulicas da sarjeta a montante, porque a altura e a concentração de água próxima à guia dependerão dessas características. Uma boca de lobo localizada em um ponto baixo de uma sarjeta captará eventualmente toda a água que a atingir, mas a altura da água acumulada pode tornar-se excessiva se a boca de lobo não tiver uma abertura suficiente.

Para boca de lobo combinada a área da abertura na guia só importa quando a boca de lobo estiver localizada em um ponto baixo. Nos casos comuns de sarjeta com declividade uniforme num só sentido longitudinal as dimensões significantes são a largura da grade normal e a largura da abertura livre paralela ao sentido de escoamento na sarjeta. Para as bocas de lobo com abertura na guia, o comprimento da boca de lobo e a depressão da sarjeta junto à boca de lobo, quando existir, são as dimensões significantes. As bocas de lobo podem ser classificadas, segundo o autor em: a) BOCA DE LOBO DO TIPO - A. A caixa fica situada sob o passeio.

A sarjeta adjacente à boca de lobo pode ser normal ( contínua ) ou com depressão. Pode ficar localizada em trecho de sarjeta de declividade uniforme ou em ponto baixo da declividade longitudinal da rua; b) BOCA DE LOBO DO TIPO - B. A caixa fica situada sob a faixa da sarjeta. Em pontos baixos da declividade longitudinal da rua, é mais eficiente que o tipo com abertura na guia; e c) BOCA DE LOBO DO TIPO- C. Em caso especial pode ter uma combinação dos dois tipos.

No estudo da BOCA DE LOBO DO TIPO - A, o autor determinou que o comprimento da boca de lobo e a depressão da sarjeta junto à boca de lobo, são as dimensões significantes. A descarga  $Q$  na boca de lobo depende dos comprimentos  $L$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , e da vazão  $q$  que ultrapassa a boca de lobo, da largura  $W$ , das alturas  $a$ ,  $b$  e  $y$ , das características do escoamento,  $V$  e  $\theta$ .

Com a Equação 10 obtêm-se a descarga na boca de lobo em  $m^3/s$ . As experiências revelam que, para valores de  $\tan\theta = 12$ , temos  $K = 0,23$  e para  $\tan\theta$  de valores iguais a 24 e 48, temos  $K = 0,20$ . Em bocas de lobo com depressão, para  $K = 0,23$  os estudos indicam que o valor de  $C$  pode ser determinado pelas Equações 11. No caso de boca de lobo sem depressão na sarjeta,  $y = y_0$  e o valor de  $C$  é nulo. Quando há depressão, a altura de água,  $y$ , na extremidade de montante da boca de lobo é diferente da altura de água na sarjeta,  $y_0$ , portanto, o valor de  $C$  não é nulo, pois, o valor de  $a$  é diferente de 0. O processo de cálculo segue a seguinte rotina:

- São dados: a declividade da sarjeta,  $I$ ; o coeficiente de rugosidade da superfície da sarjeta,  $n$ ; a seção transversal da sarjeta definida por  $\theta_0$  se ela for uniforme; e a vazão  $Q_0$  na sarjeta a montante da boca de lobo;
- Empregando a formula da Equação 34:

$$y_0 = 1,442 \frac{1}{(\tan\theta_0)^{3/8}} \left( \frac{Q_0}{\sqrt{I}/n} \right)^{3/8} \quad (34)$$

Determina-se a altura de água na sarjeta,  $y_0$ , a montante da boca de lobo, em seguida a área  $A_0$  e a velocidade  $V_0$ ;

$$V_o = 0,958 \frac{1}{(\tan \theta_o)^{1/4}} \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{3/4} Q_o^{1/4} \quad (35)$$

- Com esses elementos pode-se determinar a carga específica da corrente:

$$E = \frac{V_o^2}{2g} + y_o \quad (36)$$

$$E = 0,0467 \frac{1}{(\tan \theta_o)^{1/2}} \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{3/2} Q_o^{1/2} + 1,442 \frac{1}{(\tan \theta_o)^{3/8}} \left( \frac{Q_o}{\sqrt{I}/n} \right)^{3/8} \quad (37)$$

- Fixa-se o valor de depressão  $a$ , a largura da depressão  $W = 8a$ , a serem usadas e obtém-se a  $\tan \theta$  pela Equação 38;

$$\tan \theta = \frac{W}{W / \tan \theta_o} + a \quad (38)$$

- A partir da equação de Energia temos :

$$E = \frac{V^2}{2g} + y = \frac{V_o^2}{2g} + y_o + a \quad (39)$$

Pôr tentativas, determina-se o valor de  $y$ . No diagrama da Figura 14 estão indicadas as relações entre  $y$  e  $E$ , com  $\tan \theta_o$  igual a 12 e valores de  $Q_o$  variando de 20 l/s a 200 l/s;

- Em seguida calcula-se o valor de  $F = V^2/(g.y)$ , e com o valor de  $\tan \theta$  determinado pela Equação 38, determina-se  $M$  que é utilizando na Equação 11 para determinar  $C$ ;

- Obtém-se finalmente a expressão  $Q/L$  que é denominada “capacidade da boca de lobo” pela Equação 10.

Segundo o autor, para facilitar essa rotina trabalhosa é conveniente empregar processo gráfico, conforme o diagrama da Figura 15.

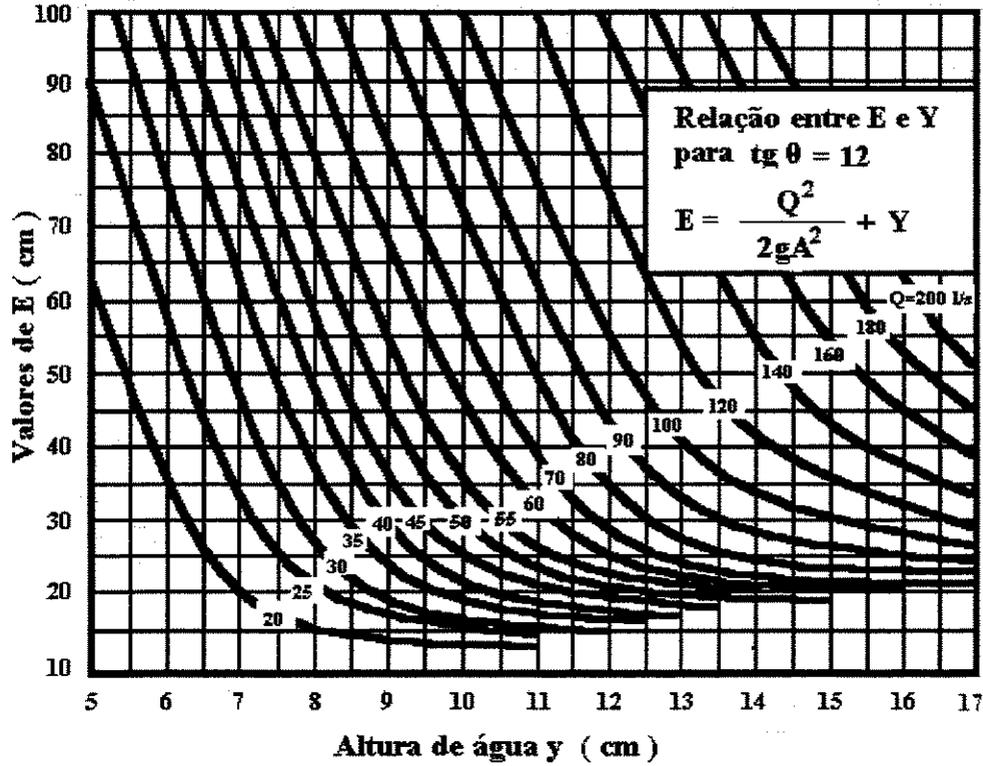


Figura 14 – Relação entre E e Y – ( WILKEN (1968), pg. 358 ).

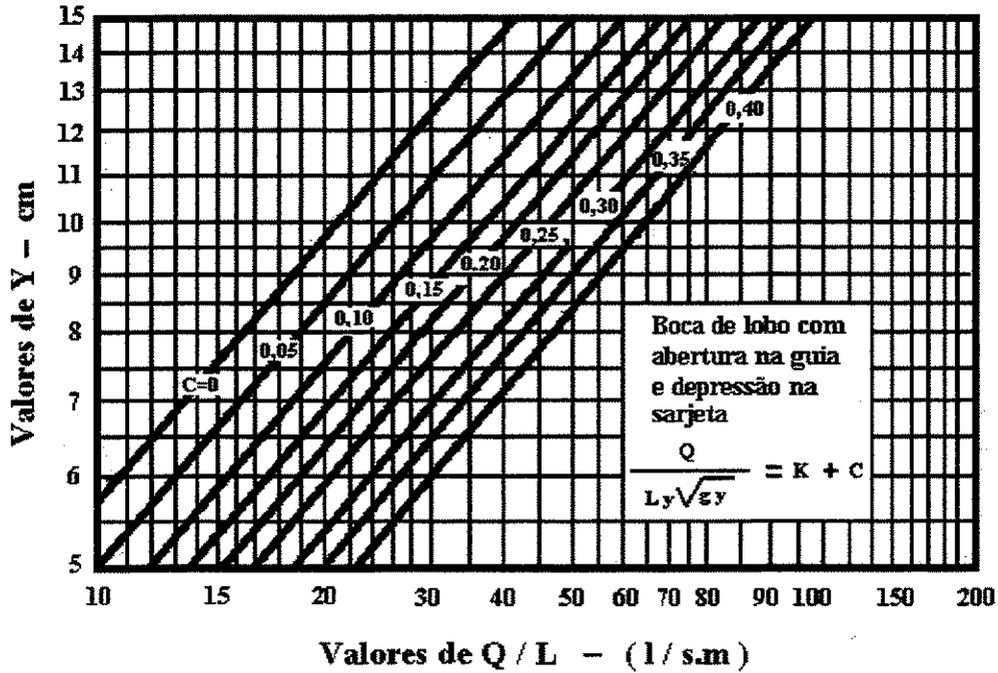


Figura 15 – Capacidade da BOCA DE LOBO TIPO- A (WILKEN (1968), pg.362).

Segundo WILKEN (1968), para BOCA DE LOBO DO TIPO - B, o caudal  $q$  que ultrapassa a boca de lobo pode percorrer os seguintes caminhos: entre a grade e a guia,  $q_1$ ; fora da grade,  $q_2$ ; e através da própria grade. O comprimento mínimo necessário  $L_0$  para captar a água que passa sobre a grade, depende da velocidade  $V_0$ , da altura de água sobre a primeira abertura que é aproximadamente igual a  $y_0$ , da largura da abertura das barras  $a$ , da espessura das barras  $b$ , e da aceleração da gravidade  $g$ , conforme mostrado na Figura 02.

O autor estudando a experiência da Universidade de Johns Hopkins verificou que o valor de  $L_0$  pode ser obtido através da Equação 01, utilizando-se  $m = 4$ , se existirem só barras longitudinais, e  $m = 8$ , se forem empregadas algumas barras transversais. A vazão  $q_1$  que ultrapassa a boca de lobo entre a grade e a face da guia depende de  $V_0$ ; da altura de água na sarjeta a montante  $y_0$ ; do comprimento da boca de lobo  $L$ ; da largura entre a guia e a primeira abertura da grade  $d$ ; e da aceleração da gravidade  $g$ . Os dados experimentais conduziram à Equação 40 para determinar  $q_1$ . Têm-se observado, na prática, que os valores encontrados de  $q_1$  são desprezíveis:

$$\frac{q_1}{V_0 \cdot y_0 \cdot d} = 6 \frac{V_0}{\sqrt{g / y_0}} \left( \frac{d}{L} \right)^2 \quad (40)$$

Segundo o autor, quando se tiver  $W_0$  maior que  $W$  e se quiser  $q_2 = 0$ , é preciso que se tenha um comprimento  $L$  para a boca de lobo maior do que  $L'$ , que seria necessária para captar  $q_2$ . O valor de  $L'$  depende da velocidade  $V_0$ , da altura da água na sarjeta a montante  $y_0$ , do ângulo  $\Theta_0$ , da largura da grade  $W$ , e da aceleração da gravidade  $g$ . Os dados experimentais conduziram a Equação 03 para determinar  $L'$ . Quando  $L < L'$ , a quantidade  $q_2$  depende do comprimento da boca de lobo  $L$ ; do valor de  $L'$  determinado pela Equação 03; da largura da grade  $W$ ; da velocidade  $V_0$ ; da altura de água  $y_0$ ; do ângulo  $\Theta_0$ ; e da aceleração da gravidade  $g$ . Os dados experimentais conduziram à Equação 04 para se determinar  $q_2$ .

Para uma dada grade, a vazão esgotada pela boca de lobo depende tanto das condições da sarjeta quanto da vazão na sarjeta. A vazão que ultrapassa a boca de lobo é dada pelas equações:  $q = q_1 + q_2$ . O autor determinou a máxima vazão admissível da boca de lobo, em função das características da sarjeta ( $n, I, \Theta_0$ ) e da grade ( $L, m$ ) através da Equação 41:

$$Q_0 \leq \frac{9L^2}{m} \cdot \frac{n}{\sqrt{I}} \tan \theta_0 \quad (41)$$

Em seus estudos, WILKEN (1968) constatou que as bocas de lobo com grade de barras transversais, mas sem depressão da sarjeta, têm baixa capacidade de captação de águas pluviais, em relação aos outros tipos de bocas de lobo.

Estudando a BOCA DE LOBO DO TIPO - C, ele analisou o comportamento da mesma, cujos resultados mostram que não havendo depressão na sarjeta, a abertura da guia tem pouco efeito na sua capacidade. As seguintes equações para boca de lobo com grade, podem ser aplicadas em boca de lobo combinada sem modificações: Equação 03 para se determinar  $L'$ , Equação 04 para determinar se  $q_2$ . Já na Equação 01, para se determinar  $L_0$ , utiliza-se o valor de  $m = 3,3$  ou  $6,6$ ; e na Equação 40 para se determinar  $q_1$ , o valor constante 6 passa a ser 4. Segundo o autor, a única vantagem na abertura da guia em boca de lobo combinada, restringe-se ao caso de obstrução da grade. Se a grade funciona livremente, a água passa pela abertura na guia somente quando a vazão da sarjeta for suficiente para cobrir a grade.

No estudo das estruturas hidráulicas singulares, WILKEN (1978), utilizando seu trabalho realizado em 1968, desenvolveu importante análise sobre bocas de lobo de diversos tipos. Constatando que a capacidade de esgotamento de uma boca de lobo, depende da altura de água no trecho da sarjeta imediatamente a montante da boca de lobo. A quantidade de água que uma boca de lobo capta em uma sarjeta de uma dada declividade variará conforme as características hidráulicas da sarjeta a montante. Se a boca de lobo estiver localizada em um trecho de declividade uniforme, a altura de água na sarjeta dependerá das suas características de escoamento como conduto livre. Tais características incluem a seção transversal, a declividade e a rugosidade da sarjeta e das superfícies do pavimento sobre os quais a água escoar.

Na determinação da capacidade de esgotamento da boca de lobo, a primeira exigência é que as características de escoamento em conduto livre da sarjeta a montante sejam conhecidas. A determinação da vazão na sarjeta poderá ser feita utilizando-se a Equação 33. Os valores dos

coeficientes de rugosidade da superfície  $n$  foi determinado por Manning, porém é muito difícil adotar o valor exato deste coeficiente pois o acabamento das superfícies de concreto e de asfalto variam muito na prática, além de que a presença de quantidades de sedimentos podem elevar os valores do coeficiente de Manning adotado para um determinado conjunto de asfalto e concreto (sarjeta e pavimento). O autor adotou os seguintes valores do coeficiente  $n$  de Manning:

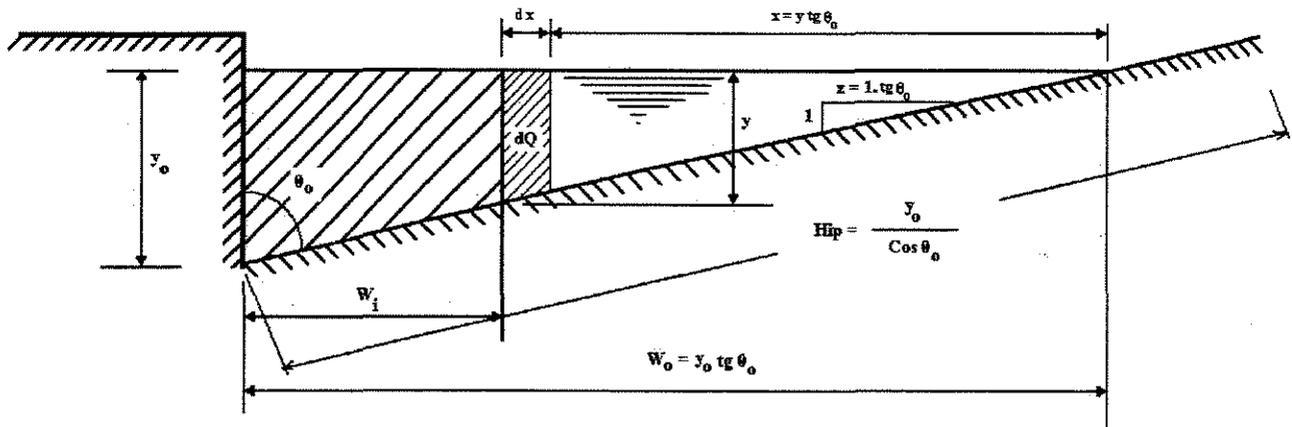
Sarjetas de concreto com bom acabamento -----	0,012
Pavimento de asfalto:	
• Textura lisa -----	0,013
• Textura áspera -----	0,016

A altura da água na guia ( $y_0$  em m) será determinada utilizando-se a Equação 34, e a determinação da velocidade média na sarjeta ( $V_0$  em m/s) será encontrada pela Equação 35, utilizando-se  $\tan \theta = Z$ .

As bocas de lobo podem ser classificadas, segundo o autor, em dois tipos principais: boca de lobo com abertura na guia e boca de lobo com grade. Estes dois tipos podem sofrer variações conforme as características da sarjeta e sua localização, podendo ser com depressão ou sem depressão, estar localizadas em pontos baixos ou em pontos intermediários. Em casos especiais, pode haver ainda uma combinação dos dois tipos: boca de lobo combinada. Para a determinação da capacidade de esgotamento das BOCAS DE LOBO TIPOS – A, B e C, o autor utilizou as mesmas equações do seu trabalho anterior (WILKEN, 1968).

O autor estudou ainda o *método simplificado para projetos de bocas de lobo*, no qual adota-se como uniforme a velocidade através da seção transversal da sarjeta. As características da sarjeta são apresentadas na Figura 16. A relação entre a largura do caudal interceptado pela boca de lobo e a largura total do caudal conduzido pela sarjeta ( $W_i / W_o$ ) determina geometricamente a porcentagem da captação do caudal ( $Q / Q_o$ ). Fazendo-se desenvolvimento matemático, resulta que :

$$\frac{Q}{Q_o} = 2 \frac{W_i}{W_o} - \left( \frac{W_i}{W_o} \right)^2 \quad (42)$$



**Figura 16 – Seção transversal da sarjeta – ( WILKEN (1978), pg. 340 ).**

O gráfico da Figura 13 facilita o emprego da Equação 42 na determinar  $(Q / Q_0)$ . O método simplificado pode ser aplicado a casos de bocas de lobo simples e múltiplas. Primeiramente determina-se a vazão  $Q_0$  através da Equação 33 em função de  $y_0$  na sarjeta, da declividade longitudinal e da rugosidade na superfície da sarjeta. A localização das linhas de vazão é determinada pelas distâncias  $W_0$  a partir da face da guia, que é obtido pela equação  $W_0 = y_0 \tan \theta_0$ , e onde  $W_i$  é a largura do caudal interceptado pela boca de lobo.

**LINSLEY e FRANZINI (1978)**, afirmaram ao elaborar projetos de drenagem urbana das águas pluviais, deve-se primeiramente fazer a quantificação da água a ser escoada. Citam ainda que no caso do estudo de boca de lobo deve ser determinada a capacidade de vazão da sarjeta, o que depende de sua forma, declividade e rugosidade, sendo que a fórmula de Manning pode ser usada para cálculo de vazão em sarjetas, entretanto, o coeficiente de rugosidade  $n$  deve ser modificado de maneira a levar em consideração o efeito da contribuição lateral de água proveniente do leito da rua. Consideram também que por efeito do escoamento esparramado, raso e da profundidade variável transversalmente típica das sarjetas, a distribuição dos valores da vazão e da tensão de cisalhamento junto às paredes é irregular. Para sarjetas bem acabadas, o valor de  $n$  é cerca de 0,016, sarjetas não pavimentadas, ou que o sejam, mas com trincas e falhas, justificam valores mais altos de  $n$ . A vazão que é escoada pela sarjeta é interceptada pelas bocas de lobo que a dirige para os condutores subterrâneos. Há dois tipos principais de bocas de lobo, sendo possível encontrar vários modelos de cada tipo: BOCA DE LOBO DO TIPO - A, com

aberturas na face vertical da guia, funcionando praticamente como um extravasor lateral de borda de canal. Esse tipo de boca de lobo só é possível em guias cuja face externa seja vertical. A essa abertura dá-se o nome de *chapéu*; BOCA DE LOBO DO TIPO - **B**, com aberturas na parte baixa das sarjetas ou em pontos intermediários, protegidas por grades. Segundo os autores, a localização das bocas de lobo nas vias públicas é muito dependente do critério pessoal do projetista. Em rodovias tem sido recomendada uma largura máxima para o escoamento nas sarjetas de 1,83 m. De acordo com essa regra será necessário uma boca de lobo em cada ponto onde a largura do escoamento exceder 1,83 m. Em bairros residenciais, o melhor a ser feito quanto ao espaçamento de bocas de lobo, é construir-se quatro em cada cruzamento, dispostas de forma que as águas percorram apenas um quarteirão pela sarjeta, antes de serem captadas. Uma solução menos dispendiosa seria o distanciamento das bocas de lobo, desde que as distâncias entre elas sejam tais que impeçam a formação de grandes caudais nas sarjetas, capazes de inundar os passeios, os jardins e mesmo as casas. As zonas comerciais, com tráfego intenso de pedestres e de veículos devem ser analisadas com maior cuidado.

No estudo de bocas de lobo com grade, os autores concluíram que apenas algumas delas são capazes de captar toda a água que a elas chega, salvo se estiverem em depressões onde a água não tenha outra saída por onde escoar. As grades mais eficientes são as de barras paralelas à guia, com área dos vãos suficiente para que a água possa passar por eles sem ir de encontro a uma barra transversal ou ao bordo de jusante da grelha. Ensaios feitos indicam que o valor do comprimento  $X$  do vão livre deve ser, no mínimo de :

$$X = \frac{V'}{1,104} y_1^{1/2} \quad (43)$$

Onde:

$X$  = Comprimento da boca de lobo, da grelha ou do vão livre ( m );  $V'$  = Velocidade média de chegada no prisma de água interceptado pela grelha ( m /s );  $y_1$  = Altura de queda, da superfície da água até a parte inferior da grelha ( m );

Se a declividade for pequena e com baixa velocidade, a vazão de entrada ao longo do comprimento da grade poderá ser calculada pelo método que será indicado para calcular a vazão através das bocas de lobo com entrada pela guia. No caso de fortes declividades com altas

velocidades, pouca água penetrará pelos vãos longitudinais da grelha, a não ser que o pavimento seja encurvado para propiciar a captação. Contudo, as grelhas com barras paralelas à guia podem ser perigosas para os ciclistas, salvo se a distância entre as barras for menor que 3 cm, aproximadamente. Por outro lado, com as barras perpendiculares à guia, a água tende a saltar sobre as barras reduzindo a quantidade captada. Este tipo de grelha tem maior possibilidade de se obstruir com detritos.

Quando a água se acumular sobre a grelha já não interessa a direção da barras. Grelhas sob água acumulada, tem velocidade de aproximação desprezível. Se a carga for menor que 12 cm, funcionam como vertedores, com um comprimento de crista  $L$ , igual ao perímetro da grelha sobre a qual a água se escoar e com um coeficiente  $C_w$  aproximadamente igual a 1,7. Se um lado da grelha for adjacente à guia, ele não deve ser incluído no perímetro.

$$Q = L.C_w.y^{3/2} \quad (44)$$

$$\frac{Q}{L} = 1,7.y^{3/2} \quad (44 a)$$

Se a carga sobre uma grelha afogada exceder a 43 cm, a grelha funcionará como um orifício, com uma área  $A$  igual a das aberturas entre as barras, uma carga  $h$  igual à altura medida do topo da grelha à superfície da água ali acumulada e com um coeficiente aproximadamente igual a 0,6. O valor de  $Q$  será obtido através da Equação 31. Segundo os autores, devido à possibilidade de concentração de detritos sobre uma grelha afogada, recomenda-se, nesse caso, dimensões no mínimo duas vezes maiores do que as da grelha calculada. Se a altura de água sobre a grelha for de 12 a 43 cm aparecerão condições de transição e a capacidade estará entre a do orifício e a do vertedor.

Estudando a boca de lobo com entrada pela guia, os autores concluíram que, ao entrar por uma abertura na guia a água precisa mudar de direção. Se a rua for pouco abaulada, o escoamento pela sarjeta terá uma largura considerável e será necessário também um maior comprimento da abertura para possibilitar a mudança de direção. As bocas de lobo com entrada pela guia, portanto, funcionam melhor em ruas com forte abaulamento.

O gráfico obtido experimentalmente da Figura 17 indica a capacidade dessa boca de lobo em l/s por m de comprimento. Os parâmetros são a profundidade ( $d$ ) do escoamento na sarjeta nas proximidades da entrada, altura do nível d'água na sarjeta e o rebaixamento ( $a$ ) da sarjeta junto à boca de lobo, ( rebaixamento de 6 cm é o usual ). O comprimento da boca de lobo ( $La$ ) necessário para captação total será igual ao quociente da vazão ( $Qa$ ) da sarjeta pela capacidade de captação da sarjeta em l/s por m. Se o comprimento da boca de lobo for insuficiente para captar todo o caudal, a parcela ( $Q$ ) a ser captada pode ser obtida no gráfico da Figura 18 em função da relação ( $a/d$ ) e da relação ( $L/La$ ), sendo ( $L$ ) o comprimento real do chapéu.

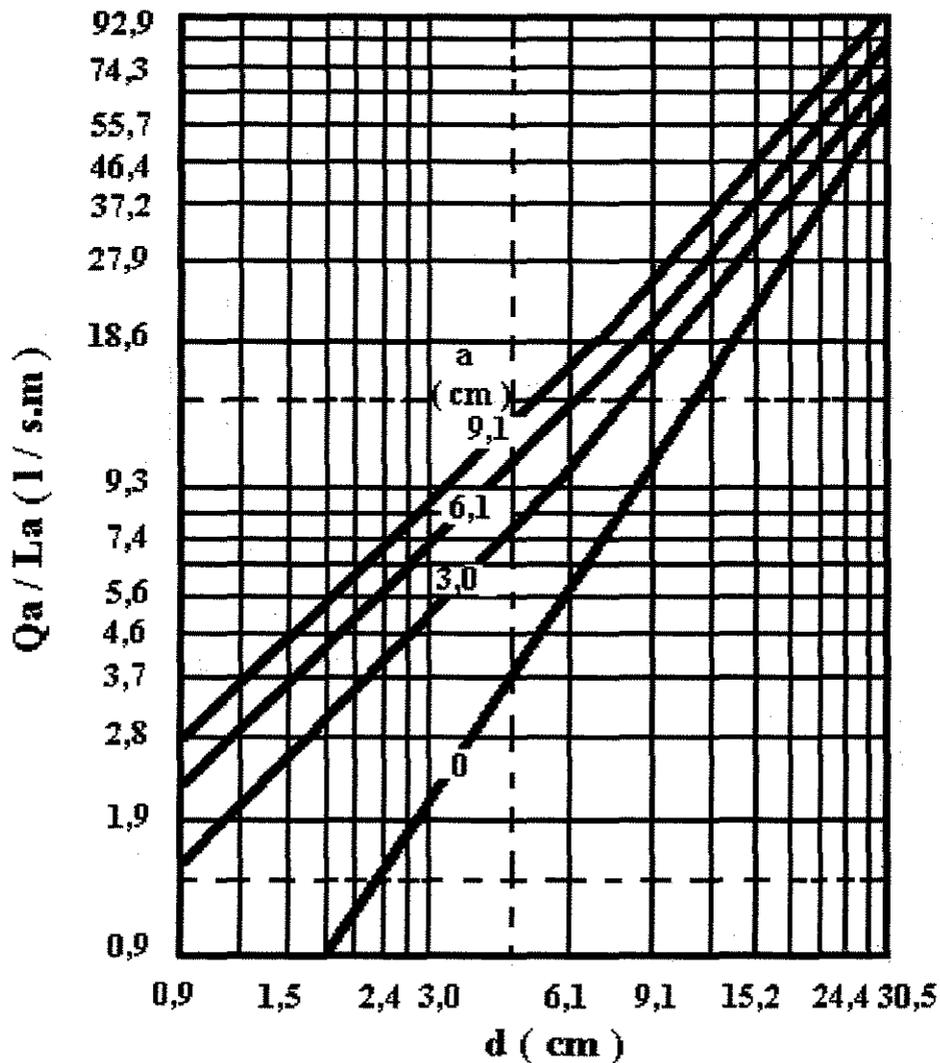


Figura 17 – Capacidade da boca de lobo em l/s por m – ( LINSLEY e FRANZINI (1978), pg. 596 ).

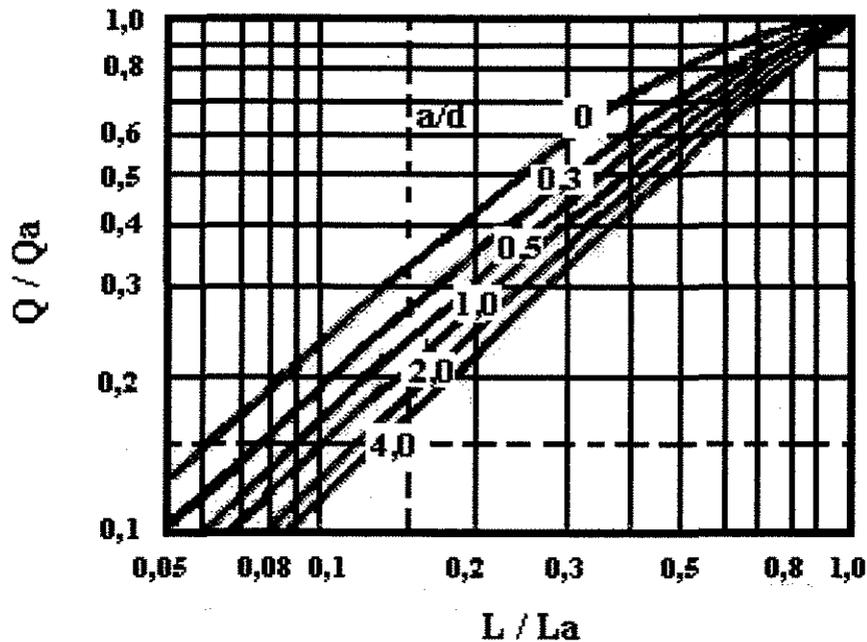


Figura 18 – Vazão captada em relação  $a/d$  e  $L/L_a$  – ( LINSLEY e FRANZINI (1978), pg. 596 ).

Se as águas se acumularem sobre a boca de lobo e a altura de carga for menor que a altura na guia, esse tipo de boca de lobo pode ser considerado como um vertedor com um coeficiente 1,71 aproximadamente, utilizando-se a Equação 44a para determinar  $Q/L$ . Se a altura da água sobre o local for maior do que o dobro da altura da abertura na guia, a vazão será dada pela fórmula derivada da dos orifícios com  $Cd = 0,7$ , Equação 45:

$$Q = 3,1.L.b.\sqrt{h} \quad (45)$$

Em muitas cidades a pavimentação, junto à boca de lobo com entrada pela guia, apresenta uma concavidade de maneira que o fundo da sarjeta, a jusante da boca de lobo, é mais alto que a montante, proporcionando maior quantidade de água captada. O estudo hidráulico de tal dispositivo é muito complexo para permitir o estabelecimento de um método de cálculo para a capacidade da boca de lobo.

Segundo AISSE ( 1982 ) pode-se determinar a vazão de captação de bocas de lobo seguindo um método simplificado e utilizando-se gráficos. As bocas coletoras ( bocas de lobo ) podem ser classificadas em três grupos principais: BOCA DE LOBO DO TIPO – A, bocas ou ralos de guia. BOCA DE LOBO DO TIPO – B, ralos de sarjeta. BOCA DE LOBO DO TIPO – C, ralos combinados. Cada tipo inclui variações quanto à depressão (rebaixamento) em relação ao nível da superfície normal da sarjeta e ao seu número ( simples ou múltipla ). Estudando BOCA DE LOBO DO TIPO – A, o autor concluiu que se pode determinar a vazão de engolimento de bocas ou ralos de guia (com ou sem depressão ) da seguinte maneira: a ) Para  $h$  menor que a abertura na guia, se a água, ao se acumular sobre a boca de lobo, gerar uma altura menor que a abertura na guia, esse tipo de boca pode ser considerada como um vertedor e portanto, sua capacidade de engolimento poderá ser formulada pela Equação 44; b) Para  $h$  maior que o dobro da abertura na guia, se a altura da água sobre o local for maior do que o dobro da abertura na guia, a vazão será dada pela Equação 46 dos orifícios:

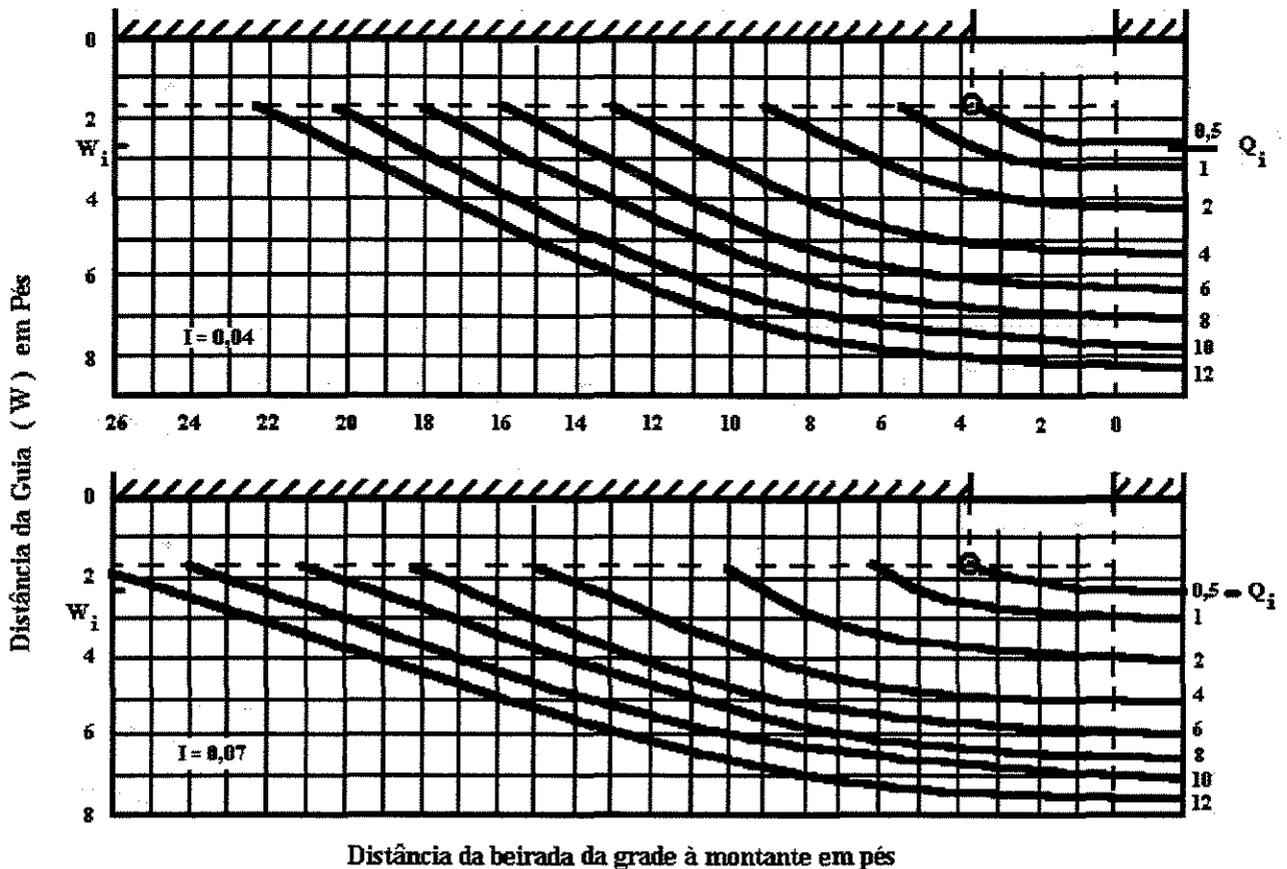
$$Q = A.Cd.(2.g.h)^{1/2} \quad (46)$$

No estudo da BOCA DE LOBO DO TIPO – B, AISSE ( 1982 ), se a água ao se acumular sobre a boca de lobo gerar uma altura menor que 12 cm , esse tipo de boca pode ser considerada como um vertedor e portanto sua capacidade de captação poderá ser formulada pela Equação 44 . Caso a altura da água sobre o local seja maior do que 43 cm , a vazão será dada pela fórmula dos orifícios, Equação 46, mas com  $Cd = 0,6$  (coeficiente de descarga adotado). Se a altura de água sobre a grelha for de 12 cm a 43 cm aparecerão condições de transição e a capacidade estará entre a do orifício e a do vertedor. A análise da capacidade de captação de boca com grade ( grelha ), com base em dados experimentais, indicaram que o valor do comprimento do vão livre da boca de lobo deve ser determinado conforme a Equação 43.

O autor em seu estudo sobre a BOCA DE LOBO DO TIPO – C, adotou o método simplificado, que para a obtenção da capacidade da boca de lobo combinada, deve-se atender as seguintes etapas: a) Desenhar um esboço da boca coletora sobre o diagrama de vazão apropriado, ( Ver a Figura 19 ); b) Pôr inspeção, determinar o valor de  $W_i$  ( distancia da guia ) da linha pontilhada ( linha do fluxo que corte o canto de jusante do ralo ); c) Determinar

também por inspeção, o valor de  $W_o$  para  $Q_o$  ( vazão afluyente da sarjeta ); d) Calcular a relação  $W_i / W_o$ ; e) Determinar a relação  $Q / Q_o$ , utilizando-se a Figura 13 e como dado de entrada a relação  $W_i / W_o$ ; e f) Calcular  $Q$  ( vazão captada ), através do produto do valor encontrado da relação  $Q / Q_o$  vezes o  $Q_o$ .

Baseado em experiências desenvolvidas em laboratório, os estudos recomendam que, para toda a água que escoa na sarjeta ser coletada pela boca de lobo combinada, ela deverá possuir um comprimento mínimo de  $L_o$  e  $L'$ , calculados a partir das fórmulas empíricas da Equação 15 ( $L_o$ ) e Equação 16 ( $L'$ ) onde  $y$  pode ser obtido por tentativa pela Equação 39, na qual  $a$  é a altura da depressão na sarjeta.



**Figura 19 – Boca de lobo combinada sem depressão – DIMENSIONAMENTO (MÉTODO SIMPLIFICADO), Diagrama de fluxo ( vazão ), declividade de topo ( Z ) 1: 24, rugosidade  $n = 0,013$  ( AISSE ( 1982 ), pg. 200 ).**

Na determinação de  $L_0$ , o fator  $m$  é uma constante que depende da configuração da grelha e os valores desse fator serão: para grelhas com barras longitudinais e  $t \leq e$ , tem-se  $m=3,3$ , para grelhas com diversas barras transversais e  $t \leq e$ , tem-se  $m=6,6$ , onde  $t$  é a espessura das barras da grelha,  $e$  é a largura do vão entre barras.

Segundo o autor, se pôr algum motivo  $L < L_0$  ou  $L < L'$ , a vazão afluyente ultrapassará a boca de lobo lateralmente ( $q_2$ ) ou sobre a grelha ( $q_3$ ), o seu valor será calculado por  $q = q_2 + q_3$ . Onde  $q_2$  será determinado pela Equação 17 e  $q_3$  será determinado pela Equação 23. A vazão esgotada pela boca de lobo combinada será obtida por:  $Q = Q_0 - q$ . Cumpre destacar que no estudo descrito pelo autor se refere a localização da boca de lobo em ponto intermediário das sarjetas. A formulação da capacidade de escoamento das bocas de lobo combinadas localizadas nos pontos baixos das sarjetas é semelhante ao abordado para BOCA DE LOBO TIPOS – A e B.

Conforme os estudos realizados, o autor constatou que na prática a capacidade de esgotamento das bocas de lobo é menor que a calculada, em razão de diversos fatores, entre os quais enumeram-se: obstruções causadas por detritos carreados pelas águas, irregularidade no pavimento das ruas junto às sarjetas e bocas de lobo, hipóteses de cálculo que nem sempre correspondem à realidade. Portanto, deverão ser utilizados coeficientes de redução na vazão calculada para compensar os efeitos globais destes fatores. O autor sugere que, para boca de lobo com abertura na guia, a vazão real captada deva ser 80 % do valor teórico; para boca de lobo com grelha, a vazão real captada deva ser 50 % do valor teórico; boca de lobo combinada a vazão real deva ser 110 % do valor teórico indicado para a grelha correspondente.

As seguintes recomendações feitas por AISSE (1982), devem ser obedecidas com relação à instalação de bocas de lobo:

- a) Colocar bocas de lobo em ambos os lados da rua quando a saturação da sarjeta o requerer ou quando ultrapassar as suas capacidades de captação;
- b) Ser colocada nos pontos baixos das quadras;
- c) Adotar um espaçamento máximo de 60 m entre as bocas de lobo, caso não seja analisada a capacidade de escoamento da sarjeta;
- d) A melhor solução para a instalação de bocas de lobo é em pontos pouco a montante da faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas;
- e) Não deve ser localizada junto ao

vértice do ângulo de interseção das sarjetas de duas ruas convergentes, pois os pedestres para cruzarem uma rua, teriam que passar pela torrente num trecho de máxima vazão superficial, além das torrentes convergentes pelas diferentes sarjetas teriam como resultante, um caudal de velocidade em sentido contrário ao convergente para o interior da boca de lobo.

**WOO ( 1984 )**, elaborou estudos de modelagem de boca de lobo para captação de água de chuvas. Quase todos modelos feitos para estudar águas de chuvas, ignoram o importante papel da boca de lobo em simulação do fluxo de chuva em bueiros. A maior parte dos modelos assume que as bocas de lobo interceptam todo o escoamento superficial calculado para alcançar uma boca de lobo. Na realidade isto não é verdade, pois a parcela do escoamento superficial que entra na boca de lobo depende sempre do projeto da boca de lobo e das características da área circunvizinha. Normalmente, sob condições de projeto de chuvas fortes, somente uma parte do escoamento superficial no local de boca de lobo entra nela, o restante passa pela boca de lobo somando-se ao escoamento superficial a jusante. Somente para chuvas fracas, a boca de lobo pode interceptar todo o escoamento superficial calculado para chegar a seu local. Assim, a maior parte dos modelos não simulam o real fluxo de água dentro da boca de lobo e conseqüentemente, o fluxo dentro do sistema de drenagem de águas pluviais ( tubulação ) também não será corretamente dimensionado. Este erro em simulação é mais crítico para grandes chuvas, pois a porção do escoamento superficial que passa pela boca de lobo fica maior.

Segundo o autor, as obras de bocas de lobo representam importante papel, controlando a entrada do fluxo em modelos de águas pluviais. Infelizmente este fenômeno crítico é freqüentemente ignorado. A boca de lobo controla a porcentagem de escoamento superficial que entra nela e na tubulação. Durante uma chuva de projeto, a água calculada para entrar na boca de lobo pode sofrer alteração, assim a quantidade de água pluvial que alcança a boca de lobo e a tubulação será diferente da calculada. Este fenômeno pode ser ilustrado pôr um simples exemplo na Figura 20.

A curva à esquerda representa a curva da eficiência de uma típica boca de lobo. O escoamento superficial calculado para alcançar a boca de lobo é representado pela linha cheia à

direita ( $Q_G$  = Escoamento calculado para entrar na boca de lobo), segundo o gráfico da Figura 20 para  $Q_G = 1,00$  cfs tem-se eficiência igual a 100%. Pelo uso desta curva de eficiência, a água que entra na boca de lobo pode ser calculada e representada pela curva pontilhada à direita ( $Q_I$  = Fluxo que realmente entra na boca de lobo). A diferença entre estas duas curvas representa o fluxo que passa pela boca de lobo ( $Q_E$ ). Exemplo: Para eficiência de 85% tem-se o valor de  $Q_G = 1,65$  cfs, o valor de  $Q_I = 1,65 \times 0,85 = 1,40$  cfs e o valor de  $Q_E = 1,65 - 1,40 = 0,25$  cfs. Como pode ser observado a medida que o valor de  $Q_G$  aumenta, a eficiência diminui,  $Q_G$  inicia do zero e vai aumentando com o passar do tempo até atingir um valor máximo para o tempo de 12 minutos onde  $Q_G = 5,00$  cfs e eficiência de captação igual a 36%, e para o mesmo tempo tem-se o valor máximo de  $Q_I = (5,00 \times 0,36) = 1,80$  cfs, neste exemplo o valor de  $Q_E = 5,00 - 1,80 = 3,20$  cfs. A partir do tempo de 12 minutos os valores de  $Q_G$  e  $Q_I$  vão diminuindo até atingir novamente o valor zero.

$$Q_G = Q_I + Q_E$$

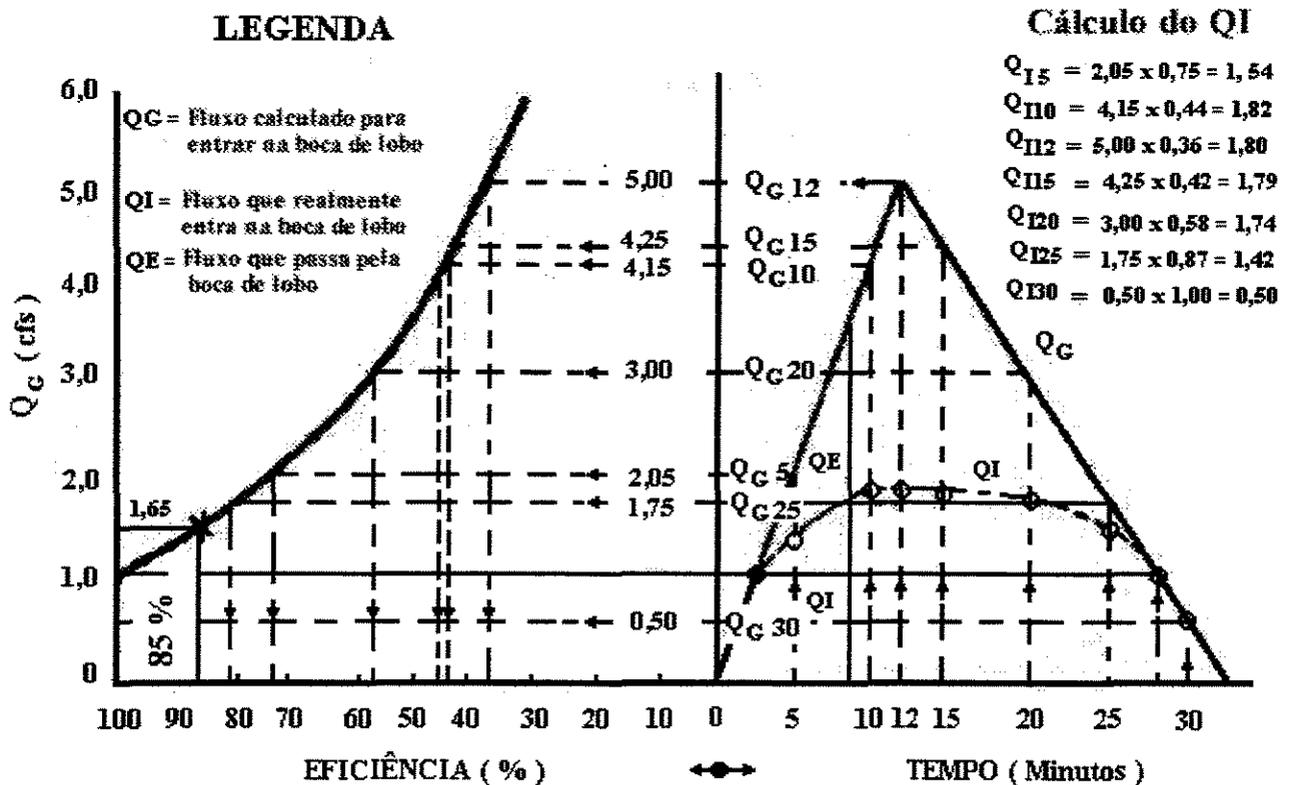
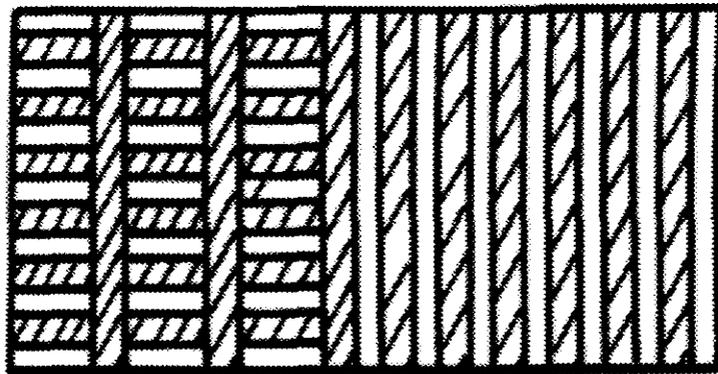


Figura 20 – Modificação do fluxo captado por uma boca de lobo – (WOO (1984), pg. 74).

Como pode ser observado na Figura 20, a simulação correta do modelo de água de chuva deveria estar baseado somente na água que realmente entra na boca de lobo,  $Q_L$ , determinando o fluxo que passa pela boca de lobo  $Q_E$ . Assim o fluxo que entra no sistema de galeria de águas pluviais, é imensamente modificado, pois é menor que o escoamento calculado  $Q_G$ .

Procedendo estudos em laboratório **ESKENAZI ( 1984 )**, estabeleceu um método experimental, para determinar o melhor tamanho e tipo de grade usada em boca de lobo. O sistema experimental desenvolvido pelo autor, permitiu comparar grades com diferentes características e podem conseqüentemente serem usadas em alguns projetos padronizados. A análise dos testes realizados foram apresentados pelo autor, de maneira a prevalecer a influência de dois fatores essenciais: a disposição e a forma das grades. Para aumentar a absorção de fluxo, tem sido proposto duas soluções: **a)** A primeira e a metade da grade disposta de forma longitudinal e metade de forma transversal, conforme Figura 21:



**Figura 21 – Grade com barras transversais e longitudinais – ( WOO( 1984), pg. 74);**

**b)** a segunda solução consiste em grades de boca de lobo modeladas conforme a linha de fluxo. Isto pode ser feito se a superfície superior de todas as barras corresponder a um vertedor modelado e a superfície inferior for tangente à linha de fluxo, que passa pela barra à montante.

Em seu estudo, esse autor analisou como a forma e disposição das barras da grade na boca de lobo influenciam na descarga absorvida. Em geral sabe-se que o maior intervalo entre as barras, melhora a eficiência da boca de lobo, mas como os espaçamentos devem ser limitados

por razões de segurança, não foi priorizado este parâmetro. Consequentemente, analisou-se a disposição e a forma das barras, que são os dois outros importantes fatores. A disposição longitudinal das barras dá os melhores resultados hidráulicos, mas apresenta como inconveniente o fato de ser prejudicial aos ciclistas, não devem ser usadas. Segundo o autor, a melhor solução é o uso de barras transversais. Este estudo mostra a importância de tentar melhorar a eficiência de qualquer boca de lobo no sistema de drenagem urbana. Como sugestão o autor apresenta duas soluções: a primeira é tentar aproveitar as vantagens do uso de barras longitudinais, suprimindo o risco que elas oferecem aos ciclistas; a segunda solução seria aumentar a vazão captada pela boca de lobo com barras transversais, modificando a forma das barras.

Segundo **JOHNSON e CHANG ( 1984 )**, as bocas de lobo utilizadas como entrada de água em sistema para drenagem superficiais, podem ser divididas em três classes principais: (a) BOCA DE LOBO DO TIPO – A ; (b) BOCA DE LOBO DO TIPO – B; (c) BOCA DE LOBO DO TIPO – C. A capacidade da captação do fluxo pela boca de lobo foi estudada por vários fabricantes de grade. Testes hidráulicos em boca de lobo com grade, foram conduzidos pela Agência de Recuperação para Federal Highway Administration. Quatro grades foram selecionadas para testes, foram avaliados e executados os testes de segurança em bicicletas, três projetos com espaçamento de barras semelhantes foram testados para garantir a segurança em bicicletas e uma grade de barra paralela foi usada como um padrão para comparar o desempenho de outras.

A eficiência de uma boca de lobo é a porcentagem de fluxo total que será interceptada pela boca de lobo sob um determinado grupo de condições. A eficiência de uma boca de lobo muda com a mudança da declividade transversal, declividade longitudinal, total do fluxo na sarjeta e rugosidade do pavimento, é definida pela Equação 47. O fluxo que não é captado pela boca de lobo, passa sobre ou é desviado dela será definido como  $Q_b$ .

$$E = Q_i / Q \quad (47)$$

Os testes feitos pela Federal Highway Administration, desenvolveram gráficos que podem ser aplicados para todos tipos de boca de lobo com grade, que foram estudados pelos

autores. Segundo eles, as bocas de lobo de grades são eficientes para drenar pavimento onde o entupimento com detritos não é problema. Em locais onde detritos são problemas, deverá ser feito teste de eficiência em laboratório com simulação das condições de campo. Bocas de lobo com grade interceptam todo o fluxo que passa sobre a grade, se a grade é suficientemente longa ou a velocidade do fluxo na sarjeta é baixa, caso a velocidade na sarjeta seja alta ou a grade seja curta somente a parte frontal do fluxo será interceptado e ocorrerá um espalhamento do fluxo sobre a grade. A parte do fluxo ao longo do lado da grade só será interceptado, dependendo da declividade transversal do pavimento, do comprimento da grade e da velocidade do fluxo.

No estudo das bocas de lobo colocadas em locais de baixadas, os autores concluíram que elas operam como vertedores em condições de baixa altura de carga e como orifícios para grandes alturas de carga. Quando a altura de carga está entre a que define o vertedor e a que prevalece o orifício, o fluxo está em um estágio de transição, onde o controle é mal definido e o fluxo pode flutuar entre vertedor e orifício.

A eficiência da boca de lobo quanto à passagem de detritos é crítica em locais de baixada, pelo fato de todo o escoamento que entra na área baixa ter obrigatoriamente que passar pela boca de lobo. O entupimento de boca de lobo pode resultar em perigosa condição de enchente, portanto, boca de lobo somente de grade não é recomendada para uso em locais de baixada porque as grades possuem tendência de ficarem obstruídas. Nestes locais é recomendado o uso de boca de lobo combinada com abertura na guia e grade.

**BOCA DE LOBO DO TIPO – A:** no estudo desta boca de lobo, os autores concluíram que elas operam como vertedores para altura de água igual a altura da abertura na guia, e como orifício para alturas maiores que 1,4 vezes a altura da abertura. Para alturas entre 1,0 e 1,4 vezes a altura da abertura, o fluxo está em um estágio de transição. A equação para capacidade de captação da boca de lobo com abertura na guia e depressão, operando como vertedor, é a Equação 48 :

$$Q_i = C_w \cdot (L + 1,8W) \cdot d^{1,5} \quad (48)$$

Onde:

$Q_i$  = Vazão captada pelo vertedor (  $\text{ft}^3/\text{s}$ ;  $\text{m}^3/\text{s}$  );  $C_w$  = coeficiente de descarga.

A equação para capacidade de captação da boca de lobo com abertura na guia e sem depressão ( $W = 0$ ) operando como vertedor é dada pela Equação 44, com um coeficiente  $C_w = 2,3$  (1,25 para SI). Para boca de lobo com abertura na guia, com depressão e sem depressão na sarjeta, operando como orifício, a capacidade de captação pode ser calculada, segundo JOHNSON e CHANG ( 1984 ), pela Equação 49:

$$Q_i = C_o \cdot h \cdot L \cdot (2 \cdot g \cdot d_o)^{0,5} = C_o \cdot A \cdot \left[ 2 \cdot g \left( d_i - \frac{h_i}{2} \right) \right]^{0,5} \quad (49)$$

Onde:

$C_o$  = Coeficiente do orifício, 0,67;  $d_o$  = altura efetiva da água no centro da garganta do orifício ( ft., m );  $d_i$  = altura do nível de água até a parte de baixo da abertura ( ft., m );  $h_i$  = Altura da abertura do orifício (ft., m),  $h_i = T \cdot Sx + a / 12$ .

**BOCA DE LOBO DO TIPO – B:** os autores estudando este tipo de boca de lobo localizadas em áreas baixas, verificaram que elas operam como vertedores para pequenas altura de água sobre a grade, grande dimensão da grade e com maiores áreas de abertura. A capacidade de boca de lobo de grade operando como vertedor é dada pelas Equações 44 e 44a, com :  $L$  = Perímetro da grade em f.t.(m) ignorando o lado da abertura da guia;  $C_w = 3,0$  (1,66 para SI); e  $y$  = Altura da água na guia ft (m).

A boca de lobo opera como orifício para grandes altura de água sobre a grade, pequena dimensão da grade e com menores áreas de abertura. A capacidade operacional da boca de grade como orifício é dada pela Equação 46, com o Coeficiente de Orifício  $C_d = C_o = 0,67$ , e  $g = 32,16 \text{ ft} / \text{s}^2$  ( 9,80 m / s<sup>2</sup>).

**BOCA DE LOBO DO TIPO – C:** segundo os autores, este tipo de boca de lobo é indicada para ser utilizada onde ocorre acúmulo de água em pontos baixos da rua. A capacidade de captação de uma boca de lobo combinada é exatamente igual à da boca de lobo com grade, operando sozinha como vertedor, a menos que a abertura da grade fique entupida, ou aumente a altura de água sobre a grade e ela passe a operar como um orifício. Para boca de lobo combinada operando como vertedor a vazão captada é dada pela Equação 44, com :  $L$  = Perímetro da grade em f.t.(m), ignorando o lado da abertura da guia;  $C_w = 3,0$  ( 1,66 para SI ) e

$y$  = Altura da água na guia ft (m). Em boca de lobo combinada operando como orifício, a capacidade será igual a captação da grade somada à captação da abertura na guia, Equação 50.

$$Q_i = 0,67.A_g(2.g.d)^{0,5} + 0,67.hL.(2.g.d_o)^{0,5} \quad (50)$$

Onde:

$A_g$  = Área de abertura entre as barras da grade ( ft.<sup>2</sup>, m<sup>2</sup> );

O manual de projeto da **CETESB ( 1986 )** fornece equações para determinar a vazão em vários tipos de bocas de lobo. Conforme apresentado, as bocas de lobo são dispositivos especiais, que têm a finalidade de captar as águas pluviais que escoam pelas sarjetas, para em seguida, conduzi-las às galerias ou tubulações subterrâneas.

Basicamente as bocas de lobo foram classificadas em quatro tipos , a saber: **BOCA DE LOBO DO TIPO – A, B, C** e boca de lobo múltipla. Além desses tipos, podem ainda ser classificadas quanto à localização, em: bocas de lobo situadas em pontos intermediários das sarjetas; bocas de lobo situadas em pontos baixos das sarjetas. No primeiro caso as bocas de lobo localizam-se em trechos contínuos e de declividade constante das sarjetas e a entrada das águas pluviais se dá através de apenas uma das extremidades da boca de lobo. No segundo caso, a boca de lobo localiza-se em pontos baixos das sarjetas, decorrentes da mudança de declividade da rua ( de positiva para negativa), ou junto à curvatura das guias, no cruzamento de duas ruas e a entrada das águas pluviais ocorre pelas duas extremidades da boca de lobo.

Segundo o Manual da **CETESB ( 1986 )**, a **BOCA DE LOBO DO TIPO – A** localizada em ponto intermediário da sarjeta, e com sarjeta em depressão, tem as grandezas características conforme mostrado esquematicamente na Figura 03. Considerando-se que a declividade da linha de energia, na faixa de transição  $L_1$ , é praticamente a mesma que ao longo da sarjeta, a perda de carga neste trecho será igual a  $i L_1$ . Aplicando-se o princípio de conservação da energia Equação 08, com  $Z \cong i L_1 + a$ ;  $V = Q_o/A$ ;  $V_o = Q_o/ A_o$ , obtém-se a Equação 09.

Admitindo-se que o nível de água na seção transversal das sarjetas seja horizontal, a área  $A$  dessa seção será uma função de  $y$ . Portanto, uma vez conhecida a depressão  $a$ , o valor de  $y$  pode ser calculado através da Equação 09, por tentativas. Conhecido o valor de  $y$ , a vazão esgotada pela boca de lobo  $Q$  pode ser calculada pela Equação 10, onde os valores de  $K$  e  $C$  são adimensionais, para os quais as experiências permitiram estabelecer os seguintes valores, para boca de lobo simples com depressão ( $a \neq 0$ ). Os ensaios foram realizados em bocas com as seguintes características:  $L_1 = 10.a$ ;  $L_2 = 4.a$ ;  $W = 8.a$ ; para os quais constatou-se que  $K = 0,23$  e o valor de  $C$  pode ser calculado pela Equação 51:

$$C = \frac{0,45}{1,12^{XF^2}} \quad (51)$$

Onde:  $X = L / a \tan \theta$ ; e  $F$  é o número de Froude definido pela Equação 52:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g.y}} \quad \text{ou} \quad F^2 = 2 \left( \frac{E}{y} - 1 \right) \quad (52)$$

O valor de  $E$  é determinado pela Equação 09. Se  $L_2 \neq 4 a$  e  $a \neq b$ ,  $X$  deve se modificar para:  $X = L / a_1 \tan \theta$ ; com valor de  $a_1 = (b - i L_2) / (1 - 4 i)$ , e  $i = \tan \alpha$ , ver a Figura 03. O valor de  $C$  pode ser obtido através da Figura 22. A Equação 10 que determina  $Q/L$ , se encontra representada na Figura 23, sendo que o valor de  $y$  pode ser calculado através da Equação 09, pôr tentativas.

No estudo da BOCA DE LOBO DO TIPO – B em ponto intermediário e sem depressão na sarjeta, o manual da CETESB ( 1986 ) mostra na Figura 24, esquematicamente, as grandezas características deste tipo de boca de lobo. Os critérios de dimensionamento, a seguir apresentados, baseiam-se na hipótese de que as grelhas estejam perfeitamente limpas, isentas de quaisquer obstruções e que operem com a máxima eficiência.

É muito importante lembrar que, na prática, dificilmente todas estas condições são verificadas. Todas as vezes em que forem utilizadas grelhas, deverá ser dispensada atenção especial aos programas de limpeza e conservação das ruas, com o objetivo de manter as bocas de lobo livres de obstruções. Para a boca de lobo com grade, sem depressão na sarjeta, os

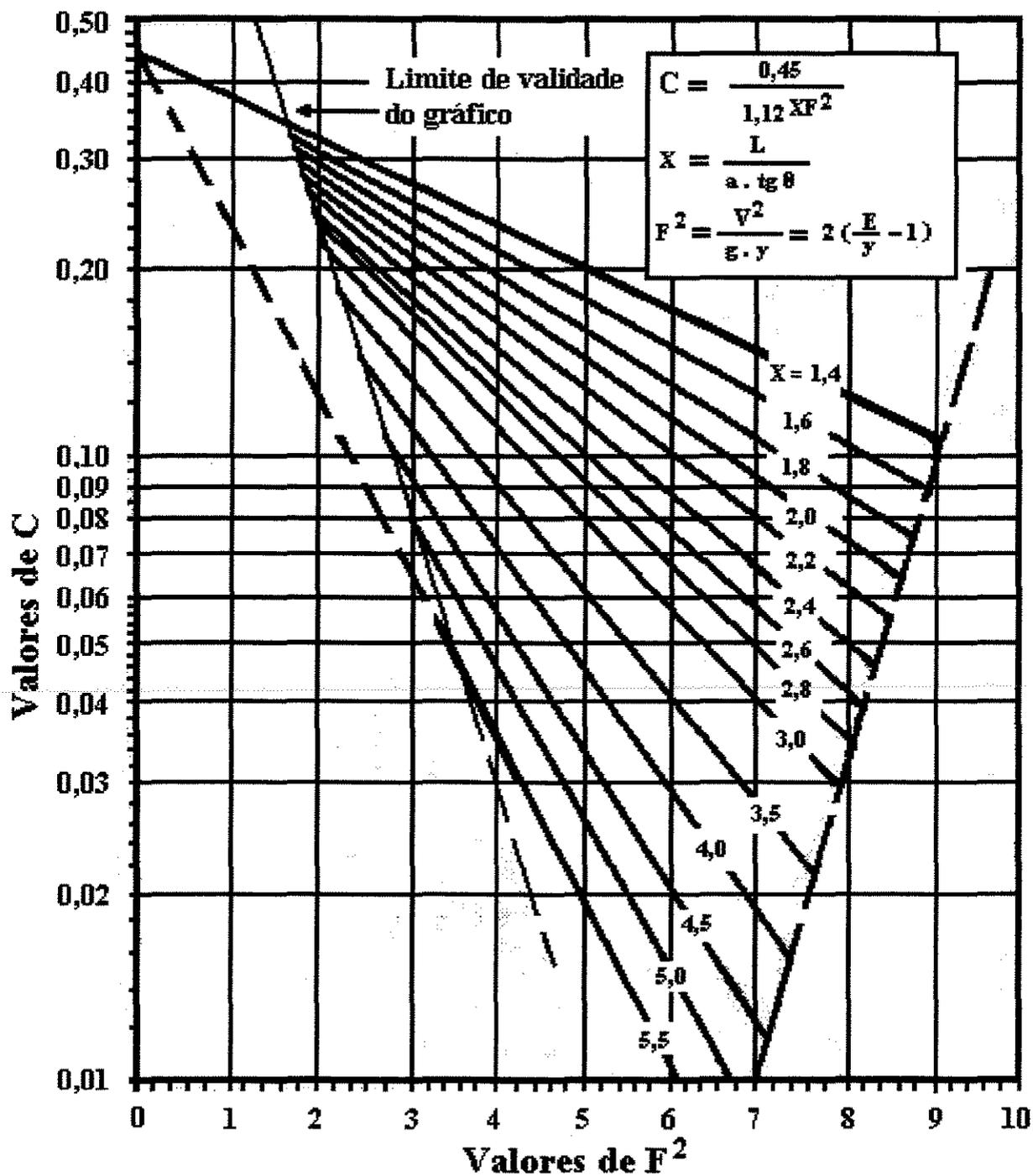


Figura 22 – Gráfico para obter o valor de C – ( CETESB ( 1986), pg. 288 ).

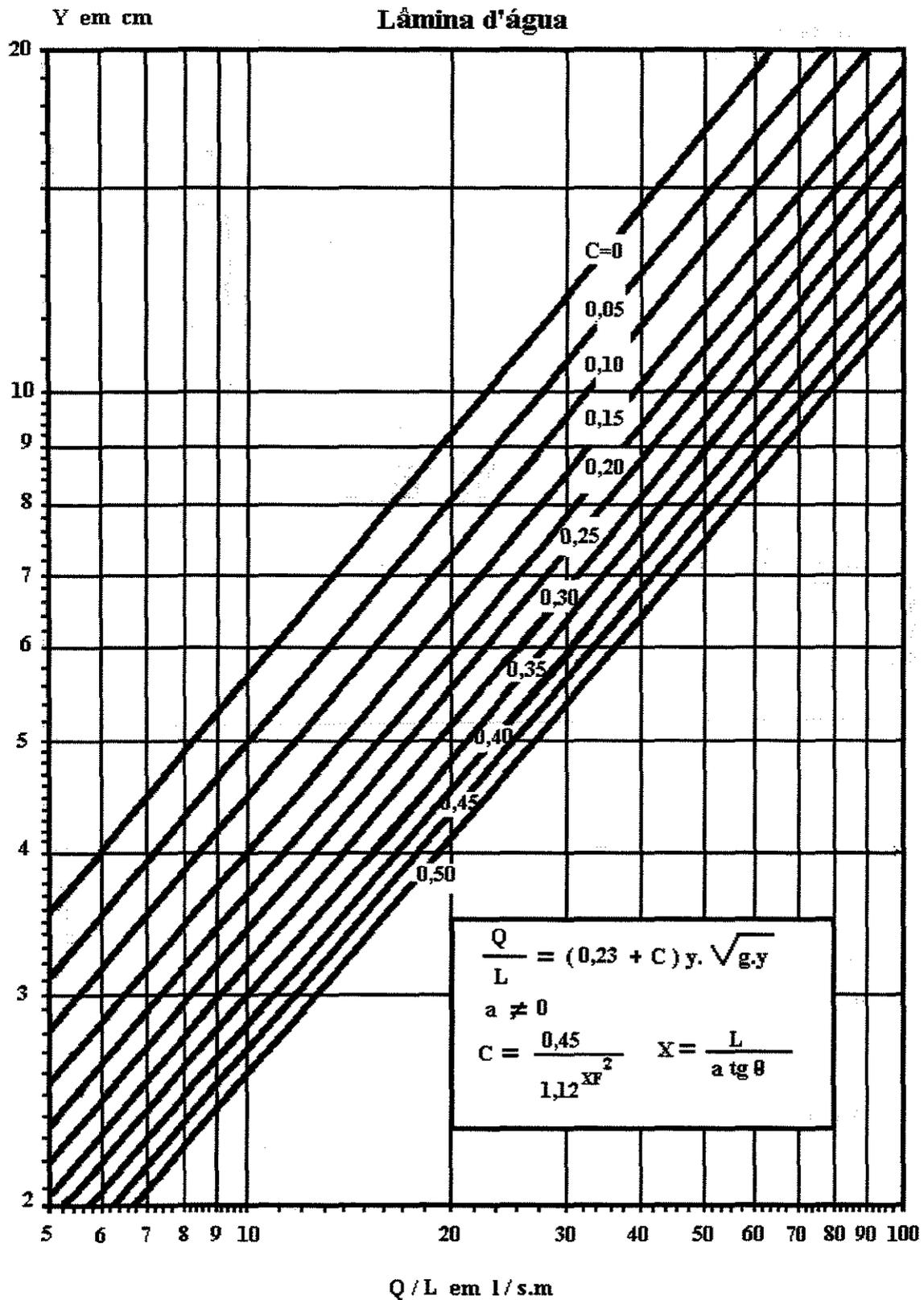


Figura 23 – Gráfico para determinar Q/L – ( CETESB ( 1986), pg. 289 ).

cálculos tornam-se mais simples pois  $\alpha = 0$  e  $y = y_o$ , então a Equação 09 utilizada para se determinar  $y$  e a Equação 51 utilizada para se determinar  $C$ , tornam-se desnecessárias.

Segundo o manual da CETESB ( 1986 ), para que a toda a água seja esgotada longitudinalmente e lateralmente, conforme mostra a Figura 24, a grelha deverá possuir um comprimento  $L'$ , calculado a partir da fórmula empírica da Equação 28, baseada em experiência de laboratório desenvolvida na Universidade de Johns Hopkins por GEYER, BENTON e LI (1956). Por outro lado, o comprimento  $L$  da grelha deverá ser também maior ou igual a  $L_o$ , para que todo o escoamento longitudinal na sarjeta dentro da faixa  $W$  da grelha seja esgotado. Se  $L$  for menor que  $L_o$ , as águas pluviais não esgotadas ultrapassam as grelhas. O valor de  $L_o$  é calculado pela Equação 29. Se for adotado um valor de  $L$  menor que  $L'$ , haverá um excesso de água  $q_2$ , não esgotado pela grelha e que deve ser calculado pela Equação 30.

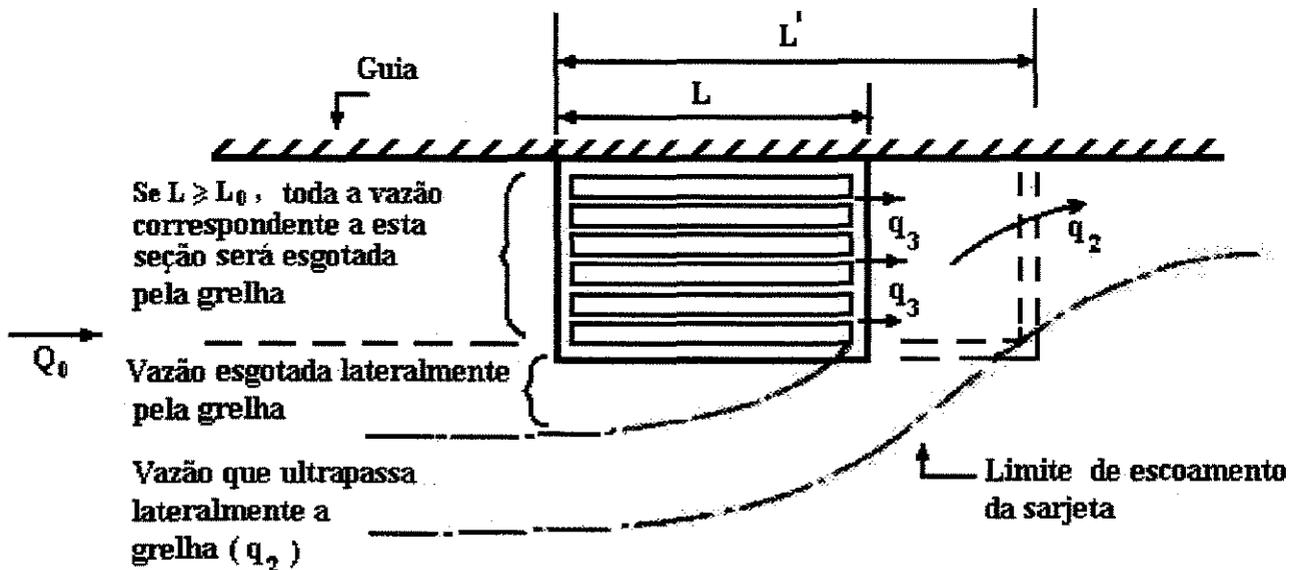
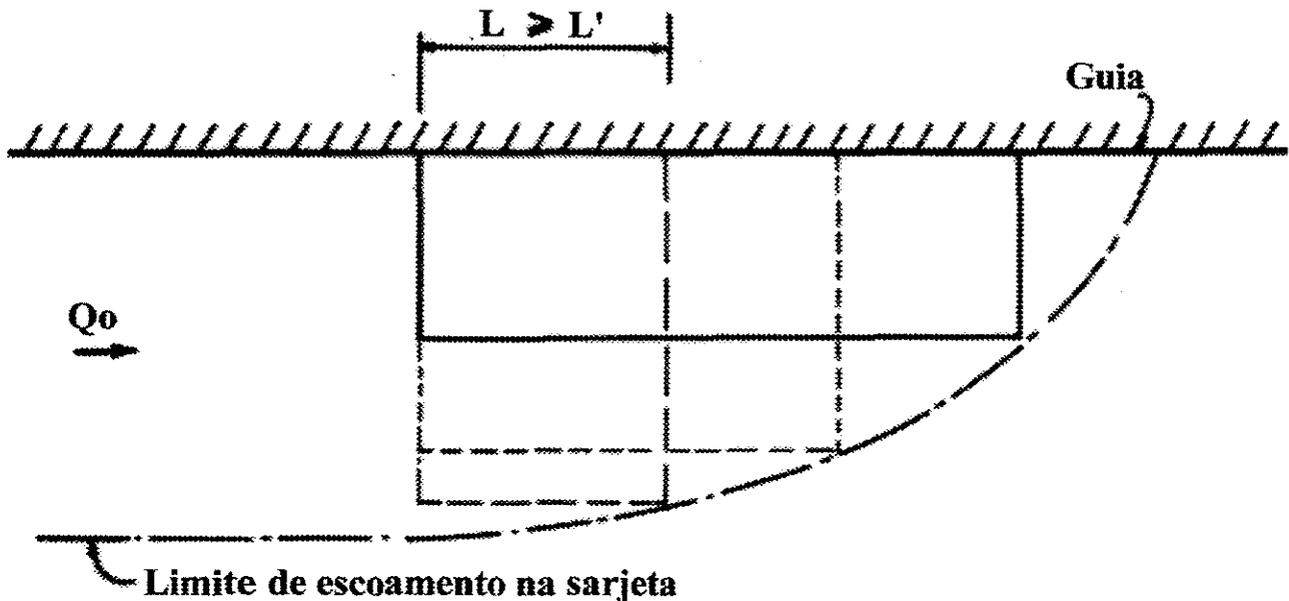


Figura 24 – Grelhas com indicações dos limites de escoamento – ( CETESB ( 1986), pg. 312).

Em condições normais as grelhas devem ser dimensionadas de modo que  $L \geq L_o$ . Se, pôr algum motivo,  $L < L_o$ , a vazão que ultrapassa a grelha  $q_3$ , deverá ser calculada pela Equação 23. Assim sendo, a vazão total que ultrapassa a grelha é calculada por :  $q = q_2 + q_3$  e, finalmente, a vazão esgotada pela grelha, será :  $Q = Q_o - q$ . Conforme esquema apresentado

na Figura 25, várias configurações de grelhas poderão ser utilizadas para interceptar o mesmo volume de água. Embora do ponto de vista estrutural seja desejável uma grelha larga e curta, o manual da CETESB ( 1986 ) apresenta que é muito mais eficiente se ela for estreita e longa, pois terá menor probabilidade de obstrução por detritos.



**Figura 25 – Alternativas de posicionamento das grelhas para interceptar 100% das vazões pelas sarjetas – ( CETESB ( 1986), pg. 312 ).**

No estudo de BOCA DE LOBO DO TIPO – C apresentado no manual da CETESB (1986), mostra que trata-se de uma associação entre a boca de lobo simples e a grelha, e que funciona como um conjunto único, podendo ser construída com ou sem depressão, e em pontos intermediários das sarjetas ou em pontos baixos. Normalmente, a grelha é instalada defronte à abertura da guia, mas pode também ser colocada à montante ou à jusante. Foram elaborados gráficos para várias declividades transversais, que fornecem o valor da vazão esgotada pela boca de lobo combinada,  $Q$ , tendo como dado de entrada o valor da vazão na sarjeta a montante da boca de lobo,  $Q_o$ , conforme apresentado na Figura 26.

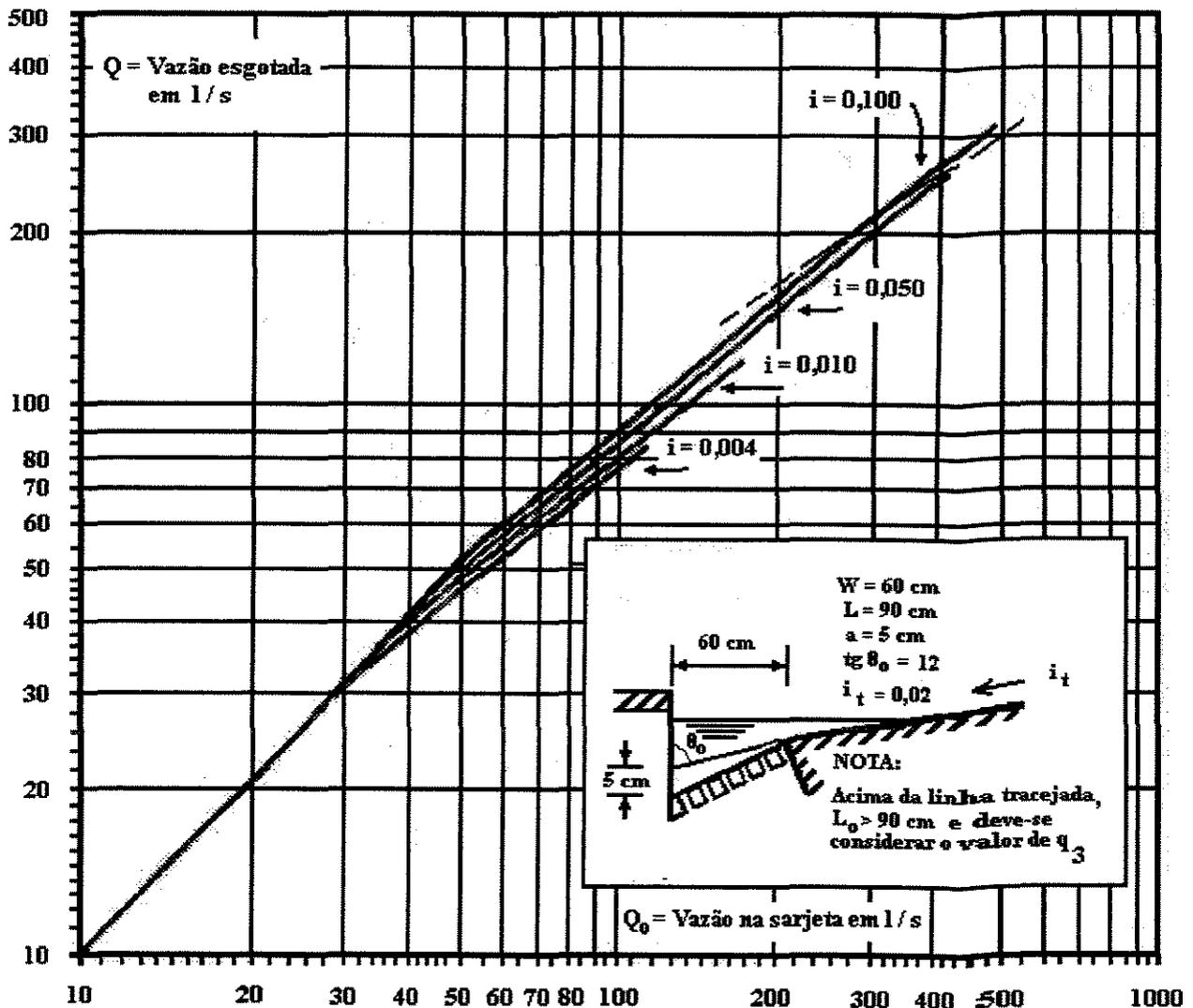


Figura 26 – Gráfico para determinar a vazão escoada da BOCA DE LOBO TIPO – C, CETESB (1986), pg. 307).

Acima das linhas tracejadas, o gráfico fornece resultados parciais, porque parte das águas já não é mais interceptada e passa sobre as grelhas ( $q_3$ ). Segundo o manual da CETESB (1986), as experiências realizadas em laboratório revelaram que a abertura da guia junto à grelha melhora o esgotamento das águas, além de contribuir para diminuir o comprimento,  $L_0$ , da grelha. Do ponto de vista prático, todavia, um escoamento apreciável pela abertura da guia somente ocorre quando a grelha já se encontra obstruída e provocando a formação de ressalto à sua frente. Assim mesmo, a parcela de descarga interceptada pela abertura da guia é ainda relativamente

pequena porque esta abertura, quando utilizada em conjunto com a grelha, geralmente possui comprimento relativamente reduzido.

No estudo desenvolvido por **SOUZA ( 1986 )**, sobre eficiência hidráulica de boca de lobo , está envolvida apenas a boca de lobo do tipo “com abertura na guia” - BOCA DE LOBO DO TIPO – A, com e sem depressão na sarjeta. Tal estudo teve o objetivo de estabelecer, através de modelo físico reduzido, os comportamentos hidráulicos dos referidos tipos de boca de lobo. O termo comportamento hidráulico corresponde à eficiência ( $Q/Q_0$ ) da boca de lobo em função dos parâmetros hidráulicos e geométricos intervenientes no fenômeno.

Para se determinar a eficiência ( $Q/Q_0$ ) de uma boca de lobo com abertura na guia faz-se necessária a medição da vazão captada pela boca,  $Q$ , e a vazão da sarjeta a montante da boca,  $Q_0$ . A vazão  $Q$  captada depende, principalmente do comprimento  $L$  da boca de lobo e da profundidade máxima,  $y_0$ , associada ao escoamento à montante da boca, onde a vazão é  $Q_0$ . A vazão  $Q_0$  e a profundidade são relacionadas através de uma lei de resistência, quando o escoamento é suposto permanente e uniforme. A grande dificuldade no estabelecimento de uma lei de eficiência hidráulica de uma boca de lobo, está na determinação da lei de resistência do escoamento na sarjeta.

Uma boca de lobo simples, com depressão na sarjeta conforme Figura 27 é, segundo o autor, em última análise, um vertedor lateral para o qual a aplicação da equação da energia e a adoção de hipóteses simplificadas levam a uma lei do tipo :

$$Q = C_Q \cdot L \cdot y_0 \sqrt{g \cdot y_0} \quad (53)$$

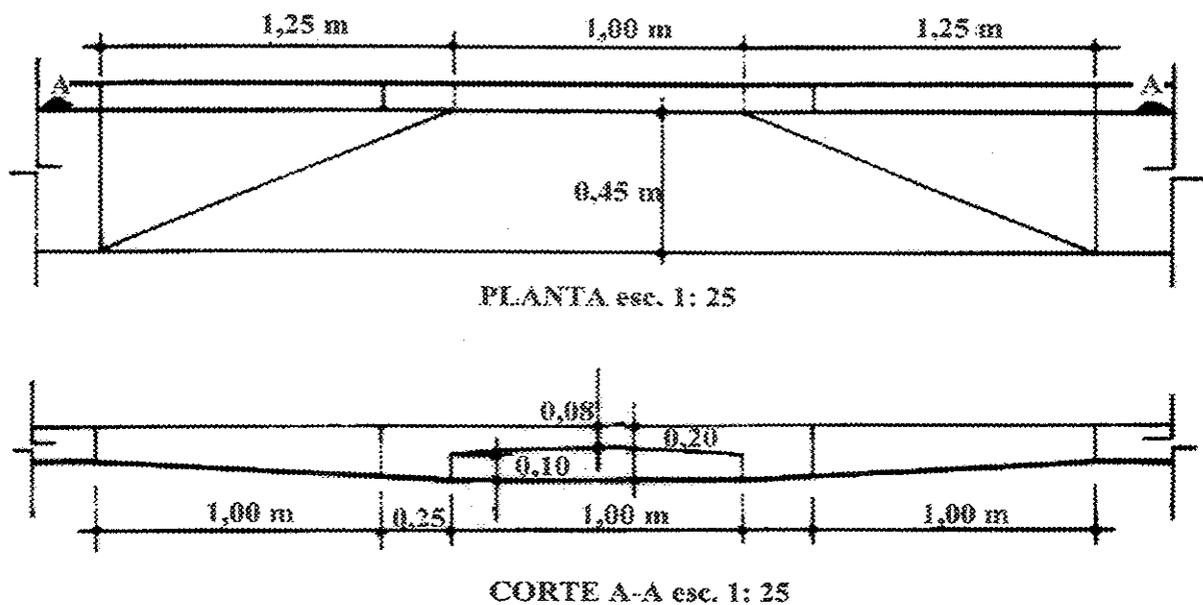
Para a vazão captada pela boca de lobo, a equação pode ser colocada na forma da Equação 54:

$$\frac{Q}{L} = K(\theta) \cdot y_0^{3/2} \quad (54)$$

O coeficiente  $K(\theta)$  engloba o coeficiente de descarga  $C_Q$  e a aceleração gravitacional,  $g$ . Com  $K(\theta)$  se quer salientar que se tem diferentes valores de  $K$  para diferentes inclinações

transversais da sarjeta ( diferentes ângulos  $\theta$  ). Como o objetivo principal deste estudo foi o estabelecimento das eficiências hidráulicas das bocas de lobo com e sem depressão, instaladas numa sarjeta padrão, isto é, sarjeta com  $tg\theta = 12$  e associada ao modelo 1:1, o autor propôs, para projeto de boca de lobo de abertura na guia e com depressão na sarjeta, a seguinte lei de captação, Equação 55:

$$\frac{Q}{L} = 1,02 \cdot y_0^{3/2} \quad (55)$$



**Figura 27 – Boca de lobo com depressão na sarjeta estudada nos modelos 1:3 e 1:1 (dimensões protótipo) – SOUZA ( 1986), pg. 11 ).**

Obtêm-se a vazão de aproximação na sarjeta pela Equação 56:

$$Q_o = 36,424 \cdot y_o^{5/2} \sqrt{i/f} \quad (56)$$

Calcula-se a eficiência de captação da boca de lobo estudado pela Equação 57:

$$\frac{Q}{Q_o} = 0,336 \cdot \frac{L}{y_o \cdot \tan\theta \sqrt{\frac{i}{f}}} \quad (57)$$

Para  $tg\theta = 12$ , o fator de atrito  $f$  pode ser calculado pela Equação 58:

$$f = [-2 \cdot \log_{10}(M + N)]^{-2} \quad (58)$$

O valor de  $M$  e  $N$  são determinados como a seguir:

$$M = \frac{\varepsilon}{6,87 \cdot y_0} \quad \text{e} \quad N = \frac{2,2 \cdot 10^{-7}}{y_0^{3/2} \cdot \sqrt{i}} \quad (58 a)$$

Adotando  $\varepsilon = 0,002 \text{ m}$ .

Portanto quando são conhecidos, o ângulo  $\theta$  da sarjeta ( $tg\theta = 12$ ), a declividade longitudinal  $i$ , a rugosidade  $\varepsilon$  da sarjeta, a profundidade  $y_0$  do escoamento, então o fator de atrito  $f$  pode ser calculado pela Equação 58. Determinam-se os adimensionais  $L / (y_0 \cdot tg\theta)$  e  $\sqrt{(i/f)}$  e, em seguida, determina-se a eficiência  $Q / Q_0$  pela Equação 57.

Segundo o autor, a boca de lobo com depressão na sarjeta é sempre mais eficiente que a sem depressão, quando instalada na mesma sarjeta. Para uma vazão fixada, ambos os tipos de boca de lobo perdem eficiência com o aumento da declividade longitudinal. A boca de lobo com depressão é mais indicada do que a sem depressão, quando se trata de rua com declividade longitudinal acentuada ( $i > 0,07$ ).

O estudo em modelo reduzido de boca de lobo em guia de sarjeta é grandemente afetado por efeito de escala devido à tensão superficial. Sendo a sarjeta um canal de pequenas dimensões, o escoamento que nela ocorre precisa necessariamente ser tratado por um equacionamento que leve em conta os efeitos da rugosidade e da viscosidade, simultaneamente.

Segundo **DEPOTOVIC (1987)**, um dos componentes menos conhecidos no sistema de drenagem de água pluvial é a boca de lobo (entrada da água pluvial pela guia ou pela sarjeta). A boca de lobo serve como uma “seção de controle” na análise de escoamento de água de chuva. Portanto, foi desenvolvido um estudo da capacidade de captação da boca de lobo e calculada a

sua eficiência, utilizando um modelo de laboratório. O termo “capacidade de captação” é definido principalmente como a quantidade de água que é captada por uma boca de lobo, sem influência ou limitação de sua bacia de captação, tubulação ou algum aparelho. Segundo o autor, o objetivo do estudo foi desenvolver um relacionamento entre a capacidade da boca de lobo e os parâmetros afetados, principalmente, pelos projetos práticos. Mediu-se os parâmetros:  $Q_I$ ,  $Q_A$ ,  $Q_C$ ,  $L_S$ , e  $C_S$ . O cálculo da “eficiência” (capacidade da boca de lobo para capturar certa quantidade de fluxo, medido aproximadamente) foi feito usando a Equação 59:

$$E_F(\%) = \frac{Q_I}{Q_A} \cdot 100 \quad (59)$$

Onde:

$Q_I$  = Vazão captada pela boca de lobo ( l/s );     $Q_A$  = vazão média de aproximação ( l/s );  
 $Q_C$  = Vazão que passa sobre a boca de lobo ( l/s );     $L_S$  = declividade longitudinal ( % ); e     $C_S$  = Declividade transversal ( % ).

Para o estudo proposto, o modelo de laboratório foi construído no Instituto de Engenharia Hidráulica da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Belgrado na Iugoslávia. O modelo foi composto das seguintes partes: a superfície do pavimento (sarjeta) foi feita de madeira compensada de 5,00 x 3,00 m, com declividade da superfície ajustável. Foi construída uma bacia, a montante, onde se instalou um vertedor em V para determinar o fluxo aproximado que entra na sarjeta ( $Q_A$ ). Dois tipos de boca de lobo foram colocadas no modelo e elas podiam funcionar alternadas.

A boca de lobo colocada na sarjeta tinha 32,5 x 49 cm. Uma chapa de ferro móvel substituiu a face vertical, a guia, uma abertura na chapa funciona como boca de lobo da guia. A boca de lobo da sarjeta junto com a boca de lobo da guia formaram a “boca de lobo combinada”. Medidas da vazão captada pela boca ( $Q_I$ ) e da vazão que passa sobre a boca ( $Q_C$ ), foram feitas usando dois vertedores em V colocados a jusante do modelo. Os resultados obtidos foram apresentados em gráficos. A capacidade de captação da boca de lobo combinada (abertura na guia e na sarjeta) é apresentada na Figura 28, para uma dada declividade longitudinal de 2% e para uma vazão de aproximação até 100 l/s ( $Q_A$ ).

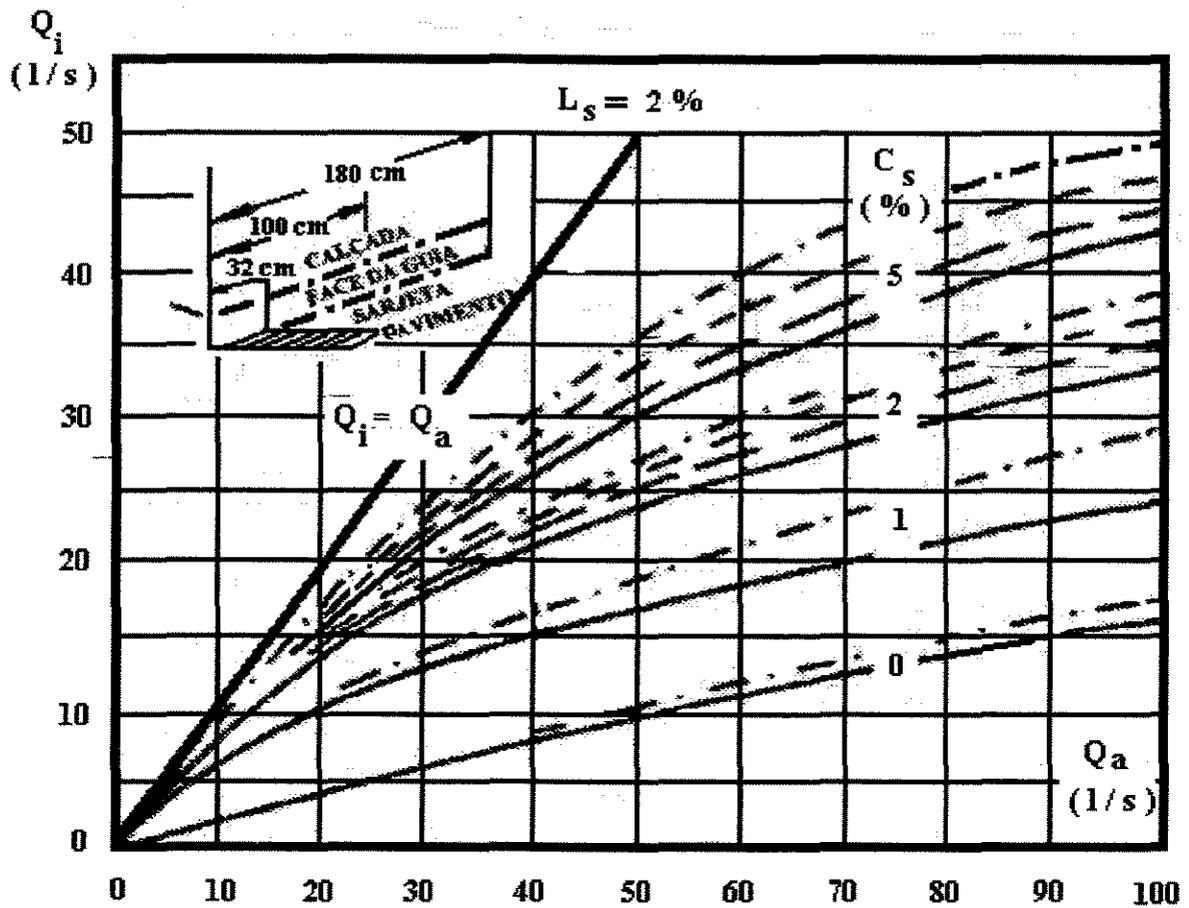


Figura 28 - Vazão captada pela boca de lobo  $Q_i$  para declividade longitudinal de 2% – DEPOTOVIC (1987), pg. 96).

A capacidade que pode ser atribuída para uma boca de lobo combinada é altamente dependente do comprimento da abertura e da declividade transversal, sendo que o fluxo de aproximação também influencia, mas em menor grau.

A vazão captada pela boca de lobo ( $Q_i$ ) para várias declividades transversais ( $C_s$ ) entre zero a 6%, para uma dada vazão de aproximação ( $Q_a$ ) e para declividade longitudinal fixada em 2%, é apresentada na Figura 29. Normalmente assume-se que a capacidade de captação de uma boca de lobo aumenta com o aumento da declividade transversal sem adotar um limite para ambas. Como pode ser observado na Figura 29 existe um limite para o aumento da captação, com uma combinação ótima entre a captação e a declividade. Para uma vazão de aproximação

$Q_a = 60$  l/s, com uma declividade longitudinal fixada em 2 %, e com a declividade transversal igual a 4,5 %, têm-se uma vazão captada pela boca de lobo  $Q_i = 33,5$  l/s. Aumentando-se a declividade transversal para 6 %, não ocorre aumento na vazão captada pela boca de lobo  $Q_i$ , ao contrário, a vazão  $Q_i$  diminui. Segundo o autor conforme os resultados obtidos, a eficiência  $E$  quase nunca foi maior que 80 %, exceto para fluxo muito pequeno ( de 5 l/s ou menos ).

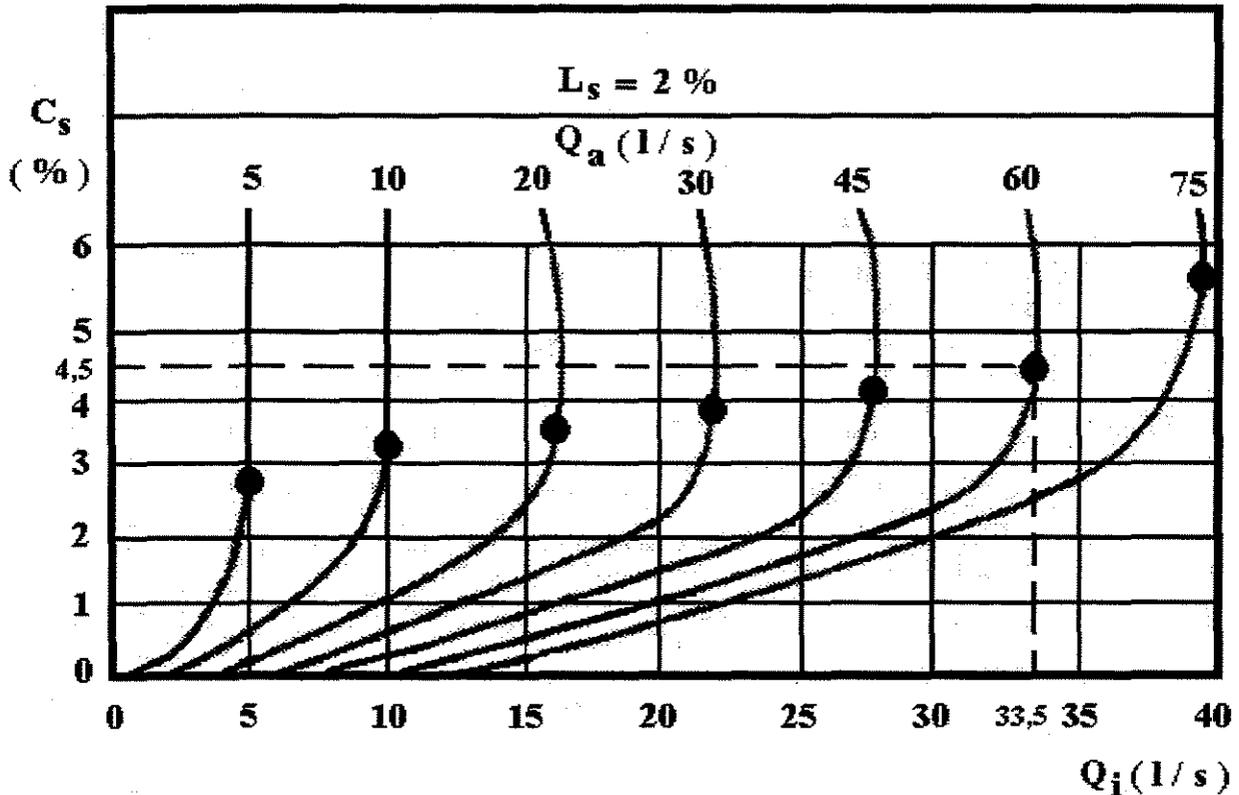


Figura 29 - Vazão captada pela boca de lobo  $Q_i$  – DEPOTOVIC ( 1987 ), pg. 97).

BARREIRO ( 1995 ) relata que do ponto de vista técnico, há carência de desenvolvimento de alternativas e uso de soluções adequadas para a captação e condução de água de precipitação pluvial e controle de seus efeitos. A busca de soluções para drenagem é um desafio para profissionais ligados às aplicações de engenharia aos problemas urbanos. Por outro lado, nas cidades, o escoamento das enxurradas pelas ruas e sarjetas aumenta a velocidade de fluxo da água. Como consequência, a água chega 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, problemas gerados pela sedimentação e pelo transporte de lixo e outros materiais pela água pluvial. Isso causa entupimentos e diminui as capacidades de captação das bocas de lobo e de escoamento pelos sistemas de drenagem.

Segundo o autor, os principais componentes do processo de drenagem nas vias urbanas, que conduzem e controlam o fluxo de água proveniente das chuvas em cidades são: o leito carroçavel nas vias; guias, sarjetas, sarjetões; bocas de lobo; galerias, tubos, caixas e conexões subterrâneas, etc. Durante o processo de drenagem, as inclinações da rua conduzem a água até as sarjetas, o escoamento pelas sarjetas conduz o fluxo d'água até às bocas de lobo, e as bocas de lobo direcionam a água para as galerias subterrâneas.

A chuva que se precipita sobre ruas e terrenos adjacentes, escoam pela sarjeta até atingir um ponto de captação, geralmente uma boca de lobo, que é uma caixa de alvenaria ou concreto, localizada sob o passeio, ou assemelhado, para captar águas superficiais através de abertura na guia, ou sob a sarjeta onde a captação de águas superficiais ocorre por meio de uma grade de ferro fundido ou de barras metálicas, as bocas de lobo, suas aberturas e barras podem comprometer a segurança de pedestres ( cuja capacidade de movimento é limitada pela largura do passo e tamanho dos pés ), bicicletas e motocicletas ( bicis que têm pneus finos).

O conhecimento das condições de operação 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 conseqüentemente, aumenta o volume de água que escoam pela superfície da rua.

Com relação as bocas de lobo, o autor ressalta que todas as referencias bibliográficas são unânimes em destacar a importância da execução dos serviços de manutenção para o funcionamento do processo 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 publicas. Deve se considerar ainda que, no Brasil, há hábitos tristes

quanto à higiene e limpeza urbanas: verifica-se, por exemplo, que em diversas cidades a limpeza urbana é terceirizada pelo Poder Público, os trabalhadores braçais insistem em varrer o lixo para dentro das bocas de lobo. Também os munícipes têm o mesmo hábito de jogar lixo nas bocas de lobo.

O trabalho realizado pelo referido autor trata-se de observação de dados da drenagem da Bacia do Rio Gregório em São Carlos, São Paulo, para desenvolver a dissertação de mestrado sobre “Boca de lobo e drenagem urbana”, segundo o autor as bocas de lobo usada na cidade de São Carlos deve ser melhorada porque tem defeitos de projeto e execução tais como: uso de tipos e disposição de grades que comprometem capacidade de captação e a segurança dos usuários; entrada de bocas de lobo combinadas com abertura na guia inoperante, ausência de depressão para facilitar a entrada de água. A construção, operação e manutenção mais adequada dos elementos componentes do sistema de drenagem da cidade de São Carlos, podem contribuir significativamente para melhorar o sistema de captação de águas superficiais, e minimizar as interferências com o tráfego na cidade.

**BARREIRO ( 1997 )** apresenta resultados obtidos durante observação de bocas de lobo e do funcionamento de componentes do processo para drenagem superficial de vias urbanas , na tentativa de mostrar e identificar informações que colaborem no aperfeiçoamento da qualidade de condução de água que escoe na superfície de ruas. Ele adotou o procedimento de estudar conceitos usados na 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.

O autor ressalta que 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

águas pluviais, etc. Deve-se acrescentar 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 de componentes para drenagem de água precipitada por chuva.

Segundo o autor 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. 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, isoladamente, ou em conjunto, ressaltam a importância de estudos sobre drenagem e suas conseqüências.

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”, ou sob a sarjeta, onde a captação de águas superficiais ocorre por meio de uma grade de ferro fundido ou de barras metálicas. A boca de lobo combinada é uma composição entre boca de lobo simples e boca de lobo com grade, que funciona como um único conjunto. Nos três casos pode ser construída com ou sem depressão, é localizada em pontos intermediários ou em pontos baixos da sarjeta. É comum a grade ser instalada defronte à abertura da guia, mas pode ser instalada à montante ou à jusante.

O autor resumiu algumas considerações sobre as vantagens em se utilizar um ou outro tipo de boca de lobo, segundo ele 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.

O autor analisando as observações em campo da drenagem na cidade de São Carlos em trechos aleatórios, resumiu as ocorrências mais comuns observadas sobre o comportamento das bocas de lobo:

- a) As depressões executadas nas sarjetas para as bocas de lobo não seguem diretrizes preestabelecidas em projetos, ou desaparecem por recapeamento no revestimento das ruas;
- 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;
- 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) Não há controle de qualidade de bocas de lobo em São Carlos;
- f) 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 50 l/s por boca de lobo, independente do tipo e localização;
- g) Há sobrecarga nas primeiras bocas de lobo, o que provoca a transferência de volumes de águas através de escoamento superficial pela caixa das vias para quadras seguintes;
- h) Bocas de lobo construídas com grades perpendiculares ao fluxo, com grande espaçamento entre elementos da grade, perigoso para pedestres, ciclistas; e
- i) Bocas de lobo com materiais acumulados na grade, falta de manutenção e limpeza, e algumas bocas de lobo com defeitos de construção.

Segundo o autor 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. Pode-se

perfeitamente generalizar as observações do autor para a drenagem e bocas de lobos da cidade de São Carlos e aplica-las a muitas outras cidades brasileiras, seguramente em Santa Bárbara d'Oeste a situação das bocas de lobo não diferem muito das citadas pelo autor.

Os pesquisadores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, **POMPÊO e SAVIETTO ( 1997 )**, desenvolveram um aplicativo computacional para projeto de bocas de lobo com abertura na guia e com grade. O programa foi inicialmente desenvolvido para uso didático no ensino de graduação. Eliminando a necessidade de cálculos manuais repetitivos, o programa possibilita a análise de diferentes alternativas de dimensionamento e verificação da capacidade de captação. O programa pode incorporar ainda um banco de equações de chuvas intensas para cálculo da vazão escoada pela sarjeta pelo método racional.

Segundo os autores, a eficiência de um sistema de drenagem de pavimentos de vias públicas depende da captação do escoamento superficial das sarjetas pelas bocas de lobo que o transfere para as galerias pluviais. Para que não ocorram inundações nos pavimentos, as bocas de lobo devem ser dimensionadas para captar as vazões previstas. A capacidade de captação de uma boca de lobo é condicionada pelas características do escoamento na sarjeta à montante, pelo tipo de boca de lobo, suas dimensões e localização. Em função do grande número de variáveis envolvidas e também pelo fato de serem utilizados resultados experimentais, o dimensionamento de bocas de lobo necessita de uma rotina exaustiva de cálculos.

Por isto os autores desenvolveram o Sistema BDL, que é um programa aplicativo desenvolvido com objetivo de facilitar o projeto de bocas de lobo, realizando todos os cálculos e permitindo ao projetista uma rápida comparação entre diferentes alternativas. O programa pode operar com bocas de lobo com abertura na guia, com grade, mista e ainda considerando depressão local na seção da boca de lobo. Podem ser dimensionadas bocas de lobo situadas em trechos de sarjeta com escoamento em uma única direção e declividade uniforme ou em pontos baixos sujeitos ao acúmulo de água.

O dimensionamento de uma boca de lobo com abertura na guia, conforme relato os autores, depende da determinação do comprimento de abertura necessário para captar uma parcela especificada da vazão total  $Q_0$  à montante da boca de lobo, deve ser conhecidas as características do escoamento na sarjeta. Para que uma boca de lobo situada em trecho intermediário de sarjeta consiga captar uma vazão  $Q$ , o comprimento da abertura é dado pela Equação 60:

$$L_T = 0,82 \cdot Q^{0,42} \cdot S^{0,3} \left( \frac{1}{nS_x} \right)^{0,6} \quad (60)$$

Onde:

$L_T$  = Comprimento da abertura da boca de lobo;  $S$  = declividade longitudinal da sarjeta;  $S_x$  = declividade transversal;  $n$  = coeficiente de rugosidade de Manning ( o autor adotou o valor de  $n = 0,013$  ).

No caso de uma boca de lobo com grade situada em trecho intermediário de sarjeta, suas dimensões devem permitir a captação do escoamento na sarjeta que passa sobre a grade e, quando a largura do escoamento for maior que a largura da grade, também o escoamento que passa por fora da mesma. O autores consideram que a captação de uma boca de lobo com grade é igual à eficiência da grade multiplicada pelo fluxo total da sarjeta. Esta eficiência é dada pela Equação 61:

$$E = R_f \cdot E_o + R_s ( 1 - E_o ) \quad (61)$$

Onde:

$E_o$  é a razão entre a vazão frontal e a vazão lateral, primeiro termo à direita da equação é a eficiência da interceptação da vazão frontal, e o segundo termo é a eficiência de interceptação do fluxo lateral em relação ao total da vazão lateral da sarjeta. O termo  $R_f$  é expresso na Equação 62:

$$R_f = 1 - 0,29 ( V'' - V_o'' ) \quad (62)$$

Onde:

$V''$  = Velocidade de escoamento na sarjeta;  $V_o''$  = velocidade na qual começa a ocorrer espirramento do escoamento pela grade, é obtida experimentalmente;  $R_s$  é a razão entre a vazão interceptada lateralmente pela grade e a vazão lateral total, é expresso na Equação 63:

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{0,15.V''^{1,8}}{S_x.L^{2,3}}} \quad (63)$$

A razão entre a vazão frontal e a vazão lateral  $E_o$  escoada na sarjeta é dada pela Equação 64:

$$E_o = 1 - (1 - W'/T)^{2,67} \quad (64)$$

Onde:

$W'$  = largura da sarjeta.

Os pontos baixos de sarjetas estão sujeitos à acumulação de água e as bocas de lobo aí localizadas poderão operar como vertedor ou como orifício, dependendo da altura da lâmina d'água. Para a boca de lobo com abertura na guia tem-se: a) Se  $y''/h'' \leq 1$ , a boca de lobo opera como vertedor e a vazão captada será dada pela Equação 65:

$$Q = 1,703 L y''^{3/2} \quad (65)$$

Onde :

$y''$  = altura da lâmina d'água para a boca de lobo com abertura na guia;  $h''$  = altura da abertura da boca de lobo. b) Se  $y''/h'' > 2$ , a boca de lobo opera como orifício e a vazão captada será dada pela Equação 66:

$$Q = 3,101.L.h''^{3/2} \sqrt{\frac{y''}{h''} - \frac{1}{2}} \quad (66)$$

c) Se  $1 < y''/h'' < 2$ , a boca de lobo apresentará operação indefinida, ora como vertedor, ora como orifício.

Conforme ressalta os autores, uma boca de lobo com grade operando nas mesmas condições tem a capacidade de captação condicionada pela área das aberturas e pela altura da

água sobre a grade. Para cargas até 12 cm, a operação da boca de lobo se dará como vertedor. A taxa de captação por unidade de perímetro molhado de abertura da grade será dado pela Equação 67:

$$Q/P = 1,655 y^{3/2} \quad (67)$$

O perímetro da abertura da grade  $P$  deve ser calculado não considerando as barras e os lados quais a água não entra, como o lado que está junto à face da guia. Para cargas iguais ou superiores a 42 cm, a operação da boca de lobo se dará como orifício. A taxa de captação por unidade de área de abertura de grade será dado pela Equação 68:

$$Q/A = 2,91 y^{1/2} \quad (68)$$

Para cargas entre 12 e 42 cm, a operação é indefinida, não havendo formulação matemática adequada. Os autores aconselha-se o cálculo pelos dois casos tomando-se o resultado mais desfavorável.

A partir das equações teóricas apresentadas os autores desenvolveram o Sistema BDL, que foi desenvolvido para ambiente Windows e programado em C++ . O programa foi concebido para realizar cálculos referentes ao dimensionamento e a verificação de bocas de lobo localizadas em ponto intermediário ou em ponto baixo da sarjeta. Segundo os autores o programa BLD foi inicialmente desenvolvido para uso didático na disciplina Drenagem Urbana, oferecida para alunos de graduação em engenharia. Sua finalidade era liberar o aluno de cálculos repetitivos, possibilitando a análise de diferentes alternativas para o problema de dimensionamento de bocas de lobo. Em vista da grande facilidade de uso, o programa foi sendo modificado, estabeleceu-se a idéia de operação do programa com duas alternativas básicas, o dimensionamento e a verificação de operação de uma boca de lobo. A versão para ambiente Windows atualmente disponível incorpora outras sugestões, por exemplo, a estimativa da vazão escoada pela sarjeta no próprio aplicativo. Por isto o BLD está sendo bastante utilizado a nível didático e espera-se que futuras alterações possam aumentar seu potencial de uso e transformá-lo numa verdadeira ferramenta para projeto.

O pesquisador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Colorado, Denver, GUO ( 1997 ), desenvolveu um trabalho com algumas características semelhante ao desenvolvido por POMPÊO e SAVIETTO (1997).

O autor concebeu um software denominado UDINLET para análise de hidráulica da rua e dimensionamento de bocas de lobo. Para as bocas de lobo com grade ele utilizou no desenvolvimento teórico equações apresentadas por POMPÊO e SAVIETTO ( 1997 ) da Equação 60 a 64. Igualmente para o estudo de boca de lobo com abertura na guia o autor utilizou as equações para vertedor ou orifício dependendo da altura da lamina d'água. Para o determinação da vazão na sarjeta utilizou-se a equação de Manning.

Segundo o trabalho apresentado pelo autor as bocas de lobo podem ser classificadas para projetos em quatro grande tipos: a ) Boca de lobo com grade; b) Boca de lobo com abertura na guia; c) Boca de lobo combinada, com grade e abertura na guia; e d) boca de lobo de fenda, que consiste de uma fenda estreita e comprida localizada na sarjeta.

O projeto de sistema de drenagem e dimensionamento de bocas de lobo, segundo o autor é uma tarefa bastante complexa, geralmente é obtida através de tentativas e processos interativos. Desta forma atualmente os programas desenvolvidos com a finalidade de agilizar, facilitar e evitar cálculos repetitivos são de grande valia para os projetistas e estudiosos de drenagem urbana.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 PLANO GERAL

Neste trabalho fez-se um estudo em três tipos de boca de lobo. Para tanto, tomou-se os seguintes passos :

- Seleção e caracterização das bocas de lobo a serem estudadas;
- Medição da velocidade da água na sarjeta, à montante dessas bocas de lobo;
- Medição da altura da água na sarjeta à montante e à jusante das bocas de lobo;
- Avaliação da eficiência de captação das bocas de lobo;
- Cálculo das vazões captadas pelas bocas de lobo utilizando algumas equações e métodos citados na literatura;
- Utilizando um caminhão pipa, com vazão conhecida efetuou medições de  $Y_o$  e  $V_o$  ;
- Cálculo da vazão e da velocidade na sarjeta utilizando a equação com simplificação e a sem simplificação e comparação com a vazão medida diretamente com o caminhão pipa;
- Determinação do coeficiente de rugosidade  $n$ , através da vazão  $Q_o$  e do  $Y_o$  conhecido; e
- Medições de  $Y_o$  e  $V_o$  efetuadas em dias de chuvas.

### 4.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS BOCAS DE LOBO

#### 4.2.1 SELEÇÃO

Foram selecionados três tipos de bocas de lobo utilizados na cidade de Santa Bárbara d'Oeste, São Paulo, e que são muitos citados na literatura sobre o assunto. As bocas de lobo escolhidas pela facilidade em efetuar as medições, estão localizadas nos bairros Jardim Pérola e Jardim Esmeralda na cidade de Santa Bárbara d'Oeste ( Figura 30), Estado de São Paulo, Brasil, com coordenadas geográficas de Latitude Sul 22° 45' 00" e Longitude Oeste 47° 24' 45". Na

Figura 31, estão localizadas nos Jardins Pérola e Esmeralda as bocas de lobo Tipos - A, B e C que foram estudadas neste trabalho.

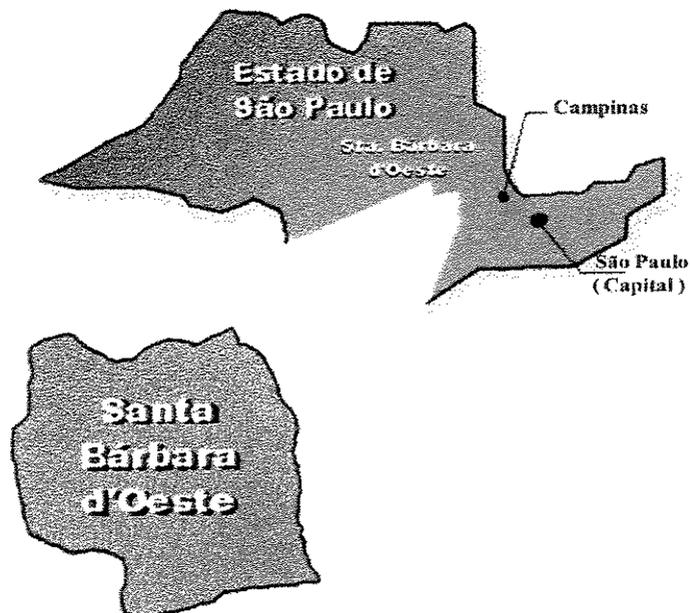
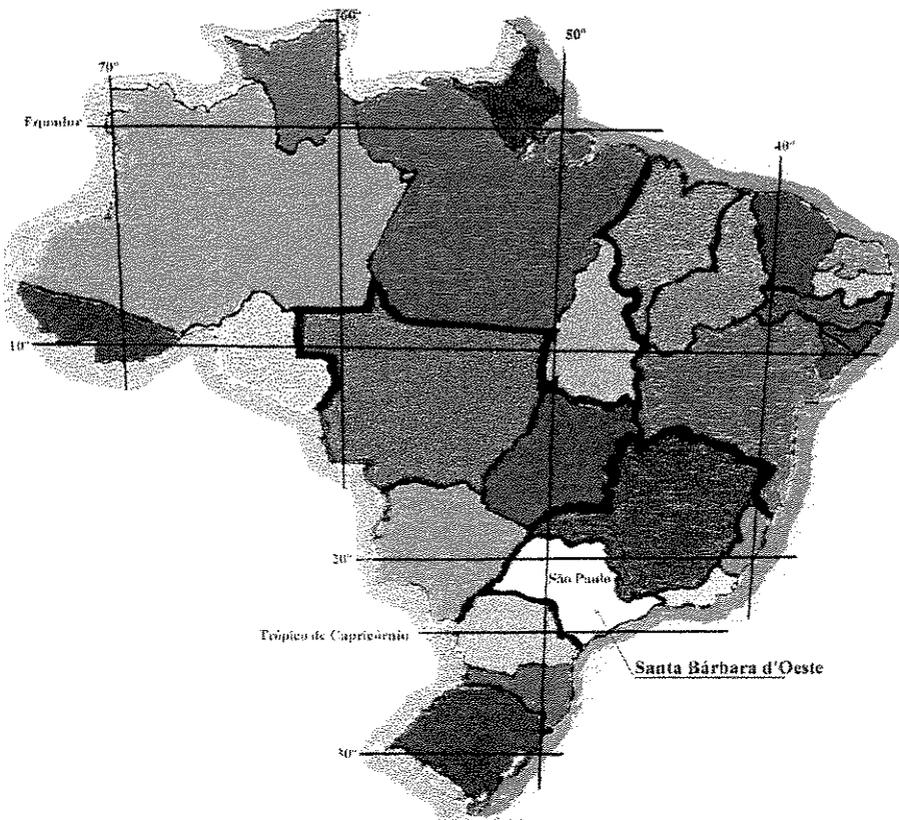


Figura 30 – Mapa de localização de Santa Bárbara d'Oeste no Brasil e no estado de São Paulo – ( Home page da Prefeitura Municipal de Santa Bárbara d'Oeste).

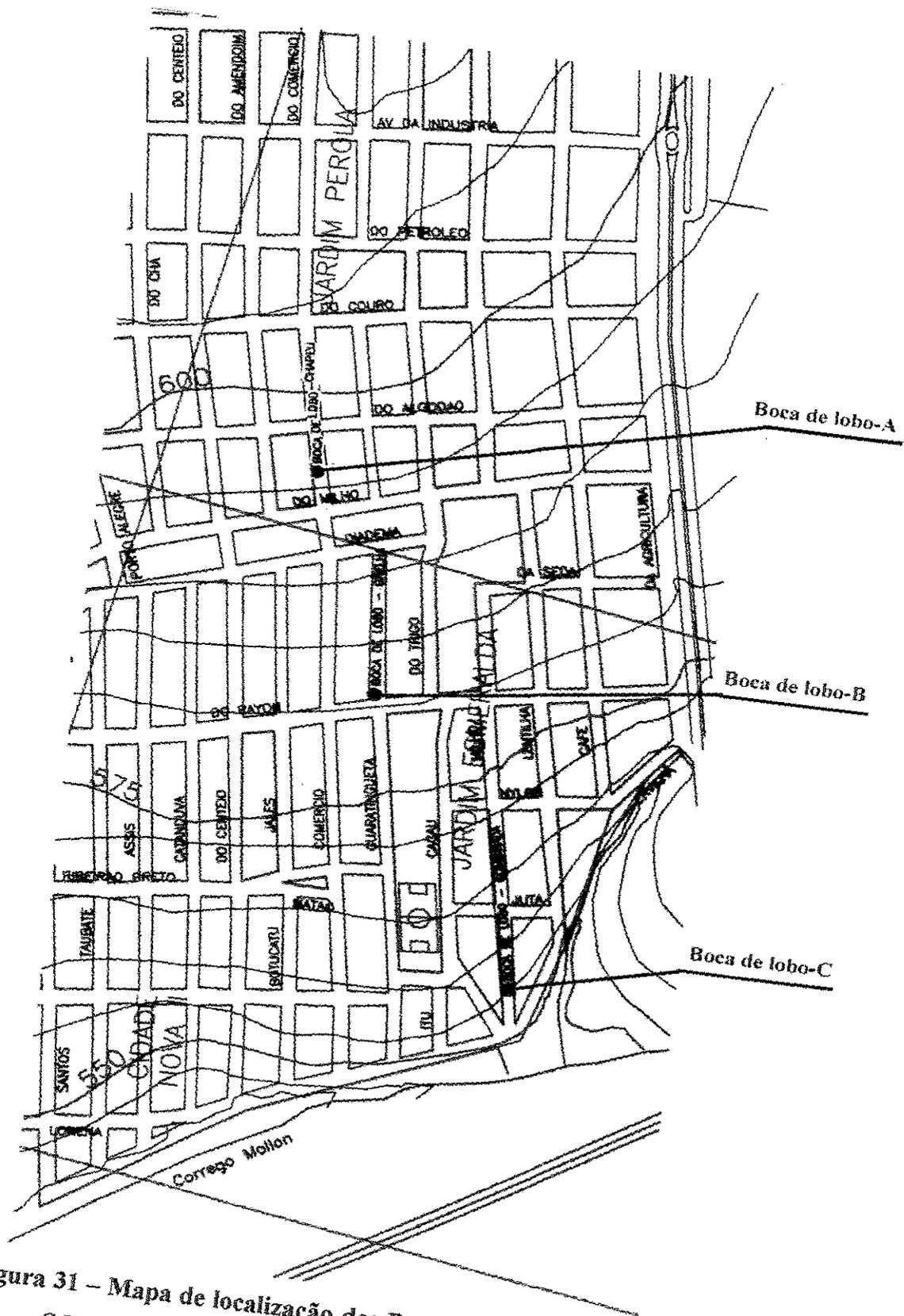


Figura 31 - Mapa de localização das Bocas de Lobo no Jardim Pérola e no Jardim Esmeralda - S.B.O. - ( Mapa da Cidade de Santa Bárbara d'Oeste - sem escala ).

## 4.2.2 CARACTERIZAÇÃO

### a) Boca de lobo Tipo – A

Localizada na Av. do Comércio, do lado oposto ao nº 879, em frente do campo de futebol, no Jardim Pérola em Santa Bárbara d'Oeste – S.P., Figura 31. É do tipo chapéu (dupla) com depressão na sarjeta. A boca de lobo Tipo - A consiste de duas aberturas na guia de 100 x 12,3 cm cada ( boca de lobo de duplo chapéu ), localizada em ponto intermediário da sarjeta ( isto é, em trecho com declividade constante, com o fluxo entrando na boca por apenas um lado ) e possui um rebaixamento de sarjeta ( $\alpha$ ) de 10 cm no ponto *A*.

Foi executado um levantamento topográfico para locação e marcação da boca de lobo estudada, fazendo levantamentos das seções transversais e a determinação da declividade longitudinal da sarjeta. Foi marcada na guia, com tinta à óleo na cor amarela, a localização dos pontos *A*, *B*, *C*, e *D* conforme podem ser observados no **Anexo I**.

- O ponto *A* foi localizado no meio da boca de lobo Tipo - A, entre as duas aberturas da guia. Para se determinar a declividade transversal ( $it$ ) na seção do ponto *A* onde a largura total da rua é 9,02 m, foi medida a largura do trecho a 1/4 da guia ( 2,25 m ) pois foi observado em campo que o caudal de inundação não ultrapassava a 1/4 da largura da rua, e a declividade transversal de toda a seção não corresponde a declividade do trecho onde o fluxo realmente passa, foi determinado o desnível  $\Delta h = 0,164$  m. Assim a declividade transversal no trecho foi  $it_A = 0,07288$  m / m. O tubo de saída para a galeria é de diâmetro 0,40 m e a galeria neste trecho possui diâmetro de 0,60 m.

- O ponto *B* foi localizado à montante da boca de lobo Tipo - A, distante 10,00 m do ponto *A*, e será utilizado para medição da altura da água na sarjeta ( $y_{oB}$ ). O valor medido de  $y_{oB}$ , encostado na guia, será utilizado na determinação do fluxo na sarjeta ( $Q_{oB}$ ). Para se determinar a declividade transversal ( $it$ ) na seção do ponto *B* onde a largura total da rua é 9,00 m, foi medida a largura do trecho a 1/4 da guia ( 2,25 m ) e o desnível  $\Delta h = 0,103$  m, portanto a declividade transversal no trecho foi  $it_B = 0,04578$  m / m.

- O ponto *C* foi localizado à jusante da boca de lobo Tipo - A e distante 10,00 m do ponto *A*. O desnível entre o fim do rebaixamento da sarjeta e o ponto *C* é de  $\Delta h = 0,304$  m e a distância do fim do rebaixamento da sarjeta até o ponto *C* é de 8,30 m, portanto a declividade longitudinal ( $I = \Delta h / d$ ) da sarjeta neste trecho será de  $I_j = 0,03663$  m / m. O ponto *C* será utilizado para medição da altura da água na sarjeta à jusante da boca de lobo Tipo - A ( $y_{oc}$ ), o valor medido de  $y_{oc}$  encostado na guia será utilizado para determinar a vazão ( $Q_{oc}$ ), não captada pela boca de lobo. Para-se determinar a declividade transversal ( $it$ ) na seção do ponto *C* onde a largura total da rua é 9,04 m, foi medida a largura do trecho a 1 / 4 da guia ( 2,26 m ) e o desnível  $\Delta h = 0,065$  m, portanto a declividade transversal no trecho foi  $it_C = 0,02876$  m / m.

- O Ponto *D* foi localizado a 30 m distante do ponto *A* e a 28,30 m do início do rebaixamento da sarjeta, neste trecho foi determinada a declividade longitudinal ( $I_m$ ) da sarjeta à montante do ponto *A*. O desnível foi  $\Delta h = 1,171$  m, e  $I_m = 0,04138$  m / m. O ponto *D* localiza a 20 m do ponto *B*, a declividade do trecho B-D é de 0,0426 m/m; o ponto *D* foi utilizado para medir a velocidade do fluxo na sarjeta ( $V_o$ ).

#### **b) Boca de lobo Tipo – B**

Localizada na Rua Guaratingueta, nº 216, Jardim Esmeralda em Santa Bárbara d'Oeste – S.P., Figura 31. É do tipo Boca de lobo com Grelha ( Simples ) sem depressão na sarjeta, a boca de lobo Tipo – B consiste de uma abertura na sarjeta de 149,5 x 42,0 cm, localizada em ponto intermediário da sarjeta ( isto é, em trecho com declividade constante, com o fluxo entrando na boca por apenas um lado ) e não possui rebaixamento de guia e sarjeta. Nesta boca de lobo, as barras metálicas da grade são redondas de  $\phi \cong 1''$  ( 2,5 cm), dispostas perpendicularmente à direção do escoamento da sarjeta.

Foi executado um levantamento topográfico para locação e marcação da boca de lobo estudada, fazendo-se o levantamento das seções transversais e a determinação da declividade longitudinal da sarjeta. Foi marcado na guia com tinta à óleo na cor amarela, a localização dos pontos *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, conforme podem ser observados no **Anexo I**.

- O ponto *A* foi localizado no meio da boca de lobo. Para se determinar a declividade transversal ( $it$ ) na seção do ponto *A* onde a largura total da rua é 8,88 m, foi medida a largura do trecho a 1/4 da guia (2,22 m), pois foi observado em campo que o caudal de inundação não ultrapassava a 1/4 da largura da rua, e a declividade transversal de toda a seção não corresponde a declividade do trecho onde o fluxo realmente passa, foi determinado o desnível  $\Delta h = 0,173$  m. Assim a declividade transversal no trecho foi  $it_A = 0,07793$  m / m. O tubo de saída para a galeria é de diâmetro 0,40 m e a galeria neste trecho possui diâmetro de 0,60 m.

- O ponto *B* foi localizado à montante da boca de lobo, distante 14,80 m do ponto *A*, e foi utilizado para medição da altura da água na sarjeta ( $y_{oB}$ ). O valor medido de  $y_{oB}$ , encostado a guia, será utilizado na determinação do fluxo na sarjeta neste ponto ( $Q_{oB}$ ). Para se determinar a declividade transversal ( $it$ ) na seção do ponto *B* onde a largura total da rua é 8,94 m, foi medida a largura do trecho a 1 / 4 da guia ( 2,23 m ) e o desnível  $\Delta h = 0,116$  m, portanto a declividade transversal no trecho foi  $it_B = 0,05202$  m / m.

- O ponto *C* foi localizado à jusante da Boca de lobo Tipo – B e distante 8,88 m do ponto *A*. O desnível entre o fim da grelha e o ponto *C* é de  $\Delta h = 0,312$  m e a distância do fim da grelha até o ponto *C* é de 8,13 m, portanto a declividade longitudinal ( $I = \Delta h / d$ ) da sarjeta neste trecho será de  $I_j = 0,03837$  m / m. Este ponto foi utilizado para medição da altura da água na sarjeta à jusante da boca de lobo ( $y_{oC}$ ). O valor medido de  $y_{oC}$ , encostado na guia, foi utilizado para se determinar a vazão ( $Q_{oC}$ ), não captada pela boca de lobo. Esta vazão passa fora da grelha ou sobre ela. Para se determinar a declividade transversal ( $it$ ) na seção do ponto *C* onde a largura total da rua é 9,42 m, foi medida a largura do trecho a 1 / 4 da guia ( 2,35 m ) e o desnível  $\Delta h = 0,136$  m. Portanto, a declividade transversal no trecho foi  $it_C = 0,05787$  m / m.

- O Ponto *D* foi localizado a 30 m distante do ponto *A*, onde foi determinada a declividade longitudinal ( $I_m$ ) da sarjeta à montante do ponto *A*; no trecho *A - D* o desnível foi  $\Delta h = 1,394$  m, e  $I_m = 0,04647$  m / m.

- O ponto *E* foi localizado a 20 m do ponto *B*. Os pontos *D* e *E* foram utilizados para medir a velocidade do fluxo na sarjeta ( $V_o$ ).

**c) Boca de lobo Tipo – C**

Localizada na Rua do Milho, nº 612, Jardim Pérola em Santa Bárbara d'Oeste –S.P., Figura 31. É do tipo boca de lobo - chapéu e grelha ( combinada ), sem depressão na sarjeta, a boca de lobo Tipo – C consiste de duas aberturas na guia, uma de 68,0 x 4,83 cm e a outra de 73,0 x 4,5 cm (duplo chapéu ), e de uma abertura na sarjeta de 164,5 x 43,0 cm, localizada em ponto intermediário da sarjeta ( isto é, em trecho com declividade constante, com o fluxo entrando na boca por apenas um lado ). As barras metálicas da grade são redondas com diâmetro  $\phi \cong 1''$  ( 2,5 cm), dispostas perpendicularmente à direção do escoamento da sarjeta.

Foi executado um levantamento topográfico para locação e marcação da boca de lobo estudada, fazendo levantamentos das seções transversais e a determinação da declividade longitudinal da sarjeta. Foi marcado na guia com tinta à óleo na cor amarela, a localização dos pontos *A*, *B*, *C*, e *D*, conforme podem ser observados no **Anexo I**.

- O ponto *A* foi localizado no meio da boca de lobo Tipo – C, entre as duas aberturas da guia ( chapéu ). Para se determinar a declividade transversal ( *it* ) na seção do ponto *A* onde a largura total da rua é 7,96 m, foi medida a largura do trecho a 1/4 da guia (1,99 m), pois foi observado em campo que o caudal de inundação não ultrapassava a 1/4 da largura da rua, e a declividade transversal de toda a seção não corresponde a declividade do trecho onde o fluxo realmente passa, foi determinado o desnível  $\Delta h = 0,137$  m. Assim, a declividade transversal no trecho foi  $it_A = 0,06884$  m / m. O tubo de saída para a galeria é de diâmetro 0,40 m e a galeria neste trecho possui diâmetro de 0,80 m.

- O ponto *B* foi localizado à montante da boca de lobo , distante 8,0 m do ponto *A* e foi utilizado para medição da altura da água na sarjeta (  $y_{oB}$  ). O valor medido de  $y_{oB}$  foi utilizado na determinação do fluxo na sarjeta neste ponto (  $Q_{oB}$  ). Para se determinar a declividade transversal ( *it* ) na seção do ponto *B* onde a largura total da rua é 7,96 m, foi medida a largura do trecho a 1 / 4 da guia ( 1,99 m ) e o desnível  $\Delta h = 0,071$  m. Portanto, a declividade transversal no trecho foi  $it_B = 0,03568$  m / m.

- O ponto *C* foi localizado à jusante da boca de lobo e distante 8,25 m do ponto *A*. O desnível entre o fim da grade e o ponto *C* é de  $\Delta h = 0,413$  m e a distância do fim da grade até o ponto *C* é de 7,42 m. Portanto, a declividade longitudinal ( $I = \Delta h / d$ ) da sarjeta neste trecho foi de  $I_j = 0,05566$  m / m. Este ponto foi utilizado para medição da altura da água na sarjeta à jusante da boca de lobo ( $y_{oc}$ ). O valor medido de  $y_{oc}$ , encostado na guia foi utilizado para determinar a vazão ( $Q_{oc}$ ), não captada pela boca de lobo. Esta vazão passa fora da grade ou sobre ela. Para se determinar a declividade transversal, ( $it$ ), na seção do ponto *C* onde a largura total da rua é 8,44 m, foi medida a largura do trecho a 1 / 4 da guia (2,11 m) e desnível  $\Delta h = 0,134$  m. A declividade transversal no trecho foi  $it_C = 0,06351$  m / m.
- O Ponto *D* foi localizado a 30 m distante do ponto *A*, onde foi determinado a declividade longitudinal ( $I_m$ ) da sarjeta à montante do ponto *A*; no trecho *A-D* o desnível foi  $\Delta h = 2,063$  m, e  $I_m = 0,06877$  m/m. O ponto *D* foi utilizado para se medir a velocidade do fluxo na sarjeta ( $V_o$ ).

#### 4.3 MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DA ÁGUA NA SARJETA

A velocidade d'água na sarjeta à montante da boca de lobo foi calculada através de equações teóricas ( $V_o$ ), Equação 35 derivada da Equação 33 obtida mediante a equação da continuidade, onde  $Q = V \cdot A$ . Segundo WILKEN (1968), foi comprovado nos trabalhos de Izzard e de Tapley que é possível o emprego da fórmula de Manning para o cálculo de vazões em sarjetas, pela Equação 33, conforme estudo apresentado nos **Anexo II e IV**. Empregando-se a Equação 33 obtêm-se a Equação 34 para se determinar  $y_o$ . Em seguida, com a área  $A_o$ , obtêm-se a Equação 35 para se determinar a velocidade  $V_o$ .

A velocidade d'água na sarjeta à montante da boca de lobo também foi medida no campo ( $V_{oc}$ ), por meio do lançamento de tampas plásticas de garrafa descartáveis no fluxo existente na sarjeta, medindo-se com um cronômetro o intervalo de tempo ( $t$ ) gasto para essa tampa percorrer um trecho de  $\pm 20$  m ( $d$ ) do ponto *D* ao ponto *B*. A velocidade média de cada trecho ( $V_{oc}$ ), foi calculada pela Equação 69:

$$V_{oc} = d / t \quad (69)$$

Mediante a comparação das velocidades médias obtidas no campo ( $V_{oc}$ ) com as obtidas teoricamente ( $V_o$ ), pelo método de Análise de Regressão Linear foi feito um estudo probabilístico, utilizando o modelo para comparar os dados de velocidade da água calculado com a medida no campo e proceder a análise de regressão, utilizando o modelo de Ajuste ZULLO e ARRUDA ( 1986 ). Isto foi feito a fim de se verificar a consistência do emprego da Equação 35 para se determinar a velocidade média da vazão na sarjeta, e conseqüentemente verificar-se a consistência da Equação 33 para obtenção da vazão na sarjeta, através da medição em campo apenas de  $y_o$ .

#### 4.4 MEDIÇÃO DA ALTURA DA ÁGUA NA SARJETA

As medições de campo nas bocas de lobo foram efetuadas em dias de chuvas, quando existia fluxo suficiente para ser medido na sarjeta, à montante da boca de lobo. Primeiramente, utilizando uma escala milimétrica foi medida a altura da água na sarjeta, encostada na guia (carga hidráulica), à montante da boca de lobo no ponto  $B (y_{oB})$ . Caso existisse fluxo passando sobre ou pela boca de lobo, media-se a altura da água na sarjeta, encostada na guia, à jusante da boca de lobo no ponto  $C (y_{oC})$ . Obteve-se assim, os valores medidos das alturas da água na sarjeta nos pontos  $B$  e  $C$  que foram  $y_{oB}$  e  $y_{oC}$ , dados necessários para se calcular as vazões ( $Q_o$ ) que eram escoadas na sarjeta, à montante e à jusante das bocas de lobo aplicando-se a Equação 33 sugerida pôr WILKEN ( 1968 ). Determinadas as vazões escoadas pela sarjeta ( $Q_{oB}$  e  $Q_{oC}$ ), pôr diferença, determinava-se a vazão ( $q$ ) captada pela boca de lobo através da Equação 70.

Determinando  $n$  seguindo as orientações de LINSLEY e FRANZINI ( 1978 ), como o material que revestia a sarjeta era concreto acabado, o valor de  $n$  adotado foi o de  $n = 0,016$  ( representando o valor médio do  $n$  do asfalto com o  $n$  da sarjeta de concreto ); segundo PORTO ( 1998 ) nas Tabelas 13 e 14 o valor de  $n$  para canais com revestimento de concreto, varia de 0,012 a 0,018, já em WILKEN ( 1978 ) tem-se  $n = 0,012$  para sarjeta de concreto e  $n = 0,016$  para pavimento de asfalto com textura áspera. Em função da dificuldade em adotar um valor correto para o coeficiente de rugosidade  $n$  de Manning, neste estudo foi adotado um valor médio  $n$  para a parte de asfalto e de concreto da sarjeta de  $n = 0,016$ .

Calculou-se a vazão captada pela boca de lobo ( $q$ ) pela Equação 70:

$$q = Q_{oB} - Q_{oC} \quad (70)$$

#### 4.5 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE CAPTAÇÃO

Para avaliar a capacidade de captação de cada boca de lobo, foi determinada a vazão absorvida por ela ( $q$ ), mediante o cálculo da vazão escoada pela sarjeta à montante ( ponto  $B$  ) e à jusante ( ponto  $C$  ), quando fosse o caso. Tal cálculo foi feito mediante a carga hidráulica ( $\gamma_o$ ) da lâmina de água na sarjeta nesses pontos, e entrando-se com o valor obtido na Equação 33.

Utilizando um modelo de laboratório, DEPOTOVIC ( 1987 ), desenvolveu um estudo da capacidade de captação da boca de lobo e calculou a sua eficiência. O termo “capacidade de captação” foi definido principalmente como a quantidade de água que é captada pôr uma boca de lobo, sem influência ou limitação de sua bacia de captação, tubulação ou algum aparelho. Segundo o autor, o objetivo do estudo foi desenvolver um relacionamento entre a capacidade da boca de lobo e os parâmetros afetados, principalmente, pelos projetos práticos.

Foram medidos os seguintes parâmetros:  $Q_I$  = vazão captada pela boca de lobo ( l/s );  $Q_A$  = vazão média na sarjeta à montante da boca de lobo ( l/s );  $Q_C$  = vazão na sarjeta à jusante da boca de lobo ( l/s ).

$$Q_I = Q_A - Q_C \quad (71)$$

O cálculo da “eficiência” ( capacidade da boca de lobo para capturar certa quantidade de fluxo, medido aproximadamente ) pode ser feito usando a Equação 59.

Para as bocas de lobo Tipos – A, B e C, deve ser ressaltado que a tubulação de saída para a galeria é de diâmetro 0,40 m e não limitou a captação dessas bocas de lobo, portanto não existiu influência da tubulação na capacidade de captação e na eficiência calculada.

## 4.6 CÁLCULOS DAS VAZÕES CAPTADAS PELAS BOCAS DE LOBO

Posteriormente foram calculadas as vazões captadas pelas bocas de lobo Tipos - A, B e C, utilizando alguns métodos ou equações existentes na literatura. Os cálculos determinados através das Equações 33, 35 e 70 estão apresentados nas Tabelas ( 01 ), ( 02 ) e ( 03 ).

### 4.6.1 CÁLCULO DA BOCA DE LOBO TIPO - A

Observando a Tabela ( 01 ), na medição de nº 51 e 59 tem-se a altura de  $Y_{OB} = 6,5$  cm e o valor de  $Y_{OC} = 3,0$  cm, determinou-se a vazão captada pela boca de lobo através das Equações 33 e 70, e a eficiência através da Equação 59.

No trecho B-D tem-se :  $Y_{OB} = 0,065$  m,  $I_o = 0,0426$  m/m,  $Z = 1/it_B = 1/0,0458 \Rightarrow Z = 21,83$ , e  $n = 0,016$ ; utilizando a Equação 33:

$$Q_o = 0,375 ( 0,065 )^{8/3} \cdot ( 0,0426 )^{1/2} \cdot 21,83 / 0,016 = 0,0721282$$

$$Q_o = 0,07213 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{ou} \quad Q_o = 72,13 \text{ l/s}$$

No trecho C-A tem-se :  $Y_{OC} = 0,03$  m,  $I_o = 0,0366$  m/m,  $Z = 1/it_C = 1/0,0288 \Rightarrow Z = 34,72$  e  $n = 0,016$ ; utilizando a Equação 33:

$$Q_o = 0,375 ( 0,03 )^{8/3} \cdot ( 0,0366 )^{1/2} \cdot 34,72 / 0,016 = 0,0135276$$

$$Q_o = 0,01353 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{ou} \quad Q_o = 13,53 \text{ l/s}$$

Vazão captada pela boca de lobo Tipo - A, foi determinada pela Equação 70:

$$q = 0,07213 - 0,01353 \quad \Rightarrow \quad q = 0,0586 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{ou} \quad q = 58,6 \text{ l/s.}$$

Eficiência da boca de lobo Tipo - A, foi determinada pela Equação 59:

$$E_F (\%) = ( 0,0586/0,07213) \times 100 \quad \Rightarrow \quad E_F (\%) = 81,25.$$

A velocidade na sarjeta à montante da boca de lobo Tipo - A, foi determinada pela Equação 35:

$$V_{oB} = 0,958 \times 1/(21,83)^{1/4} \times [(0,0426)^{1/2}/0,016]^{3/4} \times (0,07213)^{1/4} = 1,563$$

$$V_{oB} = 1,563 \text{ m/s}$$

a) Utilizando a Figura 10 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), pg. 47 ), apresentados na revisão bibliográfica para a boca de lobo Tipo – A, determinou-se vazão e eficiência para duas aberturas de 1 m (  $L = 2\text{m}$ , como  $1 \text{ ft.} \cong 30,47 \text{ cm}$ , então  $L \cong 6,56 \text{ ft.}$ ). A declividade transversal no ponto A medida foi de  $i_{tA} = 0,07288 \text{ m / m}$  com  $Z_A \cong 13,7195$ , e a declividade longitudinal à montante  $I_m = 0,04138 \text{ m / m}$  ou  $I_m = 4,138 \%$ , para  $L = 6 \text{ ft.}$ ; declividade transversal 1:24; com as vazões na sarjeta  $Q_o$  (c.f.s.) = 2,55 (  $1 \text{ ft}^3/\text{s} = 0,028289 \text{ m}^3/\text{s}$  ), determinou-se a relação  $Q/Q_o$  ( %)  $\cong 60,0$  em seguida obteve-se a vazão captada pela Boca de lobo  $Q$  (c.f.s.) = 1,53. Calculou a vazão  $q \cong 0,043 \text{ m}^3/\text{s}$  e a eficiência  $E_F$  ( %)  $\cong 60,00$ .

b) Aplicando as Equações de 55 a 58 desenvolvidas por SOUZA ( 1986 ), na revisão bibliográfica para a boca de lobo Tipo – A , determinou-se vazão e eficiência, para  $\text{tg} \theta = 12$  , tem-se para :  $L = 2,0 \text{ m}$ ,  $Y_o = 0,065 \text{ m}$ ,  $i = 0,0426 \text{ m/m}$  ; utilizando a Equação 55 obteve a vazão captada:

$$Q = 1,02 ( 0,065 )^{3/2} \times 2,0 = 0,034 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \mathbf{q = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Utilizando a Equação 56 obteve a vazão de aproximação na sarjeta, o fator  $f$  foi calculado pela Equação 58, onde :  $\varepsilon = 0,002 \text{ m}$ ,  $i = 0,0426 \text{ m/m}$ ,  $M = 0,002/(6,87 \times 0,065) = 0,0044787$ ,  $N = 0,0000660 \Rightarrow f = 0,0455599$ .

$$Q_o = 36,424 ( 0,065 )^{5/2} \times \sqrt{(0,0426/0,0455599)} = 0,038 \text{ m}^3/\text{s}$$

Utilizando a Equação 57 obteve a eficiência da captação da boca de lobo.

$$Q/Q_o = 0,336 [ ( 2,0/( 0,065 \times 12 )) / ( 0,0426/0,0455599 )^{1/2} ] = 0,8909$$

$$\Rightarrow \mathbf{E_F (\%) = 89,09}$$

#### 4.6.2 CÁLCULO DA BOCA DE LOBO TIPO - B

Observando a Tabela ( 02 ), na medição de nº 15 e 27 tem-se a altura de  $Y_{oB} = 9,0$  cm e o valor de  $Y_{oC} = 2,0$  cm, determinou-se a vazão captada pela boca de lobo através das Equações 33 e 70, e a eficiência através da Equação 59.

No trecho B-D tem-se :  $Y_{oB} = 0,09$  m,  $I_o = 0,0443$  m/m,  $Z = 1/it_B = 1/0,052 \Rightarrow Z = 19,23$  e  $n = 0,016$ ; utilizando a Equação 33:

$$Q_o = 0,375 ( 0,09 )^{8/3} \cdot ( 0,0443 )^{1/2} \cdot 19,23/0,016 = 0,1543139$$

$$Q_o = 0,15431 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } Q_o = 154,31 \text{ l/s}$$

No trecho C-A tem-se :  $Y_{oC} = 0,02$  m,  $I_o = 0,0384$  m/m,  $Z = 1/it_C = 1/0,0579 \Rightarrow Z = 17,27$  e  $n = 0,016$ ; utilizando a Equação 33:

$$Q_o = 0,375 ( 0,02 )^{8/3} \cdot ( 0,0384 )^{1/2} \cdot 17,27/0,016 = 0,0023376$$

$$Q_o = 0,00234 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } Q_o = 2,34 \text{ l/s}$$

Vazão captada pela boca de lobo Tipo – B, foi determinada pela Equação 70:

$$q = 0,15431 - 0,00234 \Rightarrow q = 0,15197 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Eficiência da boca de lobo Tipo – B, foi determinada pela Equação 59:

$$E_F (\%) = ( 0,15197/0,15431) \times 100 \Rightarrow E_F (\%) = 98,49.$$

A velocidade na sarjeta à montante da boca de lobo Tipo – B, foi determinada pela Equação 35:

$$V_{oB} = 0,958 \times 1/( 19,23 )^{1/4} \times [ ( 0,0443 )^{1/2} / 0,016 ]^{3/4} \times ( 0,15431 )^{1/4} = 1,981$$

$$V_{oB} = 1,981 \text{ m/s}$$

a) Utilizando a Figura 12 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), pg. 56 ), apresentada na revisão bibliográfica para a boca de lobo Tipo – B, tem-se as curvas **B** e **D**, para grelha com

barras transversais utilizou a curva **D**. Com a vazão da sarjeta  $Q_o$  (f.c.s.) = 5,44 (  $1\text{ft}^3/\text{s} = 0,028289 \text{ m}^3/\text{s}$  ) e a declividade longitudinal da rua  $i = 4,4 \%$ , pela curva **D** obteve-se a relação  $Q / Q_o < 75 \%$ . Obteve-se uma eficiência menor que 75%, inferior a eficiência determinada anteriormente de  $E_F (\%) = 98,49$ . Em seguida determinou a vazão captada pela boca de lobo para  $Q / Q_o \cong 70,0$ , obteve a vazão  $Q$  (f.c.s.) = 3,808. Calculou a vazão  $q \cong 0,108 \text{ m}^3/\text{s}$  e a eficiência  $E_F (\%) \cong 70,13$ .

b) Utilizando a Figura 13 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), pg. 114 ), com o valor de  $W_i$  igual a largura do caudal interceptado pela boca de lobo ( largura da grelha )  $W_i = 0,42 \text{ m}$  e  $W_o = y_o \cdot \tan \theta \Rightarrow W_o = 0,09 \times 19,23 = 1,7307 \text{ m}$ , com a relação  $W_i / W_o = 0,42 / 1,7307 = 0,243$  obteve do gráfico a relação  $Q / Q_o \cong 0,45$ . Com o valor de  $Q_o$  conhecido (  $Q_o = 0,154 \text{ m}^3/\text{s}$  ) obteve-se a vazão captada pela boca de lobo com grelha  $Q = 0,45 \times 0,154 = 0,0693 \text{ m}^3/\text{s}$ . Calculou a vazão  $q \cong 0,069 \text{ m}^3/\text{s}$  e a eficiência  $E_F (\%) \cong 44,80$ , segundo o método simplificado.

c) Utilizando a Equação 41 de WILKEN ( 1968 ) determinou a máxima vazão admissível da boca de lobo com grelha e o máximo comprimento necessário da grelha, no caso de  $Q_o$  ser conhecido, em função das características da sarjeta (  $n, I, \theta$  ) e da grelha (  $L, m$  ). Tem-se para :  $m = 8$ ,  $L = 1,495 \text{ m}$ ,  $Q_o = 0,154 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $I_o = 0,0443 \text{ m/m}$ ,  $\tan \theta = 19,23$ , e  $n = 0,016$ ; o valor de  $Q_o$  máximo para a boca de lobo foi:

$$Q_o \leq [(9 \times 1,495^2) / 8] \times [0,016 / (0,0443)^{1/2}] \times 19,23 = 3,675 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Determinou ainda o máximo comprimento  $L$  que deveria ter a boca de lobo para captar a vazão  $Q_o = 0,154 \text{ m}^3/\text{s}$ :

$$0,154 \leq [(9 \times L^2) / 8] \times [0,016 / (0,0443)^{1/2}] \times 19,23 = 1,644 \times L^2$$

$\Rightarrow L = 0,31\text{m}$ ; portanto  $L$  deverá ser maior ou igual a  $0,31\text{m}$ , assim  $L = 1,495\text{m}$  é superior ao requerido pela Equação 41.

d) Utilizando a Equação 43 de LINSLEY e FRANZINI (1978), foi determinado o comprimento  $X$  que a boca de lobo com grelha deveria possuir em função de  $V'$  e  $y_1$ .

Comparando o comprimento obtido  $X$ , com o real de  $L = 149,5$  cm. Tem-se para :  $V' = 1,981$  m/s ,  $y_1 = 0,09$  m, o valor de  $X$ :

$$X = ( 1,981 / 1,104 ) . ( 0,09 )^{1/2} = 0,54 \text{ m.}$$

Por esta equação também foi verificado que o valor de  $L = 1,495$  m está superior ao requerido para captar a vazão da sarjeta ( $Q_o = 0,154 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

#### 4.6.3 CÁLCULO DA BOCA DE LOBO TIPO – C

Observando a Tabela ( 03 ), na medição de nº 09 e 51 tem-se a altura de  $Y_{oB} = 6,0$  cm e o valor de  $Y_{oC} = 2,5$  cm, determinou-se a vazão captada pela boca de lobo através das Equações 33 e 70, e a eficiência através da Equação 59.

No trecho B-D tem-se :  $Y_o = 0,06$  m,  $I_o = 0,0653$  m/m,  $Z = 1/it_B = 1/0,0357 \Rightarrow Z = 28,01$  e  $n = 0,016$ ; utilizando a Equação 33:

$$Q_o = 0,375 ( 0,06 )^{8/3} . ( 0,0653 )^{1/2} . 28,01/0,016 = 0,0925588$$

$$Q_o = 0,09256 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } Q_o = 92,56 \text{ l/s}$$

No trecho C-A tem-se :  $Y_o = 0,025$  m,  $I_o = 0,0556$  m/m,  $Z = 1/it_C = 1/0,0635 \Rightarrow Z = 15,75$  e  $n = 0,016$ ; utilizando a Equação 33:

$$Q_o = 0,375 ( 0,025 )^{8/3} . ( 0,0556 )^{1/2} . 15,75/0,016 = 0,0046512$$

$$Q_o = 0,00465 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } Q_o = 4,65 \text{ l/s}$$

Vazão captada pela boca de lobo Tipo – C, foi determinada pela Equação 70:  
 $q = 0,09256 - 0,00465 \Rightarrow q = 0,08791 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Eficiência da boca de lobo Tipo – C, foi determinada pela Equação 59:  
 $E_F (\%) = ( 0,08791 / 0,09256 ) \times 100 \Rightarrow E_F (\%) = 94,97$ .

A velocidade na sarjeta à montante da boca de lobo Tipo – C, foi determinada pela Equação 35:

$$V_{oB} = 0,958 \times 1/(28,01)^{1/4} \cdot [(0,0653)^{1/2} / 0,016]^{3/4} \cdot (0,09256)^{1/4} = 1,835$$

$$V_{oB} = 1,835 \text{ m/s}$$

a) Utilizando a Figura 12 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), pg. 56 ), apresentada na revisão bibliográfica para a boca de lobo Tipo – C, determina-se vazão e eficiência, com as curvas A e C. Para grelha com barras transversais utiliza-se a curva C. Com a vazão  $Q_o$  (f.c.s.) = 3,29 (  $1\text{ft}^3/\text{s} = 0,028289 \text{ m}^3/\text{s}$  ), da sarjeta e a declividade longitudinal da rua  $i = 6,5 \%$ , pela curva C obteve-se a relação  $Q / Q_o \cong 80 \%$ . Em seguida, determinou a vazão captada pela boca de lobo para  $Q / Q_o (\%) \cong 0,80 \times 3,29$  obteve a vazão  $Q$  (c.f.s.) = 2,632. Calculou a vazão  $q \cong 0,074 \text{ m}^3/\text{s}$  e a eficiência  $E_F (\%) \cong 79,57$ .

b) Utilizando a Figura 13 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), pg. 114 ), com o valor de  $Wi$  igual a largura do caudal interceptado pela boca de lobo ( largura da grelha )  $Wi = 0,43 \text{ m}$  e  $Wo = yo \cdot \tan \theta \Rightarrow Wo = 0,06 \times 28,01 = 1,681 \text{ m}$ , com a relação  $Wi / Wo = 0,43 / 1,681 = 0,256$  obteve do gráfico a relação  $Q / Q_o \cong 0,475$ . Com o valor de  $Q_o$  conhecido ( $Q_o = 0,09256 \text{ m}^3/\text{s}$ ) obteve-se a vazão captada pela boca de lobo com grelha  $Q = 0,475 \times 0,09256 = 0,044 \text{ m}^3/\text{s}$ . Calculou a vazão  $q \cong 0,044 \text{ m}^3/\text{s}$  e a eficiência  $E_F (\%) \cong 47,54$ , segundo o método simplificado.

c) Para boca de lobo combinada operando como vertedor a vazão captada é dada pela Equação 44a de LINSLEY E FRANZINI ( 1978 ), tem-se para :  $Y = 0,06 \text{ m}$ ,  $L = 1,645 \text{ m}$ , o valor de  $Q$  foi:

$$Q = 1,7 \cdot (0,06)^{3/2} \times 1,645 = 0,041 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Calculou a vazão  $q \cong 0,041 \text{ m}^3/\text{s}$ , eficiência  $E_F (\%) \cong 44,09$ , segundo esse método.

d) Utilizando o gráfico da Figura 26 ( CETESB ( 1986 ), pg. 307 ), com a inclinação longitudinal da rua de  $i = 0,0653 \text{ m/m}$  e com o valor da vazão na sarjeta  $Q_o = 0,09256 \text{ m}^3/\text{s} = 92,56 \text{ l/s}$ , foi obtido o valor da vazão captada pela boca de lobo combinada  $q \cong 80 \text{ l/s}$ . Determinou a vazão  $q \cong 0,080 \text{ m}^3/\text{s}$ , eficiência  $E_F (\%) \cong 86,43$ , segundo esse método.

#### 4.7 MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ UTILIZANDO UM CAMINHÃO PIPA

Com a finalidade de obter a altura de água na sarjeta ( $Y_o$ ) e a velocidade da água na sarjeta ( $V_o$ ) para uma vazão na sarjeta conhecida ( $Q_o$ ), e comparar essas medições com os valores obtidos de  $Y_o$ ,  $V_o$  e  $Q_o$  nas campanhas em dias de chuvas, quando a vazão não é conhecida, é que foi utilizado um caminhão pipa. Realizou uma comparação dos resultados obtidos diretamente com a utilização do caminhão, e os obtidos pelas Equações A e B com simplificação e Equações C e D sem simplificação.

Utilizando o caminhão pipa ( Figura 32 ), efetuou-se medições de  $Y_o$  e de  $V_o$  na sarjeta nas bocas de lobo Tipo A, B e C; medições apresentadas nas Tabelas ( 7, 8 e 9 ).

As medições nas bocas de lobo foram efetuadas utilizando um caminhão pipa, medindo na sarjeta, à montante da boca de lobo, a altura do fluxo. Primeiramente, utilizando uma escala milimétrica foi medida a altura da água na sarjeta, encostada na guia (carga hidráulica), à montante da boca de lobo no ponto B ( $y_{oB}$ ). Como não existiu fluxo passando sobre ou pela boca de lobo, não houve medição à jusante da boca de lobo no ponto C ( $y_{oC}$ ). Com os valores medidos das alturas da água na sarjeta de  $y_{oB}$  foi calculado as vazões ( $Q_o$ ) que eram escoadas na sarjeta, aplicando-se as Equações A e C.

A velocidade d'água na sarjeta, à montante da boca de lobo foi medida através de lançamento de tampas plásticas de garrafa descartáveis no fluxo lançado na sarjeta pelo caminhão pipa, medindo-se com um cronômetro o intervalo de tempo ( $t$ ) gasto para essa tampa percorrer um trecho de  $\pm 20$  m ( $d$ ) do ponto D ao ponto B. A velocidade média de cada trecho ( $V_{oc}$ ), foi calculada pela Equação 69 e também aplicando-se as Equações B e D.

#### 4.8 CÁLCULO DE $Q_o$ e $V_o$ USANDO EQUAÇÃO COM E SEM SIMPLIFICAÇÃO

Com o auxílio de um tambor foi medida a vazão lançada pelo caminhão pipa na sarjeta à montante das bocas de lobo:

Boca de lobo Tipo A :  $Y_o = \text{variável}$ ,  $I_o = 0,0426 \text{ m/m}$ ,  $Z = 21,83$ ,  $n = 0,016$ ,  $\text{Cos}\theta_o = 0,0457$ ,  $\text{Cos}\theta_o+1 = 1,0457$ ,  $\theta_o = 87,38^\circ$ ,  $L_{B-D} = 20,00 \text{ m}$ . Tambor utilizado para medir a vazão do caminhão pipa (  $D = 56\text{cm}$  ,  $C = 83 \text{ cm}$  ), capacidade de  $0,20443 \text{ m}^3$  ou  $204,43$  litros. Tempo gasto para encher o tambor (  $t_1 = 29,80\text{s}$ ,  $t_2 = 31,78\text{s}$ ,  $t_3=33,56\text{s}$  ),  $t_M = 31,71\text{s}$ . Para a boca de lobo Tipo A, foi medida a vazão no meio da descarga, isto é com o caminhão pipa pela metade (  $\pm 3.500$  litros ).

Vazão do caminhão pipa foi de  $Q_{oCP} = 204,43 / 31,71 \Rightarrow Q_{oCP} = 6,447 \text{ l/s}$ .

Boca de lobo Tipo B :  $Y_o = \text{variável}$ , para  $L_{B-D} = 15,20\text{m}$  tem-se  $I_o = 0,0443 \text{ m/m}$ , para  $L_{B-E} = 35,20\text{m}$  tem-se  $I_o = 0,0472 \text{ m/m}$ ,  $Z = 19,23$ ,  $n = 0,016$ ,  $\text{Cos}\theta_o = 0,052$ ,  $\text{Cos}\theta_o+1 = 1,052$ ,  $\theta_o = 87,02^\circ$ . Tambor utilizado para medir a vazão do caminhão pipa (  $D = 56\text{cm}$ ,  $C = 83 \text{ cm}$  ), capacidade de  $0,20443 \text{ m}^3$  ou  $204,43$  litros. Tempo gasto para encher o tambor (  $t_1 = 20,47\text{s}$ ,  $t_2 = 22,09\text{s}$ ,  $t_3=23,59\text{s}$  ),  $t_M = 22,05\text{s}$ . Para a boca de lobo Tipo B, foi medida a vazão no início da descarga, isto é com o caminhão pipa cheio (  $\pm 7.000$  litros ).

Vazão do caminhão pipa foi de  $Q_{oCP} = 204,43 / 22,05 \Rightarrow Q_{oCP} = 9,271 \text{ l/s}$ .

Boca de lobo Tipo C :  $Y_o = \text{variável}$ ,  $I_o = 0,0653 \text{ m/m}$ ,  $Z = 28,01$ ,  $n = 0,016$ ,  $\text{Cos}\theta_o = 0,0357$ ,  $\text{Cos}\theta_o+1 = 1,0357$ ,  $\theta_o = 87,95^\circ$ ,  $L_{B-D} = 22,00 \text{ m}$ . Tambor utilizado para medir a vazão do caminhão pipa (  $D = 56\text{cm}$  ,  $C = 83 \text{ cm}$  ), capacidade de  $0,20443 \text{ m}^3$  ou  $204,43$  litros. Tempo gasto para encher o tambor (  $t_1 = 21,30\text{s}$ ,  $t_2 = 23,16\text{s}$ ,  $t_3=24,87\text{s}$  ),  $t_M = 23,11\text{s}$ . Para a boca de lobo Tipo C, foi medida a vazão no início da descarga, isto é com o caminhão pipa cheio (  $\pm 7.000$  litros ).

Vazão do caminhão pipa foi de  $Q_{oCP} = 204,43 / 23,11 \Rightarrow Q_{oCP} = 8,846 \text{ l/s}$ .

Utilizando as Equações A, B, C, e D com simplificação de Izzard e sem a simplificação de Izzard calculou-se  $Q_o$  e  $V_o$  das Tabelas de Dados. As Equações 72 e 73 sem simplificação de Izzard, foram desenvolvidas no **Anexo IV**.

$$Q_o = 0,315 \cdot y_o^{8/3} \cdot \frac{Z^{5/3}}{n} \cdot \sqrt{I} \cdot \left( \frac{\cos \theta_o}{\cos \theta_o + 1} \right)^{2/3} \quad (72)$$

$$V_o = 0,8409 \cdot (Q_o \cdot Z)^{1/4} \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{3/4} \left( \frac{\cos \theta_o}{\cos \theta_o + 1} \right)^{1/2} \quad (73)$$

Eq.( A ) = (33);

Eq.( B ) = (35);

Eq.( C ) = (72);e

Eq.( D ) = (73).

Os cálculos da vazão e da velocidade na sarjeta utilizando as Equações A e B com simplificação e utilizando as Equações C e D sem simplificação, bem como as medidas diretamente com a utilização do caminhão pipa conforme foi citado no item 4.7, estão apresentadas nas Tabelas ( 07,08 e 09 ).

#### 4.9 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE $n$ DE MANNING

Utilizando a Equação A desenvolvida com a simplificação de Izzard e em seguida utilizando a Equação C desenvolvida sem a simplificação para determinar  $Q_o$ , e utilizando o  $Y_o$  conhecido e  $Q_o$  vazão do caminhão pipa medida diretamente, foi determinada os valores de  $n$  coeficiente de rugosidade de Manning para os três tipos de bocas de lobo estudados.

Boca de lobo Tipo A :  $Y_o = 3,0$  cm,  $I_o = 0,0426$  m/m,  $Z = 21,83$ ,  $\cos \theta_o = 0,0457$ ,  $\cos \theta_o + 1 = 1,0457$ ,  $\theta_o = 87,38^\circ$ .

Vazão do caminhão pipa foi de  $Q_{oCP} = 0,006447$  m<sup>3</sup>/s  $\Rightarrow Q_{oCP} = 6,447$  l/s.

Para a Equação A temos :

$$0,006447 = 0,375 ( 0,03 )^{8/3} \cdot ( 0,0426 )^{1/2} \cdot 21,83 / n \Rightarrow n = \mathbf{0,0228}.$$

Para a Equação C temos :

$$Q_o = 0,315 (Y_o)^{8/3} \cdot [(Z)^{5/3} / n] \cdot I_o^{1/2} \cdot [\cos\theta_o / (\cos\theta_o + 1)]^{2/3}$$

$$0,006447 = 0,315 (0,03)^{8/3} \cdot [(21,83)^{5/3} / n] \cdot 0,0426^{1/2} \cdot [0,0457 / 1,0457]^{2/3} \Rightarrow$$

$$n = 0,0185.$$

Boca de lobo Tipo B :  $Y_o = 3,0$  cm,  $I_o = 0,0443$  m/m,  $Z = 19,23$ ,  $\cos\theta_o = 0,052$ ,  
 $\cos\theta_o + 1 = 1,052$ ,  $\theta_o = 87,02^\circ$ .

Vazão do caminhão pipa foi de  $Q_{oCP} = 0,009271$  m<sup>3</sup>/s  $\Rightarrow Q_{oCP} = 9,271$  l/s.

Para a Equação A temos :

$$0,009271 = 0,375 (0,03)^{8/3} \cdot (0,0443)^{1/2} \cdot 19,23 / n \Rightarrow n = 0,0142.$$

Para a Equação C temos :

$$Q_o = 0,315 (Y_o)^{8/3} \cdot [(Z)^{5/3} / n] \cdot I_o^{1/2} \cdot [\cos\theta_o / (\cos\theta_o + 1)]^{2/3}$$

$$0,009271 = 0,315 (0,03)^{8/3} \cdot [(19,23)^{5/3} / n] \cdot 0,0443^{1/2} \cdot [0,052 / 1,052]^{2/3} \Rightarrow$$

$$n = 0,0116.$$

Boca de lobo Tipo C :  $Y_o = 3,0$  cm,  $I_o = 0,0653$  m/m,  $Z = 28,01$ ,  $\cos\theta_o = 0,0357$ ,  
 $\cos\theta_o + 1 = 1,0357$ ,  $\theta_o = 87,95^\circ$ .

Vazão do caminhão pipa foi de  $Q_{oCP} = 0,008846$  m<sup>3</sup>/s  $\Rightarrow Q_{oCP} = 8,846$  l/s.

Para a Equação A temos :

$$0,008846 = 0,375 (0,03)^{8/3} \cdot (0,0653)^{1/2} \cdot 28,01 / n \Rightarrow n = 0,0264.$$

Para a Equação C temos :

$$Q_o = 0,315 (Y_o)^{8/3} \cdot [(Z)^{5/3} / n] \cdot I_o^{1/2} \cdot [\cos\theta_o / (\cos\theta_o + 1)]^{2/3}$$

$$0,009271 = 0,315 (0,03)^{8/3} \cdot [(28,01)^{5/3} / n] \cdot 0,0653^{1/2} \cdot [0,0357 / 1,0357]^{2/3} \Rightarrow$$

$$n = 0,0216.$$

Os cálculos da vazão, bem como as medidas diretamente com a utilização do caminhão pipa e do valor de  $n$  utilizando as Equações A e C com e sem simplificação, estão apresentados na Tabela ( 10 ).

#### 4.10 MEDIÇÕES DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

Foram efetuadas 166 campanhas de medições nas bocas de lobo estudadas, sendo que na boca de lobo Tipo - A foram efetuadas 62 campanhas, na Tipo - B 51 campanhas e na Tipo - C 53 campanhas. Excluindo as campanhas que obtiveram eficiências de 100 %, obteve-se 48 campanhas na Tipo - A , apenas 08 campanhas na Tipo - B e 25 na Tipo - C, com um total de 81 campanhas de medições que não tiveram eficiências de 100 %.

Em dias de chuvas efetuou-se medições de  $V_o$ ,  $Y_{oB}$  e  $Y_{oC}$ , nas bocas de lobo Tipos - A, B, e C, conforme Tabelas ( 01, 02 e 03 ). Nas Tabelas ( 04, 05 e 06 ), estão as medições de  $V_o$ ,  $Y_{oB}$  e  $Y_{oC}$ , excluindo as eficiências de 100%.

Nas Tabelas ( 07,08 e 09 ) foram apresentados os valores medidos e calculados de  $Y_{oB}$  e  $V_o$  com a utilização do caminhão pipa, enquanto que na Tabela ( 10 ) tem-se uma comparação do coeficiente de rugosidade  $n$  de Manning.

Na Tabela ( 11 ) foi colocada uma comparação da vazão calculada pelas Equações A e C com a vazão medida no caminhão pipa, para altura de água na guia  $Y_{oB} = 3,0$  cm. Já na Tabela ( 12 ) foi colocada uma comparação da velocidade calculada pelas Equações B e D com a velocidade medida no caminhão pipa, para altura de água na guia  $Y_{oB} = 3,0$  cm.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos através das campanhas de medições no campo, bem como aquelas obtidas pelo emprego de algumas equações citadas na literatura constam respectivamente nas Tabelas 01, 02 e 03. Tais dados englobam valores considerados com eficiência de 100%, ou seja aqueles em que todo o fluxo d'água foi captado pelas bocas de lobo. Dos dados obtidos para a Boca de Lobo Tipo – A, Tabela 01, observa-se que os valores medidos de  $Y_{OB}$  variam de 9,0 cm a 3,0 cm, os valores medidos da Velocidade  $V_o$  variam de 2,395 a 1,630 m/s ( $I_o = 0,0426$  m/m ), e a vazão captada pela boca de lobo variou de 132 a 9 l/s. Dos dados obtidos para a Boca de Lobo Tipo – B, Tabela 02, observa-se que os valores medidos de  $Y_{OB}$  variam de 10,0 cm a 3,0 cm, os valores medidos da Velocidade  $V_o$  variam de 3,945 a 1,799 m/s ( $I_o = 0,0443$  m/m ), e a vazão captada pela boca de lobo variou de 200 a 8 l/s. Dos dados obtidos para a Boca de Lobo Tipo – C, Tabela 03, observa-se que os valores medidos de  $Y_{OB}$  variam de 8,0 cm a 3,0 cm, os valores medidos da Velocidade  $V_o$  variam de 2,853 a 1,899 m/s ( $I_o = 0,0653$  m/m ), e a vazão captada pela boca de lobo variou de 177 a 14 l/s.

Através do exemplo de cálculo do item 4.6.1 para a boca de lobo do Tipo - A foi obtido uma vazão de engolimento  $q = 58,6$  l/s com eficiência em torno de 81%, porém utilizando os mesmos dados através da Figura 10 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 ) ), obteve-se vazão de engolimento  $q = 43$  l/s com eficiência em torno de 60%, já através das equações de SOUZA ( 1986 ), obteve-se vazão de engolimento  $q = 34$  l/s com eficiência em torno de 89%.

Através do exemplo de cálculo do item 4.6.2 para a boca de lobo do Tipo - B foi obtido uma vazão de engolimento  $q = 152$  l/s com eficiência em torno de 98%, porém utilizando os mesmos dados através da Figura 13 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 ) ), obteve-se vazão de engolimento  $q = 69$  l/s com eficiência em torno de 45%, já através dos métodos de WILKEN

(1968 ) e de LINSLEY e FRANZINI ( 1978 ) consegue-se verificar se o comprimento real da boca de lobo  $L = 1,495$  m é suficiente ou não para captar o fluxo existente na sarjeta à montante da boca de lobo, no caso estudado o comprimento  $L$  é suficiente.

Através do exemplo de cálculo do item 4.6.3 para a boca de lobo do Tipo - C foi obtido uma vazão de engolimento  $q = 88$  l/s com eficiência em torno de 95%, porém utilizando os mesmos dados através da Figura 12 ( GEYER, BENTON e LI ( 1956 )), obteve-se vazão de engolimento  $q = 74$  l/s com eficiência em torno de 79,5%, através da equação utilizada por LINSLEY e FRANZINI ( 1978 ) obteve-se vazão de engolimento  $q = 41$  l/s com eficiência em torno de 44%, já utilizando o gráfico da Figura 26 ( CETESB ( 1986 )), determinou-se a vazão de engolimento  $q = 80$  l/s com eficiência em torno de 86%.

Como pode ser observado existem vários métodos de cálculo para cada tipo de boca de lobo estudada, as variações na determinação da vazão de engolimento de cada boca de lobo estudada são em função de inúmeros fatores que influenciam diretamente nos resultados, principalmente o fato de que os métodos foram desenvolvidos geralmente em laboratórios, cujas características e situações quase nunca se repetem em campo, portanto sempre haverá diferença nos valores calculados para a vazão de engolimento, entre as equações ou métodos utilizados.

Nas Tabelas 04, 05 e 06 eliminou-se os valores com eficiência igual a 100 %, com objetivo de avaliar o desempenho das boca de lobo quando a mesma não era capaz de absorver toda água pluvial, neste caso as eficiências médias obtidas foram 98,73 %, 93,66 % e 81,20 % respectivamente para as bocas de lobo Tipos - B, C e A. Isso indica que o desempenho das bocas de lobo foi bom, sendo superior para a boca de lobo Tipo - B e inferior para a boca de lobo tipo A. Estes resultados confirmam DEPOTOVIC ( 1987 ) que obteve eficiências na maioria das vezes inferiores a 80 % para as bocas de lobo Tipos - A, B e C, exceto para fluxo muito pequeno quando a eficiência era superior a 80 %.

A boca de lobo Tipo - A foi a que apresentou a menor capacidade de engolimento, captando uma vazão média de aproximadamente  $q = 65$  l/s; A tipo - B apresentou para as condições em que se encontra instalada, a maior capacidade de engolimento entre os três tipos

estudados, captando uma vazão média de engolimento  $q = 156$  l/s; A boca de lobo Tipo – C, mesmo tendo apresentado uma boa capacidade de engolimento, surpreendentemente captou uma vazão menor que a captada pela Tipo – B, provavelmente em função de sua localização, pois está no trecho de maior declividade longitudinal, além disso, como foi observado em campo, a abertura na guia não colaborou para melhorar a captação, a vazão média captada por ela foi aproximadamente  $q = 82$  l/s, praticamente metade da captada pela boca de lobo Tipo – B.

Como pode ser observado a boca de lobo Tipo – B, para as condições estudadas neste trabalho foi a que captou maior vazão, sendo sua vazão de engolimento média em torno de 156 l/s, mesmo tendo a boca de lobo Tipo - B apresentado maior eficiência, captando maior quantidade de fluxo, não se pode generalizar afirmando que ela é a que apresenta melhor qualidade sempre, pois o numero de campanhas foi menor que paras os demais ( Tabela 05 ). Os resultados obtidos não confirmam a expectativa de uma eficiência maior da boca de lobo Tipo - C ( Combinada – abertura na guia e na sarjeta ) sobre os demais casos, como citado por vários autores: LI, GEYER e GOODELL ( 1954 ), LI ( 1954 ), AISSE ( 1982 ), CETESB ( 1986 ), e BARREIRO ( 1997 ). Apesar do Tipo - C ser citada como o de maior eficiência, existem algumas ressalvas, como atestam LI, GEYER e GOODELL ( 1954 ), concluindo que quando a grade de barra longitudinal é usada em boca de lobo combinada e com depressão, obtém-se o tipo mais eficiente entre todos, já no caso estudado neste trabalho a boca de lobo combinada possui barras transversais na grade e sem depressão na sarjeta, o que pode ter influenciado na sua capacidade de captação. LI ( 1954 ) afirma que os tipos de bocas de lobo mais eficientes são as combinadas e as de grade, mas em ambos os casos a grade deve ter somente barras longitudinais, e a abertura na guia somente serve como ajuda quando a grade esta obstruída. Outro autor, AISSE ( 1982 ) considera que na prática a capacidade de esgotamento da boca de lobo combinada deve ser 110 % do valor teórico indicado no calculo da grelha correspondente, isto é a boca de lobo combinada capta maior vazão do que a boca de lobo de grelha, o que não foi comprovado pelo presente trabalho, lembrando ainda que a boca de lobo Tipo – C é sem depressão, como discutido anteriormente. No manual da CETESB ( 1986 ), as experiências realizadas em laboratório revelaram que a abertura da guia junto à grelha melhora o esgotamento das águas, além de contribuir para diminuir o comprimento da grelha, mas do ponto de vista prático, um escoamento apreciável pela abertura da guia somente ocorre quando a grelha já se

encontra obstruída e provocando a formação de ressalto à sua frente. No estudo da boca de lobo Tipo – C, foi comprovado visualmente que a abertura na guia não influenciou na captação da boca de lobo. Assim a sugestão de BARREIRO ( 1997 ), que a captação da bocas de lobo combinada poderia ser melhorada colocando a abertura na guia ( chapéu ) à montante da abertura na sarjeta ( grade ), parece ser válida pois não foi constatado o efeito da abertura na guia nas campanhas de medições realizadas na boca de lobo Tipo – C. Outro fator que pode ter influenciado nos resultados das bocas de lobo e a declividade longitudinal do trecho à montante, tem se  $I_o = 0,0426$  m/m para a Tipo – A,  $I_o = 0,0443$  m/m para a Tipo – B e  $I_o = 0,0653$  m/m para a Tipo – C , como se sabe, mantendo as demais características de uma boca de lobo, quanto maior a declividade menor a captação, vazão de engolimento da boca de lobo.

Os dados obtidos através de medições utilizando o caminhão pipa, bem como aquelas obtidas pelo emprego de algumas equações, com ou sem simplificações, constam respectivamente nas Tabelas 07, 08 e 09. Dos dados obtidos para a Boca de Lobo Tipo – A, Tabela 07, observa-se que os valores medidos de  $Y_{oB}$  variam de 3,0 cm a 2,5 cm, os valores medidos da Velocidade  $V_o$  variam de 1,489 a 1,297 m/s (  $I_o = 0,0426$  m/m ), as vazões na sarjeta calculada pela Equação A (com simplificação) variou de 9,2 a 5,6 l/s, no entanto as vazões na sarjeta calculada pela Equação C (sem simplificação) variou de 7,5 a 4,6 l/s, aproximadamente 20% menores do que as vazões determinadas pela equação com simplificação. Dos dados obtidos para a Tipo – B, Tabela 08 na parte de  $L=15,20$ m, observa-se que os valores medidos de  $Y_{oB}$  variam de 3,0 cm a 2,5 cm, os valores medidos da Velocidade  $V_o$  variam de 1,592 a 1,515 m/s (  $I_o = 0,0443$  m/m ), as vazões na sarjeta calculada pela Equação A (com simplificação) variou de 8,2 a 5,1 l/s, no entanto as vazões na sarjeta calculada pela Equação C (sem simplificação) variou de 6,7 a 4,1 l/s, aproximadamente 20% menores do que as vazões determinadas pela equação com simplificação. Dos dados obtidos para a Tipo – C, Tabela 09, observa-se que os valores medidos de  $Y_{oB}$  variam de 3,5 cm a 2,5 cm, os valores medidos da Velocidade  $V_o$  variam de 2,183 a 1,857 m/s (  $I_o = 0,0653$  m/m ), as vazões na sarjeta calculada pela Equação A (com simplificação) variou de 22 a 9 l/s, no entanto as vazões na sarjeta calculada pela Equação C (sem simplificação) variou de 18 a 7,4 l/s, aproximadamente 20% menores do que as vazões determinadas pela equação com simplificação. Como pode ser observado, também nos

cálculos das velocidades as determinadas pela Equação D (sem simplificação) foram aproximadamente 20% menores que as determinadas pela Equação B (com simplificação).

A utilização no estudo realizado de um caminhão pipa com vazão conhecida, permitiu que fosse feita uma comparação entre vazões, velocidades e coeficiente  $n$  determinados em campo ou adotados e os calculados através das equações com ou sem simplificação.

A determinação do valor do coeficiente de rugosidade  $n$  de Manning realmente é um fator muito complexo do estudo, pois existe dificuldades em adotar o valor correto de  $n$  que realmente represente uma média entre o  $n$  da parte de asfalto e o  $n$  da parte do concreto da sarjeta, neste estudo foi adotado  $n = 0,016$ , porém conforme mostrado na Tabela 10, utilizando o caminhão pipa com vazão conhecida nas bocas de lobo estudadas, através da Equação A calculou-se os valores de  $n$  iguais a 0,0228, 0,0142 e 0,0264 respectivamente para os Tipos A, B e C, sendo que a Boca de lobo Tipo – B apresentou o valor mais próximo ao  $n$  adotado. Já através da Equação C os valores de  $n$  foram iguais a 0,0185, 0,0116 e 0,0216 respectivamente para os Tipos - A, B e C, neste caso a Boca de lobo Tipo – A apresentou o valor mais próximo ao  $n$  adotado.

A Tabela 10 apresenta uma comparação do coeficiente de rugosidade  $n$  de Manning obtido através das Equações A e C ( com e sem simplificação ), utilizando as vazões medidas diretamente do caminhão pipa com a utilização de um tambor, quando o valor da carga de água na sarjeta  $Y_o$  à montante da boca de lobo e medido no ponto B era de 3,0 cm ( 0,03 m ). Observa-se que para as bocas de lobo Tipos - A e C o valor de  $n$  calculado através da Equação C apresentou resultados mais próximo do  $n$  adotado (  $n = 0,016$  ), superior em torno de 15% e 35% respectivamente, no entanto para a boca de lobo Tipo – B o valor de  $n$  calculado através da Equação A foi o que apresentou resultado mais próximo do  $n$  adotado, inferior em aproximadamente 11%.

A Tabela 11 apresenta valores de vazões calculados pelas Equações A e C ( com e sem simplificação) e vazões do caminhão pipa determinadas com a utilização de um tambor, quando o valor da carga de água na sarjeta  $Y_{oB}$  à montante da boca de lobo era de 3,0 cm ( 0,03 m ).

Observa-se que para as bocas de lobo Tipos - A e C as vazões calculadas foram superior que as medidas, porém as vazões determinadas através da Equação C apresentaram resultados mais próximo do valor medido com o caminhão pipa, superior em torno de 15% e 35% respectivamente, no entanto para a boca de lobo Tipo - B a vazão calculada através da Equação A foi a que apresentou resultado mais próximo do valor medido com o caminhão pipa, inferior em 11 % aproximadamente. Isto indica um comportamento não uniforme dos dados encontrados, as diferenças podem ser provocadas por vários fatores externos, tais como : Medições pelo método direto da vazão no caminhão pipa, pois a mesma variou com o tempo, a medida que reduzia-se o volume de água do caminhão pipa; Coeficiente de  $n$  de Manning adotado diferente do que realmente ocorre no local das bocas de lobo; Utilização de equação simplificada, etc.

A Tabela 12 apresenta uma comparação das velocidades da água na sarjeta calculadas pelas Equações B e D ( com e sem simplificação ) e medida diretamente com o caminhão pipa, quando o valor da carga de água na sarjeta  $Y_{oB}$  à montante da boca de lobo era de 3,0 cm (0,03 m). Observa-se que para todas bocas de lobo estudadas, Tipos – A, B e C, as velocidades calculadas foram inferiores as medidas, com variação crescente da boca de lobo Tipo – A para B e para C. Porém as velocidades determinadas através da Equação B apresentaram resultados mais próximo do valor medido com o caminhão pipa, inferiores em aproximadamente 35%, 39% e 44%, respectivamente para as bocas de lobo Tipo – A, B e C. A variação de  $V_o$  calculado e de  $V_o$  medido diretamente com o uso do caminhão pipa, provavelmente foi em decorrência do líquido sair da mangueira do caminhão pipa com uma velocidade relativamente alta, o que poderia ser contornado fazendo o lançamento do líquido na sarjeta de jusante para montante.

Aplicando o método de análise variância e regressão linear entre dados de velocidade medida no campo e a altura de água na sarjeta, dados apresentados nas Tabelas 04, 05 e 06, mediante o emprego do Programa Computacional Ajuste de ZULLO e ARRUDA ( 1986 ), obteve as seguintes Equações :

Boca de lobo Tipo - A  $\Rightarrow Y = 1,251 + 13,745 X$  , onde  $r = 0,898$  e  $r^2 = 0,806$  para  $n = 48$ ;  
 Boca de lobo Tipo - B  $\Rightarrow Y = -1,710 + 58,683 X$  , onde  $r = 0,707$  e  $r^2 = 0,499$  para  $n = 8$ ;  
 e Boca de lobo Tipo - C  $\Rightarrow Y = 1,610 + 17,381 X$  , onde  $r = 0,911$  e  $r^2 = 0,830$  para

$n = 25$ . Onde :  $r$  = coeficiente de correlação e  $r^2$  = coeficiente de determinação; os valores do coeficiente de correlação ( $r$ ) elevado mostra que a relação entre a altura d'água na sarjeta e a velocidade medida, pode ser considerados como um bom parâmetro para avaliar o fluxo de água na sarjeta .

Aplicou-se o método de análise linear nas velocidades calculadas pela Equação 35 e nas velocidades medidas diretamente na sarjeta ( dados apresentados nas Tabelas 04, 05 e 06 ), para determinar se elas são estatisticamente diferentes ou não.

a) Boca de lobo Tipo – A. Equação de Ajuste Linear para  $Y$ = Velocidade calculada (m/s) e  $X$ = Velocidade medida (m/s):

$$Y = -0,461 + (0,943) X ;$$

$$r = + 0,903 , \text{ Coeficiente de correlação } ( r );$$

$$r^2 = 0,815 , \text{ Coeficiente de determinação } ( r^2 ).$$

Análise estatística do Modelo:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	1.5271	1.5271	203.1682
Resíduo	46	0.3457	0.0075	
Total	47	1.8728		

Onde : F.V. = Fator de variação; G.L. = Graus de Liberdade; S.Q. = Soma de Quadrados; Q.M. = Quadrados Médios; e F = Fator de teste para análise da variância.

Os limites de significância de  $F$  são dados de acordo com a Tabela 15 para 5 % e a Tabela 16 para 1 % de probabilidade de PIMENTEL GOMES ( 1990 ), Anexo V. Com os graus de liberdade GL (1 e 46) tem-se nas tabelas os valores 4,06 para o nível de 5 % de probabilidade é de 7,24 para o nível de 1 % de probabilidade. Isto quer dizer que há uma probabilidade de 95 % de se obter, por simples acaso, um valor de  $F$  igual ou inferior a 4,06 e há probabilidade de 5 % de se obter os valores de  $F$  superiores a 4,06. Analogamente, é de 1 % a probabilidade de que o valor de  $F$  exceda a 7,24. No caso estudado da boca de lobo Tipo - A o valor obtido ( $F = 203.1682$ ) excede o limite de 1 % e se diz significativo ao nível de 1 %. Isto

significa que há uma probabilidade inferior a 1 % de que o valor de  $F$  observado tenha ocorrido por acaso. Portanto, pode-se dizer que a diferença foi muito pequena, ao nível de 1 % de probabilidade, entre as velocidades medidas no campo por ocasião da chuva e as calculadas pela Equação 35.

b) Boca de lobo Tipo – B. Equação de Ajuste Linear para  $Y$ = Velocidade calculada (m/s) e  $X$ = Velocidade medida (m/s):

$$Y = 1,537 + (0,125) X ;$$

$$r = + 0,711 , \text{ Coeficiente de correlação } ( r ) ;$$

$$r^2 = 0,506 , \text{ Coeficiente de determinação } ( r^2 ).$$

Análise estatística do Modelo:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0.0240	0.0240	6.1402
Resíduo	6	0.0235	0.0039	
Total	7	0.0475		

Os limites de significância de  $F$  são dados de acordo com a Tabela 15 para 5 % e a Tabela 16 para 1 % de probabilidade de PIMENTEL GOMES ( 1990 ), Anexo V. Com os graus de liberdade GL (1 e 6) tem-se nas tabelas os valores 5,99 para o nível de 5 % de probabilidade é de 13,75 para o nível de 1 % de probabilidade. Isto quer dizer que há uma probabilidade de 95 % de se obter, por simples acaso, um valor de  $F$  igual ou inferior a 5,99 e há probabilidade de 5 % de se obter os valores de  $F$  superiores a 5,99. No caso estudado da boca de lobo Tipo - A o valor obtido (  $F= 6.1402$  ) excede apenas ao limite de 5 % e se diz significativo ao nível de 5 %. Isto significa que há uma probabilidade inferior a 5 % de que o valor de  $F$  observado tenha ocorrido por acaso. Portanto pode-se dizer que a diferença foi muito pequena, ao nível de 5 % de probabilidade, entre as velocidades medidas no campo por ocasião da chuva e as calculadas pela Equação 35.

c) Boca de lobo Tipo – C. Equação de Ajuste Linear para  $Y$ = Velocidade calculada (m/s) e  $X$ = Velocidade medida (m/s):

$$Y = -0,809 + (0,992) X ;$$

$$r = +0,921 , \text{ Coeficiente de correlação } ( r );$$

$$r^2 = 0,848 , \text{ Coeficiente de determinação } ( r^2 ).$$

Análise estatística do Modelo:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão	1	0.8407	0.8407	128.2364
Residuo	23	0.1508	0.0066	
Total	24	0.9915		

Os limites de significância de  $F$  são dados de acordo com a Tabela 15 para 5 % e a Tabela 16 para 1 % de probabilidade de PIMENTEL GOMES ( 1990 ), Anexo V. Com os graus de liberdade GL (1 e 23) tem-se nas tabelas os valores 4,28 para o nível de 5 % de probabilidade e de 7,88 para o nível de 1 % de probabilidade. Isto quer dizer que há uma probabilidade de 95 % de se obter, por simples acaso, um valor de  $F$  igual ou inferior a 4,28 e há probabilidade de 5 % de se obter os valores de  $F$  superiores a 4,28. Analogamente, é de 1 % a probabilidade de que o valor de  $F$  exceda a 7,88. No caso estudado da boca de lobo Tipo - C o valor obtido ( $F = 128.2364$ ) excede o limite de 1 % e se diz significativo ao nível de 1 %. Isto significa que há uma probabilidade inferior a 1 % de que o valor de  $F$  observado tenha ocorrido por acaso. Portanto pode-se dizer que a diferença foi muito pequena, ao nível de 1 % de probabilidade, entre as velocidades medidas no campo por ocasião da chuva e as calculadas pela Equação 35.

Tais resultados, comprovando que as velocidades medidas diretamente no campo com as velocidade calculadas pela Equação 35 apresentam pequenas diferenças, o que permite concluir que se a Equação 35 pode ser aplicada na determinação da velocidade, e conseqüentemente a Equação 33 também pode fornecer bons resultados na determinação da vazão na sarjeta. Com base nessas análises, pode se dizer que as Equações empregadas apresentam resultados compatíveis com os dados medidos no campo.

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

BOCA DE LOBO - TIPO A - Av. do Comercio, em frente 879, Jardim Pérola										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=20,00 m	$V_o$ Medida m/s	$Q_oB$ (m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	$V_oB$ (m/s) Eq.(B)	$Q_oC$ (m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	$V_oC$ (m/s) Eq.(B)	$Q_oB-Q_oC$ Eq.(A)	Eficiência (%)
1	0,040	0,080	8,390	2,384	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
2	0,035	0,075	8,480	2,358	0,10564	1,720	0,02041	0,959	0,08524	80,68
3	0,035	0,070	8,550	2,339	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
4	0,045	0,090	8,610	2,323	0,17178	1,942	0,03988	1,134	0,13190	76,78
5	0,040	0,085	8,650	2,312	0,14750	1,870	0,02913	1,048	0,11836	80,25
6	0,035	0,075	9,370	2,134	0,10564	1,720	0,02041	0,959	0,08524	80,68
7	0,020	0,055	10,370	1,929	0,04620	1,399	0,00459	0,660	0,04161	90,07
8	0,000	0,040	10,810	1,850	0,01976	1,131	0,00000	0,000	0,01976	100,00
9	0,000	0,035	11,930	1,676	0,01384	1,035	0,00000	0,000	0,01384	100,00
10	0,040	0,080	8,330	2,401	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
11	0,040	0,075	8,590	2,328	0,10564	1,720	0,02913	1,048	0,07651	72,42
12	0,035	0,070	8,870	2,255	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
13	0,030	0,060	9,330	2,144	0,05826	1,482	0,01353	0,865	0,04474	76,78
14	0,020	0,050	9,930	2,014	0,03583	1,313	0,00459	0,660	0,03124	87,19
15	0,000	0,040	11,230	1,781	0,01976	1,131	0,00000	0,000	0,01976	100,00
16	0,000	0,035	11,880	1,684	0,01384	1,035	0,00000	0,000	0,01384	100,00
17	0,000	0,030	12,140	1,647	0,00918	0,934	0,00000	0,000	0,00918	100,00
18	0,045	0,090	8,350	2,395	0,17178	1,942	0,03988	1,134	0,13190	76,78
19	0,045	0,085	8,510	2,350	0,14750	1,870	0,03988	1,134	0,10761	72,96
20	0,040	0,080	8,570	2,334	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
21	0,035	0,075	8,730	2,291	0,10564	1,720	0,02041	0,959	0,08524	80,68
22	0,035	0,070	8,790	2,275	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
23	0,040	0,080	8,520	2,347	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
24	0,035	0,070	8,810	2,270	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
25	0,015	0,050	9,970	2,006	0,03583	1,313	0,00213	0,545	0,03370	94,05

**Tabela ( 01 )** - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - A  
continua

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

<b>BOCA DE LOBO - TIPO A - Av. do Comercio, em frente 879, Jardim Pérola</b>										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=20,00 m	Vo.Medida m/s	QoB(m3/s) Eq.( A )	VoB( m/s ) Eq.( B )	QoC (m3/s) Eq.( A )	VoC( m/s ) Eq.( B )	QoB-QoC Eq.( A )	Eficiência ( % )
26	0,005	0,045	10,960	1,825	0,02705	1,223	0,00011	0,262	0,02694	99,58
27	0,000	0,045	11,030	1,813	0,02705	1,223	0,00000	0,000	0,02705	100,00
28	0,040	0,085	8,370	2,389	0,14750	1,870	0,02913	1,048	0,11836	80,25
29	0,035	0,070	8,780	2,278	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
30	0,020	0,060	9,970	2,006	0,05826	1,482	0,00459	0,660	0,05368	92,13
31	0,010	0,050	10,190	1,963	0,03583	1,313	0,00072	0,416	0,03511	97,98
32	0,000	0,040	11,140	1,795	0,01976	1,131	0,00000	0,000	0,01976	100,00
33	0,000	0,035	12,030	1,663	0,01384	1,035	0,00000	0,000	0,01384	100,00
34	0,045	0,080	8,330	2,401	0,12548	1,795	0,03988	1,134	0,08560	68,22
35	0,045	0,075	8,730	2,291	0,10564	1,720	0,03988	1,134	0,06576	62,25
36	0,040	0,070	8,960	2,232	0,08789	1,643	0,02913	1,048	0,05875	66,85
37	0,035	0,060	9,480	2,110	0,05826	1,482	0,02041	0,959	0,03786	64,98
38	0,020	0,050	10,020	1,996	0,03583	1,313	0,00459	0,660	0,03124	87,19
39	0,045	0,070	8,810	2,270	0,08789	1,643	0,03988	1,134	0,04800	54,62
40	0,035	0,065	9,170	2,181	0,07213	1,563	0,02041	0,959	0,05172	71,71
41	0,030	0,060	9,530	2,099	0,05826	1,482	0,01353	0,865	0,04474	76,78
42	0,015	0,050	10,340	1,934	0,03583	1,313	0,00213	0,545	0,03370	94,05
43	0,000	0,040	11,077	1,806	0,01976	1,131	0,00000	0,000	0,01976	100,00
44	0,000	0,030	11,980	1,669	0,00918	0,934	0,00000	0,000	0,00918	100,00
45	0,025	0,065	10,120	1,976	0,07213	1,563	0,00832	0,766	0,06381	88,47
46	0,020	0,060	10,690	1,871	0,05826	1,482	0,00459	0,660	0,05368	92,13
47	0,010	0,050	10,770	1,857	0,03583	1,313	0,00072	0,416	0,03511	97,98
48	0,000	0,040	11,960	1,672	0,01976	1,131	0,00000	0,000	0,01976	100,00
49	0,000	0,035	12,270	1,630	0,01384	1,035	0,00000	0,000	0,01384	100,00
50	0,040	0,075	8,570	2,334	0,10564	1,720	0,02913	1,048	0,07651	72,42

**Tabela ( 01 )** - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - A  
continua

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

<b>BOCA DE LOBO - TIPO A - Av. do Comercio, em frente 879, Jardim Pérola</b>										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=20,00 m	Vo.Medida m/s	QoB(m3/s) Eq.( A )	VoB( m/s ) Eq.( B )	QoC (m3/s) Eq.( A )	VoC( m/s ) Eq.( B )	QoB-QoC Eq.( A )	Eficiência ( % )
51	<b>0,030</b>	<b>0,065</b>	9,070	2,205	0,07213	1,563	0,01353	0,865	0,05860	81,25
52	0,020	0,060	9,380	2,132	0,05826	1,482	0,00459	0,660	0,05368	92,13
53	0,015	0,055	10,830	1,847	0,04620	1,399	0,00213	0,545	0,04407	95,39
54	0,010	0,050	10,750	1,860	0,03583	1,313	0,00072	0,416	0,03511	97,98
55	0,005	0,045	11,350	1,762	0,02705	1,223	0,00011	0,262	0,02694	99,58
56	0,000	0,040	12,090	1,654	0,01976	1,131	0,00000	0,000	0,01976	100,00
57	0,040	0,075	8,470	2,361	0,10564	1,720	0,02913	1,048	0,07651	72,42
58	0,035	0,070	8,650	2,312	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
59	<b>0,030</b>	<b>0,065</b>	8,630	2,317	0,07213	1,563	0,01353	0,865	0,05860	81,25
60	0,025	0,060	9,530	2,099	0,05826	1,482	0,00832	0,766	0,04995	85,72
61	0,020	0,050	10,380	1,927	0,03583	1,313	0,00459	0,660	0,03124	87,19
62	0,000	0,045	11,470	1,744	0,02705	1,223	0,00000	0,000	0,02705	100,00

**Tabela ( 01 ) - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - A**

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

### BOCA DE LOBO - TIPO B - Rua Guaratingueta, 216, Jardim Pérola

MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=15,20 m	Vo.Medida m/s	QoB(m3/s) Eq.( A )	VoB( m/s ) Eq.( B )	QoC (m3/s) Eq.( A )	VoC( m/s ) Eq.( B )	QoB-QoC Eq.( A )	Eficiência ( % )
1	0,020	0,095	5,170	3,868	0,17825	2,053	0,00234	0,677	0,17591	98,69
2	0,015	0,085	6,980	2,865	0,13250	1,906	0,00109	0,558	0,13141	99,18
3	0,000	0,080	7,050	2,837	0,11272	1,831	0,00000	0,000	0,11272	100,00
4	0,000	0,070	7,130	2,805	0,07895	1,675	0,00000	0,000	0,07895	100,00
5	0,000	0,065	7,570	2,642	0,06479	1,594	0,00000	0,000	0,06479	100,00
6	0,000	0,050	7,970	2,509	0,03219	1,338	0,00000	0,000	0,03219	100,00
7	0,000	0,040	8,470	2,361	0,01775	1,153	0,00000	0,000	0,01775	100,00
8	0,015	0,085	7,020	2,849	0,13250	1,906	0,00109	0,558	0,13141	99,18
9	0,000	0,080	7,090	2,821	0,11272	1,831	0,00000	0,000	0,11272	100,00
10	0,000	0,070	7,230	2,766	0,07895	1,675	0,00000	0,000	0,07895	100,00
11	0,000	0,055	7,380	2,710	0,04150	1,426	0,00000	0,000	0,04150	100,00
12	0,000	0,040	9,540	2,096	0,01775	1,153	0,00000	0,000	0,01775	100,00
13	0,025	0,100	5,070	3,945	0,20437	2,125	0,00424	0,785	0,20014	97,93
14	0,020	0,095	5,120	3,906	0,17825	2,053	0,00234	0,677	0,17591	98,69
15	<b>0,020</b>	<b>0,090</b>	5,220	3,831	0,15431	1,981	0,00234	0,677	0,15198	98,49
16	0,000	0,080	6,780	2,950	0,11272	1,831	0,00000	0,000	0,11272	100,00
17	0,000	0,070	6,950	2,878	0,07895	1,675	0,00000	0,000	0,07895	100,00
18	0,000	0,080	7,080	2,825	0,11272	1,831	0,00000	0,000	0,11272	100,00
19	0,000	0,075	7,330	2,729	0,09490	1,754	0,00000	0,000	0,09490	100,00
20	0,000	0,070	7,510	2,663	0,07895	1,675	0,00000	0,000	0,07895	100,00
21	0,000	0,065	7,730	2,587	0,06479	1,594	0,00000	0,000	0,06479	100,00
22	0,000	0,050	8,170	2,448	0,03219	1,338	0,00000	0,000	0,03219	100,00
23	0,000	0,065	7,480	2,674	0,06479	1,594	0,00000	0,000	0,06479	100,00
24	0,000	0,050	7,670	2,608	0,03219	1,338	0,00000	0,000	0,03219	100,00
25	0,000	0,045	8,830	2,265	0,02430	1,248	0,00000	0,000	0,02430	100,00

**Tabela ( 02 )** - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - B  
continua

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $Vo$ EM DIAS DE CHUVAS

### BOCA DE LOBO - TIPO B - Rua Guaratingueta, 216, Jardim Pérola

MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=15,20 m	Vo Medida m/s	QoB(m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	VoB( m/s ) Eq.(B)	QoC (m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	VoC( m/s ) Eq.(B)	QoB-QoC Eq.(A)	Eficiência (%)
26	0,000	0,040	9,570	2,090	0,01775	1,153	0,00000	0,000	0,01775	100,00
27	<b>0,020</b>	<b>0,090</b>	5,180	3,861	0,15431	1,981	0,00234	0,677	0,15198	98,49
28	0,015	0,085	5,350	3,738	0,13250	1,906	0,00109	0,558	0,13141	99,18
29	0,000	0,070	6,930	2,886	0,07895	1,675	0,00000	0,000	0,07895	100,00
30	0,000	0,065	7,090	2,821	0,06479	1,594	0,00000	0,000	0,06479	100,00
31	0,000	0,050	7,680	2,604	0,03219	1,338	0,00000	0,000	0,03219	100,00
32	0,000	0,075	7,210	2,774	0,09490	1,754	0,00000	0,000	0,09490	100,00
33	0,000	0,065	7,290	2,743	0,06479	1,594	0,00000	0,000	0,06479	100,00
34	0,000	0,050	8,020	2,494	0,03219	1,338	0,00000	0,000	0,03219	100,00
35	0,000	0,045	8,870	2,255	0,02430	1,248	0,00000	0,000	0,02430	100,00
36	0,000	0,060	7,520	2,660	0,05234	1,511	0,00000	0,000	0,05234	100,00
37	0,000	0,055	8,080	2,475	0,04150	1,426	0,00000	0,000	0,04150	100,00
38	0,000	0,040	9,560	2,092	0,01775	1,153	0,00000	0,000	0,01775	100,00
39	0,000	0,035	10,300	1,942	0,01243	1,055	0,00000	0,000	0,01243	100,00
40	0,000	0,030	11,120	1,799	0,00824	0,952	0,00000	0,000	0,00824	100,00
41	0,000	0,065	7,080	2,825	0,06479	1,594	0,00000	0,000	0,06479	100,00
42	0,000	0,050	8,020	2,494	0,03219	1,338	0,00000	0,000	0,03219	100,00
43	0,000	0,045	8,800	2,273	0,02430	1,248	0,00000	0,000	0,02430	100,00
44	0,000	0,040	9,580	2,088	0,01775	1,153	0,00000	0,000	0,01775	100,00
45	0,000	0,060	7,030	2,845	0,05234	1,511	0,00000	0,000	0,05234	100,00
46	0,000	0,055	7,380	2,710	0,04150	1,426	0,00000	0,000	0,04150	100,00
47	0,000	0,050	7,670	2,608	0,03219	1,338	0,00000	0,000	0,03219	100,00
48	0,000	0,045	8,910	2,245	0,02430	1,248	0,00000	0,000	0,02430	100,00
49	0,000	0,040	9,540	2,096	0,01775	1,153	0,00000	0,000	0,01775	100,00
50	0,000	0,035	10,780	1,855	0,01243	1,055	0,00000	0,000	0,01243	100,00
51	0,000	0,030	11,070	1,807	0,00824	0,952	0,00000	0,000	0,00824	100,00

Tabela ( 02 ) - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - B

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

### BOCA DE LOBO - TIPO C - Rua do Milho, 612, Jardim Pérola

MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=22,00 m	Vo.Medida m/s	QoB(m3/s) Eq.( A )	VoB( m/s ) Eq.( B )	QoC (m3/s) Eq.( A )	VoC( m/s ) Eq.( B )	QoB-QoC Eq.( A )	Eficiência ( % )
1	0,030	0,055	7,570	2,642	0,07339	1,732	0,00756	1,067	0,06583	89,69
2	0,020	0,050	7,980	2,506	0,05692	1,625	0,00257	0,814	0,05436	95,49
3	0,010	0,045	8,480	2,358	0,04298	1,515	0,00040	0,513	0,04257	99,06
4	0,000	0,040	8,960	2,232	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
5	0,000	0,030	10,230	1,955	0,01458	1,156	0,00000	0,000	0,01458	100,00
6	0,000	0,035	9,530	2,099	0,02199	1,281	0,00000	0,000	0,02199	100,00
7	0,000	0,030	10,110	1,978	0,01458	1,156	0,00000	0,000	0,01458	100,00
8	0,035	0,070	7,170	2,789	0,13962	2,034	0,01141	1,183	0,12821	91,83
9	<b>0,025</b>	<b>0,060</b>	7,330	2,729	0,09256	1,835	0,00465	0,945	0,08791	94,97
10	0,010	0,050	8,150	2,454	0,05692	1,625	0,00040	0,513	0,05652	99,29
11	0,000	0,040	9,180	2,179	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
12	0,000	0,030	10,210	1,959	0,01458	1,156	0,00000	0,000	0,01458	100,00
13	0,045	0,080	7,230	2,766	0,19934	2,223	0,02230	1,398	0,17704	88,81
14	0,035	0,065	7,080	2,825	0,11458	1,936	0,01141	1,183	0,10317	90,04
15	0,010	0,050	8,270	2,418	0,05692	1,625	0,00040	0,513	0,05652	99,29
16	0,005	0,045	8,530	2,345	0,04298	1,515	0,00006	0,323	0,04291	99,85
17	0,000	0,040	9,130	2,191	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
18	0,000	0,035	9,540	2,096	0,02199	1,281	0,00000	0,000	0,02199	100,00
19	0,045	0,070	7,170	2,789	0,13962	2,034	0,02230	1,398	0,11732	84,03
20	0,040	0,065	7,190	2,782	0,11458	1,936	0,01629	1,293	0,09829	85,78
21	0,030	0,060	7,350	2,721	0,09256	1,835	0,00756	1,067	0,08500	91,83
22	0,020	0,050	8,090	2,472	0,05692	1,625	0,00257	0,814	0,05436	95,49
23	0,000	0,040	8,830	2,265	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
24	0,000	0,035	9,340	2,141	0,02199	1,281	0,00000	0,000	0,02199	100,00
25	0,000	0,045	9,070	2,205	0,04298	1,515	0,00000	0,000	0,04298	100,00

**Tabela ( 03 )** - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - C

continua

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

<b>BOCA DE LOBO - TIPO C - Rua do Milho, 612, Jardim Pérola</b>										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=22,00 m	Vo.Medida m/s	QoB(m3/s) Eq.(A)	VoB( m/s) Eq.(B)	QoC (m3/s) Eq.(A)	VoC( m/s) Eq.(B)	QoB-QoC Eq.(A)	Eficiência (%)
26	0,000	0,040	9,560	2,092	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
27	0,000	0,030	9,980	2,004	0,01458	1,156	0,00000	0,000	0,01458	100,00
28	0,035	0,070	7,210	2,774	0,13962	2,034	0,01141	1,183	0,12821	91,83
29	0,030	0,060	7,290	2,743	0,09256	1,835	0,00756	1,067	0,08500	91,83
30	0,010	0,045	8,610	2,323	0,04298	1,515	0,00040	0,513	0,04257	99,06
31	0,000	0,040	8,770	2,281	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
32	0,000	0,030	9,450	2,116	0,01458	1,156	0,00000	0,000	0,01458	100,00
33	0,015	0,050	8,280	2,415	0,05692	1,625	0,00119	0,672	0,05573	97,91
34	0,000	0,040	8,780	2,278	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
35	0,000	0,035	9,590	2,086	0,02199	1,281	0,00000	0,000	0,02199	100,00
36	0,000	0,045	8,360	2,392	0,04298	1,515	0,00000	0,000	0,04298	100,00
37	0,000	0,035	9,510	2,103	0,02199	1,281	0,00000	0,000	0,02199	100,00
38	0,000	0,040	8,170	2,448	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
39	0,000	0,035	9,370	2,134	0,02199	1,281	0,00000	0,000	0,02199	100,00
40	0,000	0,030	10,530	1,899	0,01458	1,156	0,00000	0,000	0,01458	100,00
41	0,000	0,050	8,160	2,451	0,05692	1,625	0,00000	0,000	0,05692	100,00
42	0,000	0,040	8,790	2,275	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
43	0,000	0,035	9,320	2,146	0,02199	1,281	0,00000	0,000	0,02199	100,00
44	0,035	0,065	7,030	2,845	0,11458	1,936	0,01141	1,183	0,10317	90,04
45	0,020	0,050	8,250	2,424	0,05692	1,625	0,00257	0,814	0,05436	95,49
46	0,010	0,045	8,590	2,328	0,04298	1,515	0,00040	0,513	0,04257	99,06
47	0,000	0,040	8,790	2,275	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00
48	0,000	0,030	9,570	2,090	0,01458	1,156	0,00000	0,000	0,01458	100,00
49	0,045	0,070	7,010	2,853	0,13962	2,034	0,02230	1,398	0,11732	84,03
50	0,030	0,065	7,180	2,786	0,11458	1,936	0,00756	1,067	0,10702	93,40
51	<b>0,025</b>	<b>0,060</b>	7,330	2,729	0,09256	1,835	0,00465	0,945	0,08791	94,97
52	0,015	0,055	7,560	2,646	0,07339	1,732	0,00119	0,672	0,07220	98,38
53	0,000	0,040	8,710	2,296	0,03139	1,400	0,00000	0,000	0,03139	100,00

**Tabela ( 03 ) - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - C**

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

BOCA DE LOBO - TIPO A - Av. do Comercio, em frente 879, Jardim Pérola										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=20,00 m	$V_o$ Medida m/s	$Q_oB$ (m <sup>3</sup> /s) Eq.( A )	$V_oB$ ( m/s ) Eq.( B )	$Q_oC$ ( m <sup>3</sup> /s) Eq.( A )	$V_oC$ ( m/s ) Eq.( B )	$Q_oB-Q_oC$ Eq.( A )	Eficiência ( % )
1	0,040	0,080	8,390	2,384	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
2	0,035	0,075	8,480	2,358	0,10564	1,720	0,02041	0,959	0,08524	80,68
3	0,035	0,070	8,550	2,339	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
4	0,045	0,090	8,610	2,323	0,17178	1,942	0,03988	1,134	0,13190	76,78
5	0,040	0,085	8,650	2,312	0,14750	1,870	0,02913	1,048	0,11836	80,25
6	0,035	0,075	9,370	2,134	0,10564	1,720	0,02041	0,959	0,08524	80,68
7	0,020	0,055	10,370	1,929	0,04620	1,399	0,00459	0,660	0,04161	90,07
8	0,040	0,080	8,330	2,401	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
9	0,040	0,075	8,590	2,328	0,10564	1,720	0,02913	1,048	0,07651	72,42
10	0,035	0,070	8,870	2,255	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
11	0,030	0,060	9,330	2,144	0,05826	1,482	0,01353	0,865	0,04474	76,78
12	0,020	0,050	9,930	2,014	0,03583	1,313	0,00459	0,660	0,03124	87,19
13	0,045	0,090	8,350	2,395	0,17178	1,942	0,03988	1,134	0,13190	76,78
14	0,045	0,085	8,510	2,350	0,14750	1,870	0,03988	1,134	0,10761	72,96
15	0,040	0,080	8,570	2,334	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
16	0,035	0,075	8,730	2,291	0,10564	1,720	0,02041	0,959	0,08524	80,68
17	0,035	0,070	8,790	2,275	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
18	0,040	0,080	8,520	2,347	0,12548	1,795	0,02913	1,048	0,09635	76,78
19	0,035	0,070	8,810	2,270	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
20	0,015	0,050	9,970	2,006	0,03583	1,313	0,00213	0,545	0,03370	94,05
21	0,005	0,045	10,960	1,825	0,02705	1,223	0,00011	0,262	0,02694	99,58
22	0,040	0,085	8,370	2,389	0,14750	1,870	0,02913	1,048	0,11836	80,25
23	0,035	0,070	8,780	2,278	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
24	0,020	0,060	9,970	2,006	0,05826	1,482	0,00459	0,660	0,05368	92,13
25	0,010	0,050	10,190	1,963	0,03583	1,313	0,00072	0,416	0,03511	97,98

**Tabela ( 04 )** - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - A ( menos as eficiências de 100% )  
continua

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

<b>BOCA DE LOBO - TIPO A - Av. do Comercio, em frente 879, Jardim Pérola</b>										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=20,00 m	$V_o$ Medida m/s	$Q_oB$ (m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	$V_oB$ ( m/s ) Eq.(B)	$Q_oC$ (m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	$V_oC$ ( m/s ) Eq.(B)	$Q_oB-Q_oC$ Eq.(A)	Eficiência (%)
26	0,045	0,080	8,330	2,401	0,12548	1,795	0,03988	1,134	0,08560	68,22
27	0,045	0,075	8,730	2,291	0,10564	1,720	0,03988	1,134	0,06576	62,25
28	0,040	0,070	8,960	2,232	0,08789	1,643	0,02913	1,048	0,05875	66,85
29	0,035	0,060	9,480	2,110	0,05826	1,482	0,02041	0,959	0,03786	64,98
30	0,020	0,050	10,020	1,996	0,03583	1,313	0,00459	0,660	0,03124	87,19
31	0,045	0,070	8,810	2,270	0,08789	1,643	0,03988	1,134	0,04800	54,62
32	0,035	0,065	9,170	2,181	0,07213	1,563	0,02041	0,959	0,05172	71,71
33	0,030	0,060	9,530	2,099	0,05826	1,482	0,01353	0,865	0,04474	76,78
34	0,015	0,050	10,340	1,934	0,03583	1,313	0,00213	0,545	0,03370	94,05
35	0,025	0,065	10,120	1,976	0,07213	1,563	0,00832	0,766	0,06381	88,47
36	0,020	0,060	10,690	1,871	0,05826	1,482	0,00459	0,660	0,05368	92,13
37	0,010	0,050	10,770	1,857	0,03583	1,313	0,00072	0,416	0,03511	97,98
38	0,040	0,075	8,570	2,334	0,10564	1,720	0,02913	1,048	0,07651	72,42
39	0,030	0,065	9,070	2,205	0,07213	1,563	0,01353	0,865	0,05860	81,25
40	0,020	0,060	9,380	2,132	0,05826	1,482	0,00459	0,660	0,05368	92,13
41	0,015	0,055	10,830	1,847	0,04620	1,399	0,00213	0,545	0,04407	95,39
42	0,010	0,050	10,750	1,860	0,03583	1,313	0,00072	0,416	0,03511	97,98
43	0,005	0,045	11,350	1,762	0,02705	1,223	0,00011	0,262	0,02694	99,58
44	0,040	0,075	8,470	2,361	0,10564	1,720	0,02913	1,048	0,07651	72,42
45	0,035	0,070	8,650	2,312	0,08789	1,643	0,02041	0,959	0,06748	76,78
46	0,030	0,065	8,630	2,317	0,07213	1,563	0,01353	0,865	0,05860	81,25
47	0,025	0,060	9,530	2,099	0,05826	1,482	0,00832	0,766	0,04995	85,72
48	0,020	0,050	10,380	1,927	0,03583	1,313	0,00459	0,660	0,03124	87,19
<b>Média</b>									<b>0,06498</b>	<b>81,20</b>

**Tabela ( 04 ) - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - A ( menos as eficiências de 100% )**

### MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

BOCA DE LOBO - TIPO B - Rua Guaratingueta, 216, Jardim Pérola										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=15,20 m	$V_o$ .Medida m/s	$Q_oB$ (m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	$V_oB$ ( m/s ) Eq.(B)	$Q_oC$ (m <sup>3</sup> /s) Eq.(A)	$V_oC$ ( m/s ) Eq.(B)	$Q_oB-Q_oC$ Eq.(A)	Eficiência (%)
1	0,020	0,095	5,170	3,868	0,17825	2,053	0,00234	0,677	0,17591	98,69
2	0,015	0,085	6,980	2,865	0,13250	1,906	0,00109	0,558	0,13141	99,18
3	0,015	0,085	7,020	2,849	0,13250	1,906	0,00109	0,558	0,13141	99,18
4	0,025	0,100	5,070	3,945	0,20437	2,125	0,00424	0,785	0,20014	97,93
5	0,020	0,095	5,120	3,906	0,17825	2,053	0,00234	0,677	0,17591	98,69
6	0,020	0,090	5,220	3,831	0,15431	1,981	0,00234	0,677	0,15198	98,49
7	0,020	0,090	5,180	3,861	0,15431	1,981	0,00234	0,677	0,15198	98,49
8	0,015	0,085	5,350	3,738	0,13250	1,906	0,00109	0,558	0,13141	99,18
<b>Média</b>									<b>0,15627</b>	<b>98,73</b>

Tabela ( 05 ) - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - B ( menos as eficiências de 100% )

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ EM DIAS DE CHUVAS

<b>BOCA DE LOBO - TIPO C - Rua do Milho, 612, Jardim Pérola</b>										
MEDICAO	Altura de Y em C	Altura de Y em B	Tempo (s) L=22,00 m	Vo.Medida m/s	QoB(m3/s) Eq.( A)	VoB( m/s) Eq.( B)	QoC (m3/s) Eq.( A)	VoC( m/s) Eq.( B)	QoB-QoC Eq.( A)	Eficiência (%)
1	0,030	0,055	7,570	2,642	0,07339	1,732	0,00756	1,067	0,06583	89,69
2	0,020	0,050	7,980	2,506	0,05692	1,625	0,00257	0,814	0,05436	95,49
3	0,010	0,045	8,480	2,358	0,04298	1,515	0,00040	0,513	0,04257	99,06
4	0,035	0,070	7,170	2,789	0,13962	2,034	0,01141	1,183	0,12821	91,83
5	0,025	0,060	7,330	2,729	0,09256	1,835	0,00465	0,945	0,08791	94,97
6	0,010	0,050	8,150	2,454	0,05692	1,625	0,00040	0,513	0,05652	99,29
7	0,045	0,080	7,230	2,766	0,19934	2,223	0,02230	1,398	0,17704	88,81
8	0,035	0,065	7,080	2,825	0,11458	1,936	0,01141	1,183	0,10317	90,04
9	0,010	0,050	8,270	2,418	0,05692	1,625	0,00040	0,513	0,05652	99,29
10	0,005	0,045	8,530	2,345	0,04298	1,515	0,00006	0,323	0,04291	99,85
11	0,045	0,070	7,170	2,789	0,13962	2,034	0,02230	1,398	0,11732	84,03
12	0,040	0,065	7,190	2,782	0,11458	1,936	0,01629	1,293	0,09829	85,78
13	0,030	0,060	7,350	2,721	0,09256	1,835	0,00756	1,067	0,08500	91,83
14	0,020	0,050	8,090	2,472	0,05692	1,625	0,00257	0,814	0,05436	95,49
15	0,035	0,070	7,210	2,774	0,13962	2,034	0,01141	1,183	0,12821	91,83
16	0,030	0,060	7,290	2,743	0,09256	1,835	0,00756	1,067	0,08500	91,83
17	0,010	0,045	8,610	2,323	0,04298	1,515	0,00040	0,513	0,04257	99,06
18	0,015	0,050	8,280	2,415	0,05692	1,625	0,00119	0,672	0,05573	97,91
19	0,035	0,065	7,030	2,845	0,11458	1,936	0,01141	1,183	0,10317	90,04
20	0,020	0,050	8,250	2,424	0,05692	1,625	0,00257	0,814	0,05436	95,49
21	0,010	0,045	8,590	2,328	0,04298	1,515	0,00040	0,513	0,04257	99,06
22	0,045	0,070	7,010	2,853	0,13962	2,034	0,02230	1,398	0,11732	84,03
23	0,030	0,065	7,180	2,786	0,11458	1,936	0,00756	1,067	0,10702	93,40
24	0,025	0,060	7,330	2,729	0,09256	1,835	0,00465	0,945	0,08791	94,97
25	0,015	0,055	7,560	2,646	0,07339	1,732	0,00119	0,672	0,07220	98,38
<b>Média</b>									<b>0,08264</b>	<b>93,66</b>

Tabela ( 06 ) - Dados Obtidos para a Boca de Lobo Tipo - C ( menos as eficiências de 100% )

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ UTILIZANDO O CAMINHÃO - PIPA

### BOCA DE LOBO - TIPO A - Av. do Comercio, em frente 879, Jardim Pérola

MEDICAO	Altura de Y em B	Tempo (s) L=20,00 m	$V_o$ Medida m/s	$Q_o$ (m <sup>3</sup> /s) Eq. (A)	$V_o$ (m/s) Eq. (B)	$Q_o$ (m <sup>3</sup> /s) Eq. (C)	$V_o$ (m/s) Eq. (D)
1	0,030	13,430	1,489	0,0092	0,934	0,0075	0,760
2	0,030	13,690	1,461	0,0092	0,934	0,0075	0,760
3	0,030	13,830	1,446	0,0092	0,934	0,0075	0,760
4	0,030	13,950	1,434	0,0092	0,934	0,0075	0,760
5	0,030	14,050	1,423	0,0092	0,934	0,0075	0,760
6	0,030	14,200	1,408	0,0092	0,934	0,0075	0,760
7	0,030	14,480	1,381	0,0092	0,934	0,0075	0,760
8	0,025	14,950	1,338	0,0056	0,827	0,0046	0,673
9	0,025	15,030	1,331	0,0056	0,827	0,0046	0,673
10	0,025	15,140	1,321	0,0056	0,827	0,0046	0,673
11	0,025	15,190	1,317	0,0056	0,827	0,0046	0,673
12	0,025	15,270	1,310	0,0056	0,827	0,0046	0,673
13	0,025	15,380	1,300	0,0056	0,827	0,0046	0,673
14	0,025	15,370	1,301	0,0056	0,827	0,0046	0,673
15	0,025	15,420	1,297	0,0056	0,827	0,0046	0,673
Média	0,027	14,625	1,370	0,0074	0,877	0,0059	0,714
Des.Pad.	0,002	0,681	0,065	0,0015	0,053	0,0010	0,043
C.V.	0,091	0,047	0,047	0,2027	0,061	0,1670	0,061

**Tabela ( 07 ) - Valores Medidos e Calculados da Boca de Lobo Tipo - A  
( Com Caminhão Pipa )**

## MEDIÇÃO DE $Y_0$ e $V_0$ UTILIZANDO O CAMINHÃO - PIPA

BOCA DE LOBO - TIPO B - Rua Guaratingueta, 216, Jardim Esmeralda							
MEDICAO	Altura de Y em B	Tempo (s) L=35,20 m	Vo. Medida m/s	Qo (m3/s) Eq. ( A )	Vo. ( m/s ) Eq. ( B )	Qo (m3/s) Eq. ( C )	Vo. ( m/s ) Eq. ( D )
1	0,035	20,450	1,721	0,0128	1,090	0,0104	0,885
2	0,035	21,160	1,664	0,0128	1,090	0,0104	0,885
3	0,035	21,250	1,656	0,0128	1,090	0,0104	0,885
4	0,035	22,070	1,595	0,0128	1,090	0,0104	0,885
5	0,035	22,300	1,578	0,0128	1,090	0,0104	0,885
6	0,035	23,490	1,499	0,0128	1,090	0,0104	0,885
7	0,030	23,270	1,513	0,0085	0,983	0,0069	0,798
8	0,030	24,000	1,467	0,0085	0,983	0,0069	0,798
9	0,030	24,050	1,464	0,0085	0,983	0,0069	0,798
10	0,030	24,110	1,460	0,0085	0,983	0,0069	0,798
MEDICAO	Altura de Y em B	Tempo (s) L=15,20 m	Vo. Medida m/s	Qo (m3/s) Eq. ( A )	Vo. ( m/s ) Eq. ( B )	Qo (m3/s) Eq. ( C )	Vo. ( m/s ) Eq. ( D )
11	0,030	9,550	1,592	0,0082	0,953	0,0067	0,774
12	0,030	9,670	1,572	0,0082	0,953	0,0067	0,774
13	0,030	9,780	1,554	0,0082	0,953	0,0067	0,774
14	0,025	9,800	1,551	0,0051	0,844	0,0041	0,685
15	0,025	9,790	1,553	0,0051	0,844	0,0041	0,685
16	0,025	9,900	1,535	0,0051	0,844	0,0041	0,685
17	0,025	9,930	1,531	0,0051	0,844	0,0041	0,685
18	0,025	9,900	1,535	0,0051	0,844	0,0041	0,685
19	0,025	9,970	1,525	0,0051	0,844	0,0041	0,685
20	0,025	10,030	1,515	0,0051	0,844	0,0041	0,685
Média	0,027	9,832	1,546	0,0062	0,877	0,0049	0,712
Des.Pad.	0,002	0,137	0,022	0,0015	0,050	0,0014	0,041
C.V.	0,086	0,014	0,014	0,2371	0,057	0,2796	0,057

**Tabela ( 08 ) - Valores Medidos e Calculados da Boca de Lobo Tipo - B  
( Com Caminhão Pipa )**

## MEDIÇÃO DE $Y_o$ e $V_o$ UTILIZANDO O CAMINHÃO - PIPA

BOCA DE LOBO - TIPO C - Rua do Milho, 612, Jardim Pérola							
MEDICAO	Altura de Y em B	Tempo (s) L=22,0 m	Vo.Medida m/s	Qo (m3/s) Eq.(A)	Vo.( m/s) Eq.(B)	Qo (m3/s) Eq.(C)	Vo.( m/s) Eq.(D)
1	0,035	10,080	2,183	0,0220	1,282	0,0180	1,052
2	0,035	10,130	2,172	0,0220	1,282	0,0180	1,052
3	0,035	10,160	2,165	0,0220	1,282	0,0180	1,052
4	0,035	10,190	2,159	0,0220	1,282	0,0180	1,052
5	0,030	10,220	2,153	0,0146	1,156	0,0120	0,949
6	0,030	10,250	2,146	0,0146	1,156	0,0120	0,949
7	0,030	10,270	2,142	0,0146	1,156	0,0120	0,949
8	0,030	10,360	2,124	0,0146	1,156	0,0120	0,949
9	0,030	10,570	2,081	0,0146	1,156	0,0120	0,949
10	0,030	10,890	2,020	0,0146	1,156	0,0120	0,949
11	0,030	10,900	2,018	0,0146	1,156	0,0120	0,949
12	0,030	10,960	2,007	0,0146	1,156	0,0120	0,949
13	0,025	10,980	2,004	0,0090	1,024	0,0074	0,840
14	0,025	11,020	1,996	0,0090	1,024	0,0074	0,840
15	0,025	11,170	1,970	0,0090	1,024	0,0074	0,840
16	0,025	11,300	1,947	0,0090	1,024	0,0074	0,840
17	0,025	11,380	1,933	0,0090	1,024	0,0074	0,840
18	0,025	11,800	1,864	0,0090	1,024	0,0074	0,840
19	0,025	11,820	1,861	0,0090	1,024	0,0074	0,840
20	0,025	11,850	1,857	0,0090	1,024	0,0074	0,840
Média	0,029	10,815	2,037	0,0140	1,128	0,0112	0,926
Des.Pad.	0,004	0,587	0,106	0,0048	0,097	0,0041	0,080
C.V.	0,129	0,054	0,052	0,3443	0,086	0,3634	0,086

**Tabela ( 09 ) - Valores Medidos e Calculados da Boca de Lobo Tipo - C  
( Com Caminhão Pipa )**

### DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE $n$ DE MANNING

Para altura de  $Y_o$  em  $B$  de 3,0 cm

Tipos de Bocas de Lobo	QPIPA( m3/s)	QoB( m3/s)	$\Delta$	$\Delta$ /QPIPA	$n$	QoB( m3/s)	$\Delta$	$\Delta$ /QPIPA	$n$
	C/ tambor	Eq.( A)		(%)		Eq.( A)		Eq.( C)	
BL - A	0,006447	0,00918	-0,002729	-42,33%	0,0228	0,00747	-0,001023	-15,87%	0,0185
BL - B	0,009271	0,00824	0,001031	11,12%	0,0142	0,00617	0,003101	33,45%	0,0116
BL - C	0,008846	0,01458	-0,005734	-64,82%	0,0264	0,01196	-0,003114	-35,20%	0,0216
com simplificação						sem simplificação			

**Tabela 10** - Comparação do Coeficiente  $n$

### COMPARAÇÃO DA VAZÃO CALCULADA COM A VAZÃO DO PIPA

Para altura de $Y_o$ em B de 3,0 cm							
Tipos de Bocas de Lobo	QPIPA(m <sup>3</sup> /s) C/ tambor	QoB(m <sup>3</sup> /s) Eq.( A )	$\Delta$	$\Delta$ /QPIPA (%)	QoB(m <sup>3</sup> /s) Eq.( C )	$\Delta$	$\Delta$ /QPIPA (%)
BL - A	0,006447	0,00918	-0,002729	-42,33%	0,00747	-0,001023	-15,87%
BL - B	0,009271	0,00824	0,001031	11,12%	0,00617	0,003101	33,45%
BL - C	0,008846	0,01458	-0,005734	-64,82%	0,01196	-0,003114	-35,20%

Tabela 11 - Comparação da Vazão

### COMPARAÇÃO DA VELOCIDADE CALCULADA COM A VEL. DO PIPA

Para altura de $Y_o$ em B de 3,0 cm							
Tipos de Bocas de Lobo	Vo PIPA (m/s)	Vo(m/s) Eq.( B )	$\Delta$	$\Delta$ / VoPIPA (%)	Vo(m/s) Eq.( D )	$\Delta$	$\Delta$ / VoPIPA (%)
BL - A	1,435	0,934	0,501	34,91%	0,760	0,675	47,04%
BL - B	1,573	0,953	0,620	39,42%	0,774	0,799	50,79%
BL - C	2,086	1,156	0,930	44,58%	0,949	1,137	54,51%

Tabela 12 - Comparação da Velocidade

## 6 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos e nas condições observadas no campo durante este estudo, pode-se concluir que :

a) Os três tipos de bocas de lobo estudadas apresentaram boa capacidade de engolimento, com desempenho considerado satisfatório, a vazão média de engolimento foi de aproximadamente 65, 156 e 82 l/s, respectivamente para os Tipos – A, B e C. Em todas as bocas de lobo, as vazões de engolimento calculada através da diferença da vazão à montante e à jusante, utilizando as alturas da água medidas em campo  $Y_{oB}$  e  $Y_{oC}$  aplicada na Equação 33, foram maiores que as vazões determinadas por outros métodos ou equações citadas na literatura por vários pesquisadores:

- Para a boca de lobo Tipo - A, a vazão de engolimento determinada por GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), apresentou resultado mais próximo da vazão obtida pela medição de campo, do que a calculada pelas equações desenvolvidas por SOUZA ( 1986 );
- Para a boca de lobo Tipo - B, a vazão de engolimento determinada por GEYER, BENTON e LI ( 1956 ), apresentou resultado muito menor que da vazão obtida pela medição de campo ( menos que a metade);e
- Para a boca de lobo Tipo – C, a vazão de engolimento determinada pelo gráfico da CETESB ( 1986 ), apresentou o resultado mais próximo da vazão obtida pela medição de campo.

b) As variações na determinação da vazão de engolimento de cada tipo de boca de lobo em relação a outros métodos e equações citados na literatura, são em função de inúmeros fatores que

influenciam diretamente nos resultados, principalmente o fato de que a maioria dos métodos foram desenvolvidos em laboratório, cujas características e situações normalmente não se repetem em campo.

c) O coeficiente de rugosidade  $n$  de Manning é um fator muito difícil de ser determinado corretamente, pois para cada trecho das bocas de lobo estudadas existem um coeficiente diferente de  $n$ , e a variação deste coeficiente influencia diretamente no resultado da vazão de engolimento determinada para cada boca de lobo, o valor de  $n$  determinado através da Equação C ( sem simplificação ) foram de 0,0185, 0,0116 e 0,0216 respectivamente para os Tipos - A, B e C, conforme mostrado no estudo utilizando o caminhão pipa.

d) O cálculo da capacidade de engolimento das bocas de lobo Tipos – A e C, em função das medições em campo da altura da água na guia, apresentaram melhores resultados através da utilização da Equação C ( sem simplificação ), já para a Tipo – B a Equação A ( com simplificação ) apresentou resultado mais próximo ao medido em campo, conforme foi mostra no estudo utilizando o caminhão pipa.

e) As velocidades medidas em campo através do lançamento de tampas plásticas de garrafas descartáveis no fluxo existente na sarjeta, foram sempre maiores que as calculadas pelas Equações B e D ( com simplificação e sem simplificação ), apresentando resultados uniformes para os diferentes tipos de bocas de lobo estudadas, sendo que os valores calculados pela Equação B estão mais próximos das velocidades medidas, tanto para as campanhas nos dias de chuvas como nas utilizando o caminhão pipa.

f) A boca de lobo combinada Tipo - C, da forma como esta construída não apresentou resultados de eficiência de captação superior as demais, foi verificado que a abertura na guia ( chapéu ) praticamente não influenciou no seu desempenho, indicando que a localização da abertura na guia deveria ser melhor estudada; A boca de lobo Tipo - B apresentou maior eficiência neste estudo, porém a grade deve operar sempre sem obstrução; Já a boca de lobo Tipo – A comportou-se conforme esperado captando uma vazão de engolimento média menor que as outras bocas estudadas.

Espera-se que este trabalho seja de fácil compreensão e que auxilie os engenheiros projetistas no estudo das vazões captada pelas bocas de lobo em projetos de galerias de águas pluviais para drenagem urbana.

Como sugestão, recomenda se que seja conduzido um experimento de modelagem em laboratório dessas três bocas de lobo ( Tipos – A, B e C ), o que poderia contribuir muito para uma completa análise, pois em laboratório seria possível rigoroso controle da vazão e da velocidade, permitindo simulações diferentes como variação de declividade, tipo de pavimento, além de ser possível um maior numero de dados coletados, etc. Pois coletar dados em campo é um processo que sofre interferências de vários fatores, o trabalho de campo depende basicamente da temporada, da intensidade das chuvas e do horário de sua ocorrência, não sendo possível aproveitar todas as chuvas ocorridas no período de estudo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISSE, M. M. **Drenagem Urbana** . Curso Sobre Controle da Erosão Urbana. Campo Grande, UFMS, Set. 13-17, 1982. 41p.
- BARREIRO, C. H.; FELEX, J. B. **Boca de lobo e Drenagem Superficial Urbana**. Anais do IX ANPET- Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, Nov. 20-25, 1.995, 1 - 8 p.
- BARREIRO, C. H. **Tópicos Sobre Observação de Drenagem Superficial de Vias Urbana**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1.997, 143 p.
- CETESB e ACETESB . **Drenagem Urbana, Manual de Projeto** .Editora CETESB 3a. Edição. São Paulo. 1986. 464 p.
- DESPOTOVIC, J. **Laboratory Investigation of Urban Drainage Inlet Capacity**. Proceedings of the XXII CONGRESS, International Association for Hydraulic Research, Lausanne 1.987, pg. 94-99.
- ESKENAZI, I. R. **Laboratory Study of Absorbed Runoff Flow by Different Gully Grating Systems**. Proceedings of the third International Conference on URBAN STORM DRAINAGE, Goteborg, Sweden, june 4-8,1984, pg. 77-86.

FRENCH, R. H. **Open Channel hydraulics** . Mac Graw Hill International Editions, New York, 1.986. 705 p. CHAPTER FOUR – Development of Uniform Flow Concepts, 111 -162 p.

GEYER, J. C.; BENTON, G. S.; LI, W. H. **The Design of Storm-Water Inlets** . Report of the Storm Drainage Research Committee of the Storm Drainage Research Project. Baltimore, Maryland, the Johns Hopkins University, 1.956. 193 p.

GUO, J. C. Y. **Street Hydraulics e Inlet Sizing** . Using the computer model UDINLET. Water Resources publications, LLC, Highlands Ranch, Colorado, 1.997. 103 p.

JOHNSON, F. L.; CHANG, F. F. M. **Drainage of Highway Pavements**. Hydraulic Engineering, Circular N° 12, March de 1984, 137 pg, U.S. Department of Transportation.

LI, W. H. **Hydraulic Theory for Design of Storm-Water Inlets**, reimpresso de PROCEEDINGS OF THE THIRTY-THIRD ANNUAL MEETING OF HIGHWAY RESEARCH BOARD, January, 1954 e publicado em **The Design of Storm-Water Inlets**. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June 1956.

LI, W.H.; GEYER, J.C.; BENTON, G. S. **Flow into Gutter Inlets in a Straight Gutter without Depression**, reimpresso de SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES, Vol. 23 , N° 1, January, 1951 e publicado em **The Design of Storm-Water Inlets**. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June 1956.

LI, W. H.; GEYER, J. C.; GOODELL, C. B. **Flow into Deflector Inlets**, reimpresso de SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES, Vol. 26 , N° 7, July, 1954 e publicado em **The Design of Storm-Water Inlets**. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June 1956.

- LI, W. H.; GEYER, J. C.; GOODELL, C. B. **Flow into Depressed Combination Inlets**, reimpresso de SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES, Vol. 26 , Nº 8, August, 1954 e publicado em **The Design of Storm-Water Inlets**. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June 1956.
- LI, W. H.; GEYER, J. C.; SORTEBERG, K. K. **Flow into Curb-Opening Inlets**, reimpresso de SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES, Vol. 23 , Nº 6, June, 1951 e publicado em **The Design of Storm-Water Inlets**. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June 1956.
- LINSLEY, C. K.; FRANZINI, J. B. **Engenharia de Recursos Hídricos**. Trad. Prof. Eng. Luiz A. Pastorino. São Paulo, EDUSP, 1978. Cap.17- Drenagem, pg. 587-605.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 13ª edição, Livraria Nobel S.A., 1990, pg. 01 – 55, e 404 – 421 .
- POMPÊO, C. A.; SAVIETTO, H. **Drenagem de Pavimentos: Sistema BDL**. ABRH Publicações, N.3, 1997, pg. 91 – 100.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica - 1ª Parte - Escoamento Permanente em Condutos Forçados**. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1.998, 204 p.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica - 2ª Parte - Escoamento Permanente em Condutos Livres**. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1.998, 205-426 p.
- SOUZA, P. A. **Eficiência Hidráulica de Boca de Lobo** . São Paulo , Boletim 3; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo . 1986. 36 p.
- WILKEN, P. S. **Águas Pluviais** - Tese apresentada à Comissão de Concurso para professor catedrático de Hidráulica e Saneamento na FAU. São Paulo, 1968.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, CETESB, 1978. Capítulo 4 : Estruturas Hidráulicas Singulares.

WOO, D. C. **Inlets in Stormwater Modeling**. Proceedings of the third International Conference on URBAN STORM DRAINAGE, Goteborg, Sweden, June 4-8, 1984, pg. 67-76.

ZULLO JR., J.; ARRUDA, F. B. **Programa Computacional para Ajuste de Equações em Dados Experimentais**. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 23 p (Boletim Técnico n. 113).

## **8 ANEXOS**

### **8.1 Anexo I**

Boca de lobo Tipo A, B e C .

### **8.2 Anexo II**

Estudo da sarjeta – escoamento em superfície livre.

### **8.3 Anexo III**

Tabelas ( 13 ) e ( 14 )

### **8.4 Anexo IV**

Estudo de bocas de lobo e da Vazão de uma sarjeta.

### **8.5 Anexo V**

Tabelas ( 15 ) e ( 16 )

## Anexo I

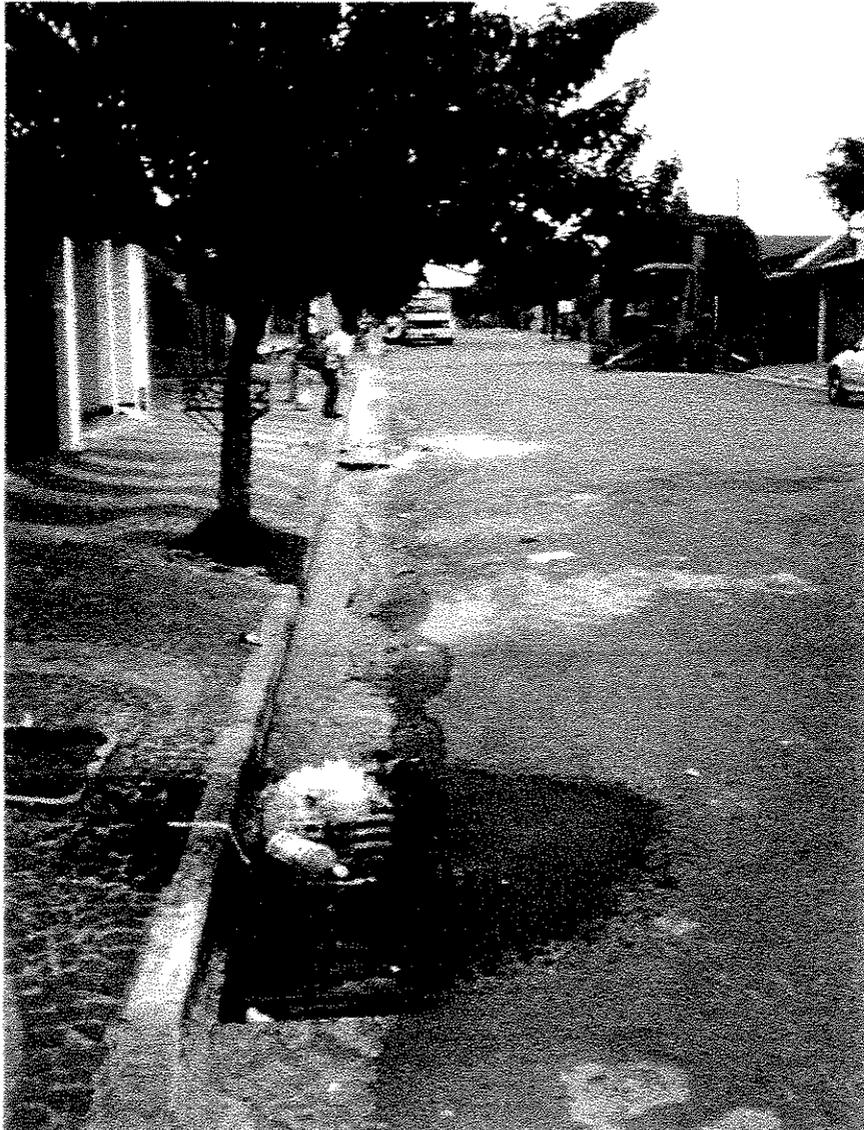


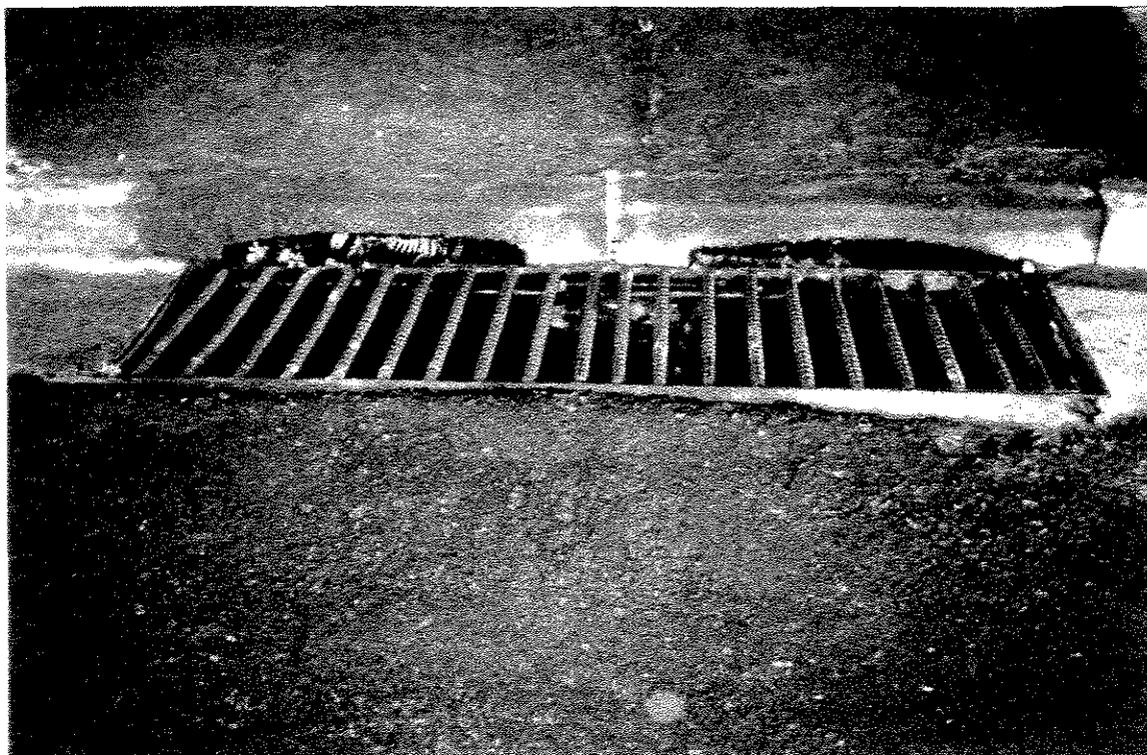
Figura 32 – Foto das medições de  $Y_0$  e de  $V_0$  utilizando o caminhão pipa.



**Figura 33 – Foto da Boca de lobo Tipo – A ( Jardim Pérola – S.B.O. )**

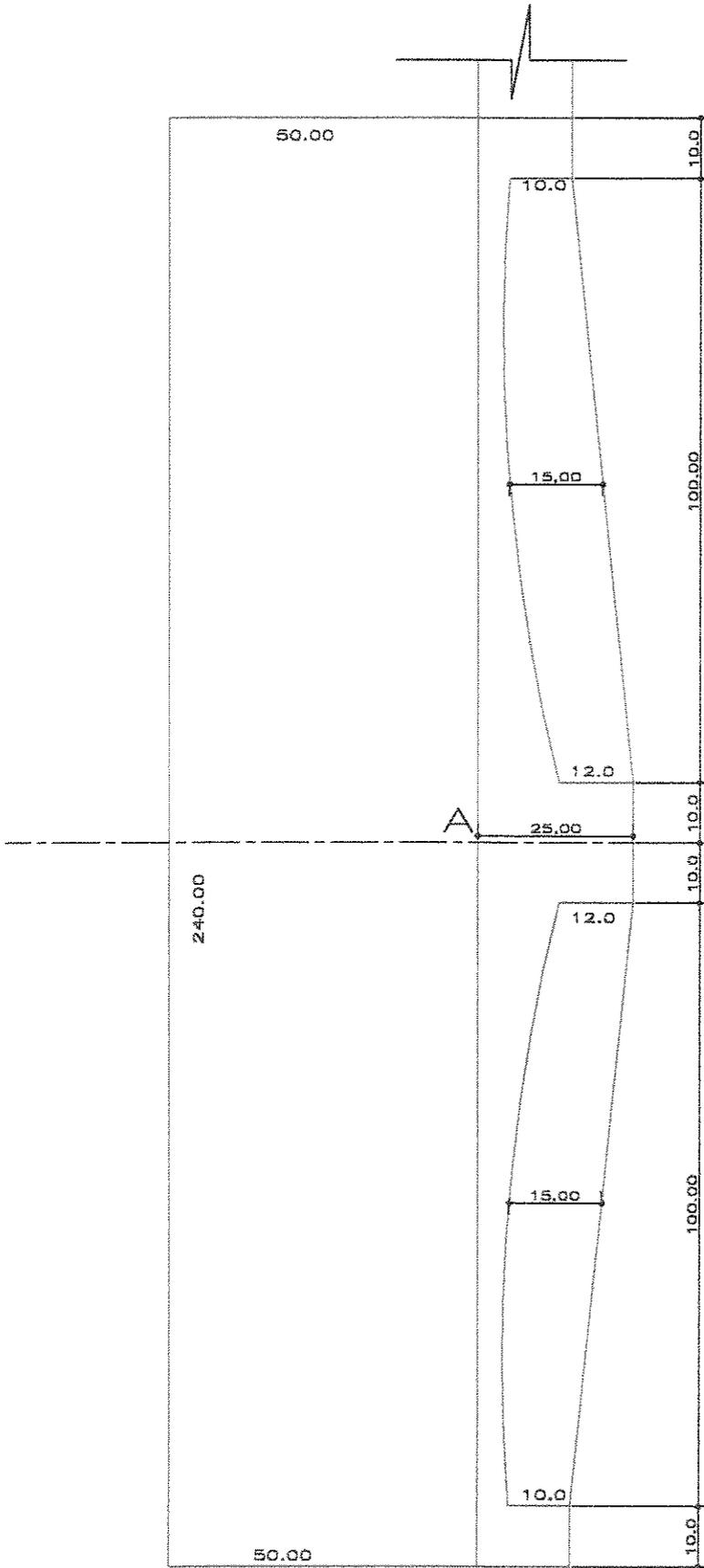


**Figura 34 – Foto da Boca de lobo Tipo – B ( Jardim Esmeralda – S.B.O. )**



**Figura 35 – Foto da Boca de lobo Tipo – C ( Jardim Pérola – S.B.O. )**

As plantas, os perfis longitudinais, os detalhes das guias, as seções transversais nas ruas das bocas de lobos estudadas dos Tipos – A, B e C , estão apresentados a seguir:

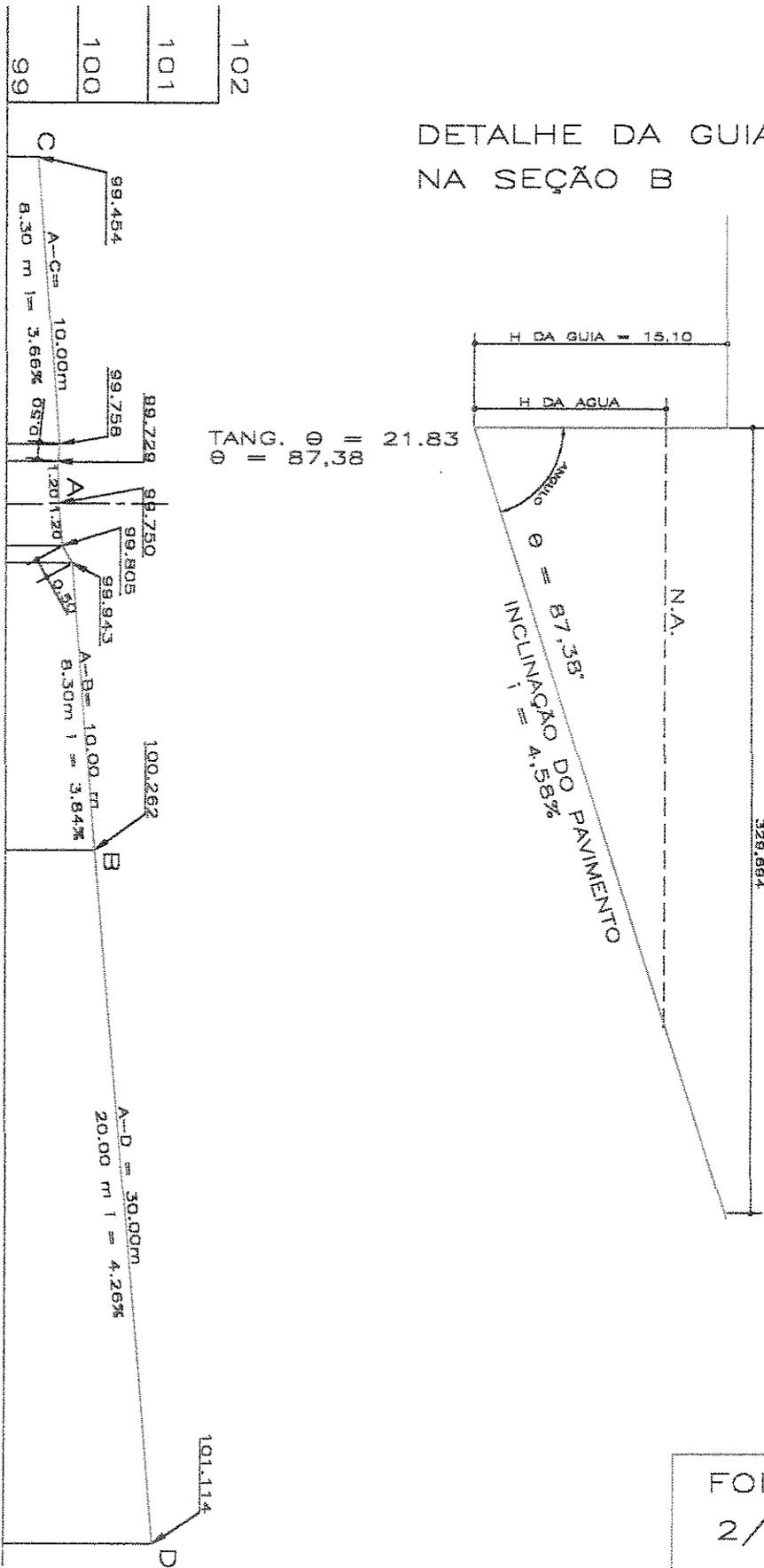


OBS:  
MEDIDAS EM CM

FOLHA  
1/9

VISTA FRONTAL e PLANTA

DETALHE DA GUIA  
NA SEÇÃO B



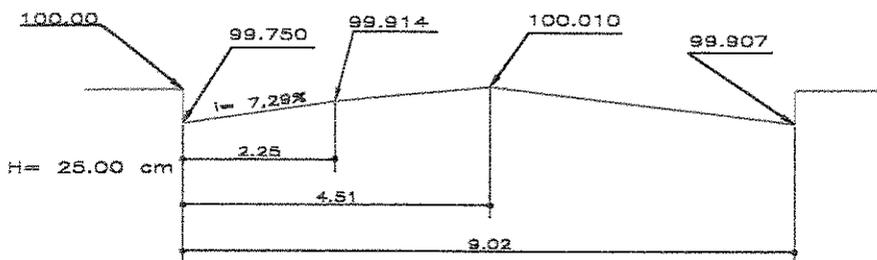
PERFIL LONGITUDINAL

FOLHA  
2/9

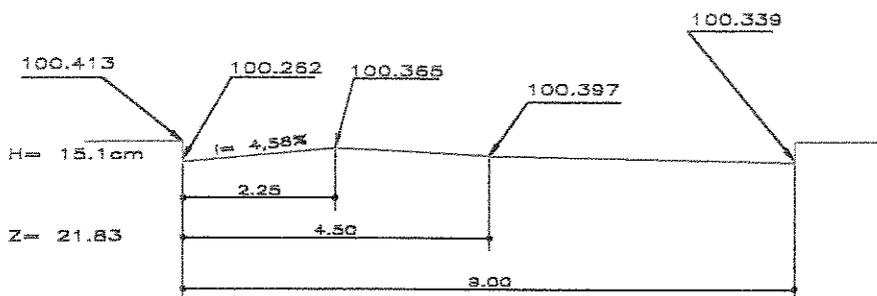
# SEÇÕES TRANSVERSAIS DA RUA — B.L — TIPO A

AV. DO COMERCIO, 879, JD. PEROLA, S.B.O

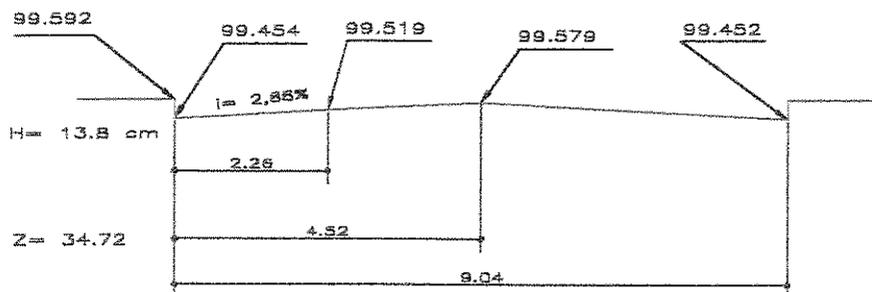
ESCALA: HORIZONTAL = 1:100  
VERTICAL = 1:50



SEÇÃO — A



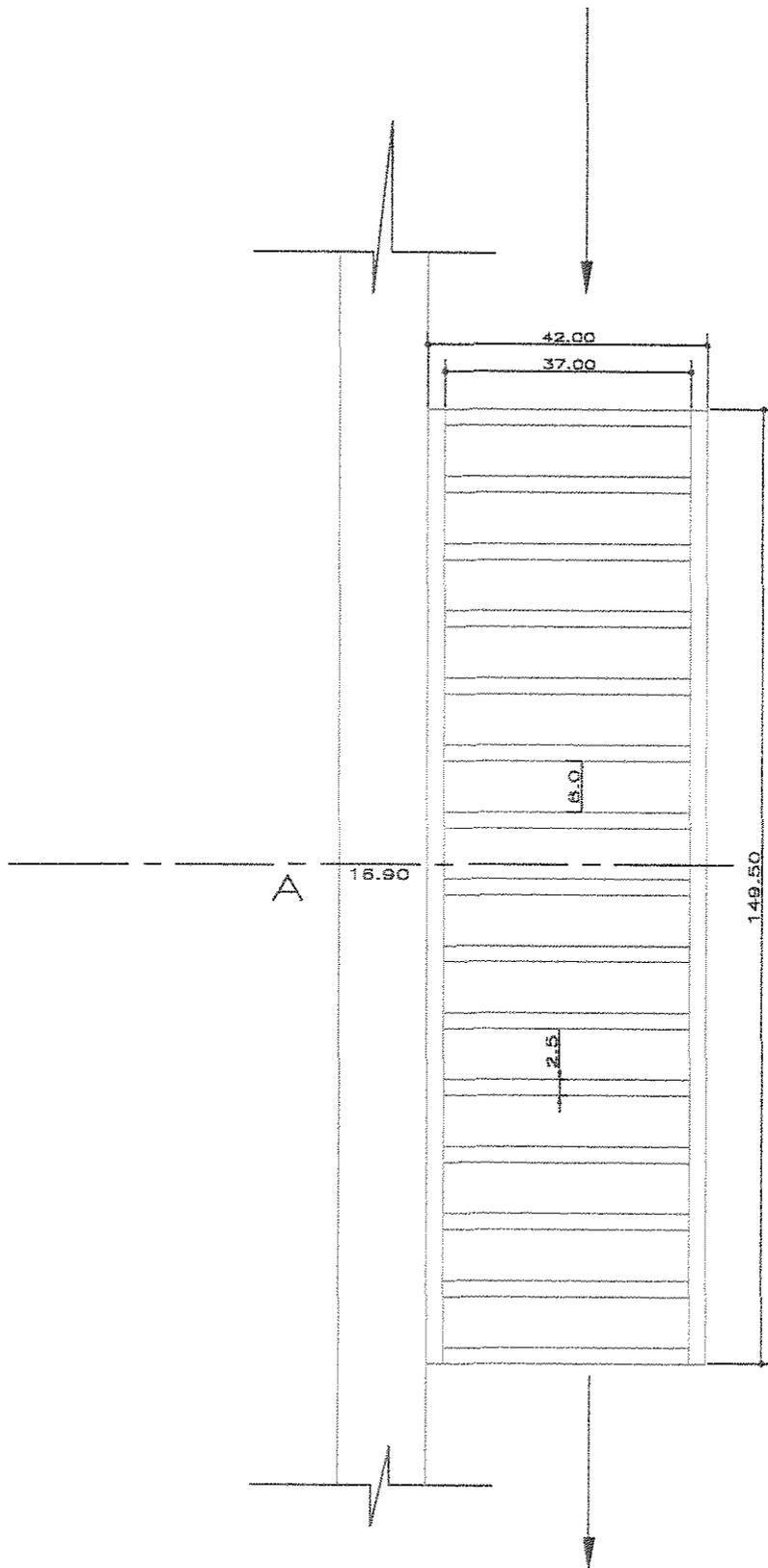
SEÇÃO — B



SEÇÃO — C

FOLHA  
3/9

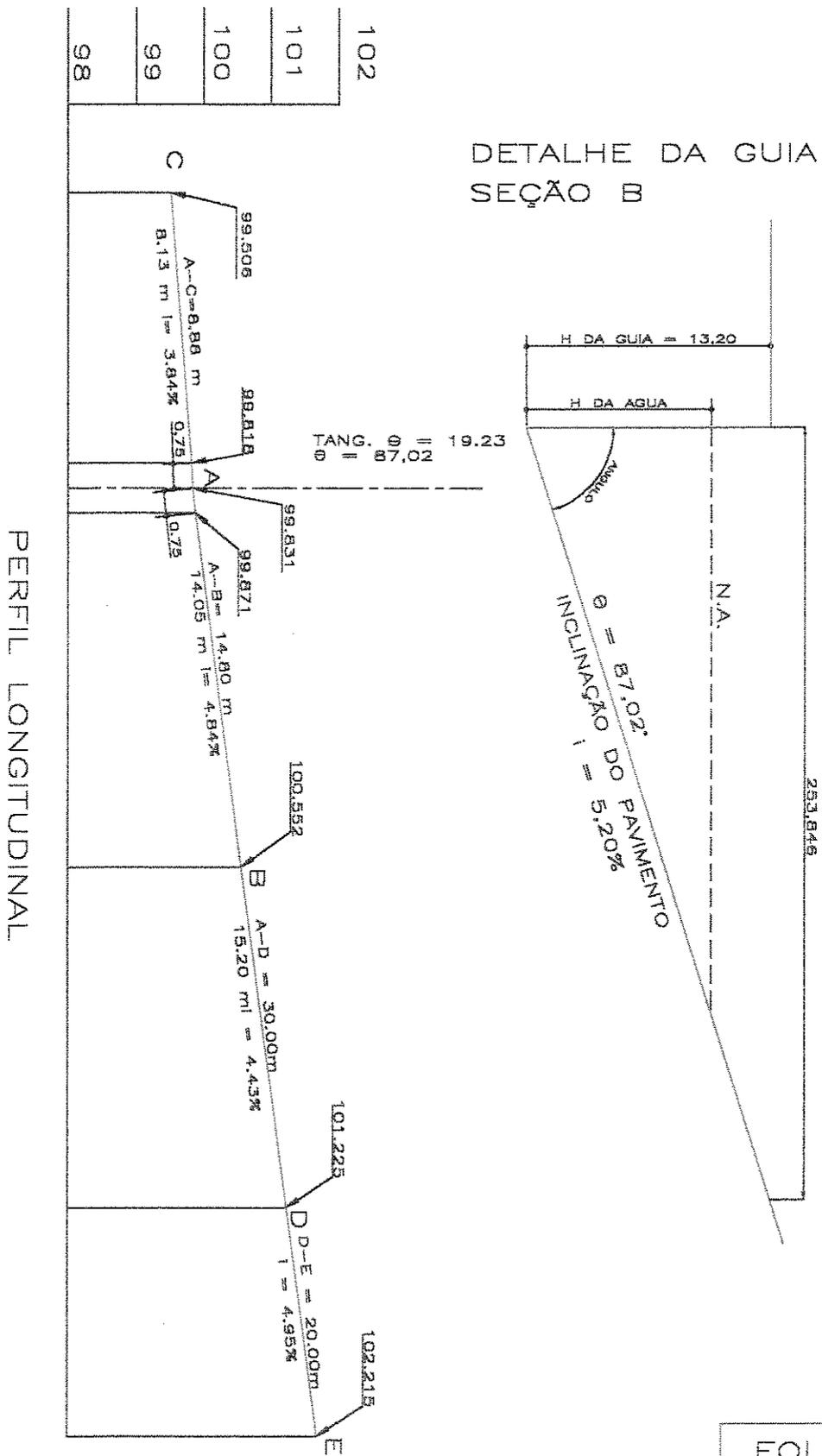
BOCA DE LOBO — TIPO B  
RUA GUARATINGUETA, 216, JD. ESMERALDA, S.B.O



OBS:  
MEDIDAS EM CM

PLANTA

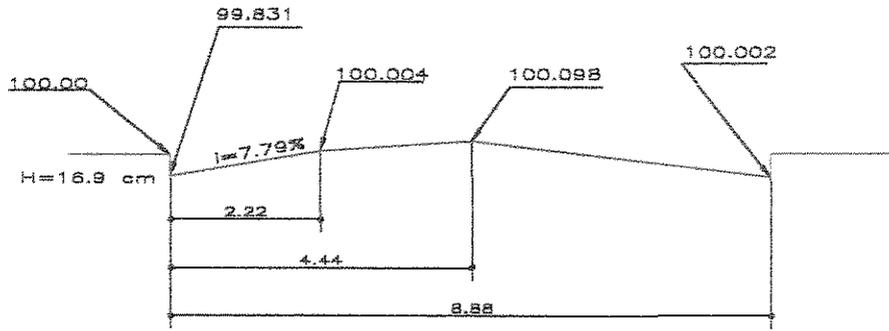
FOLHA  
4/9



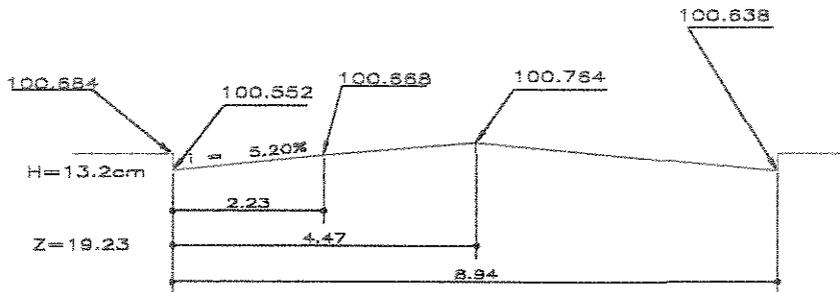
# SEÇÕES TRANSVERSAIS DA RUA - B.L. - TIPO B

RUA GUARATINGUETA, 216, JD. ESMERALDA, S.B.O

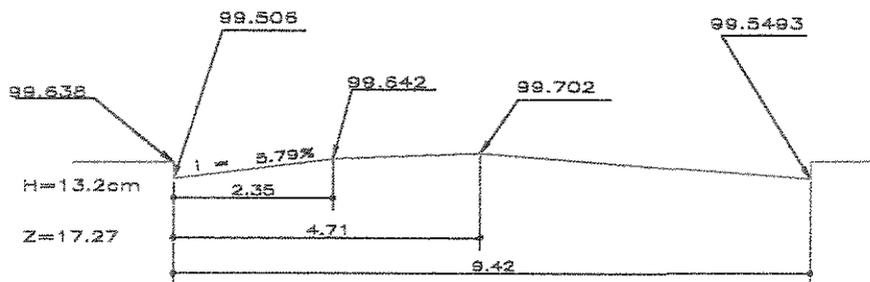
ESCALA: HORIZONTAL = 1:100  
VERTICAL = 1:50



SEÇÃO - A



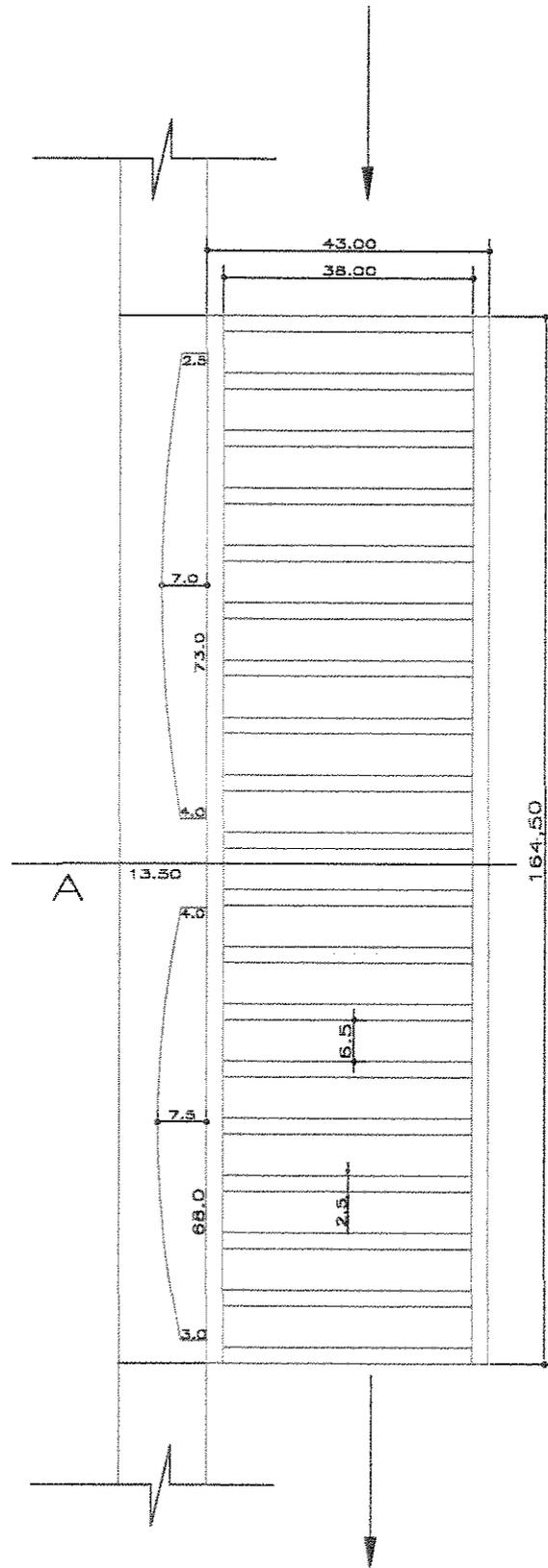
SEÇÃO - B



SEÇÃO - C

FOLHA  
6/9

BOCA DE LOBO — TIPO C  
RUA DO MILHO, 612, JD. PÉROLA, S.B.O



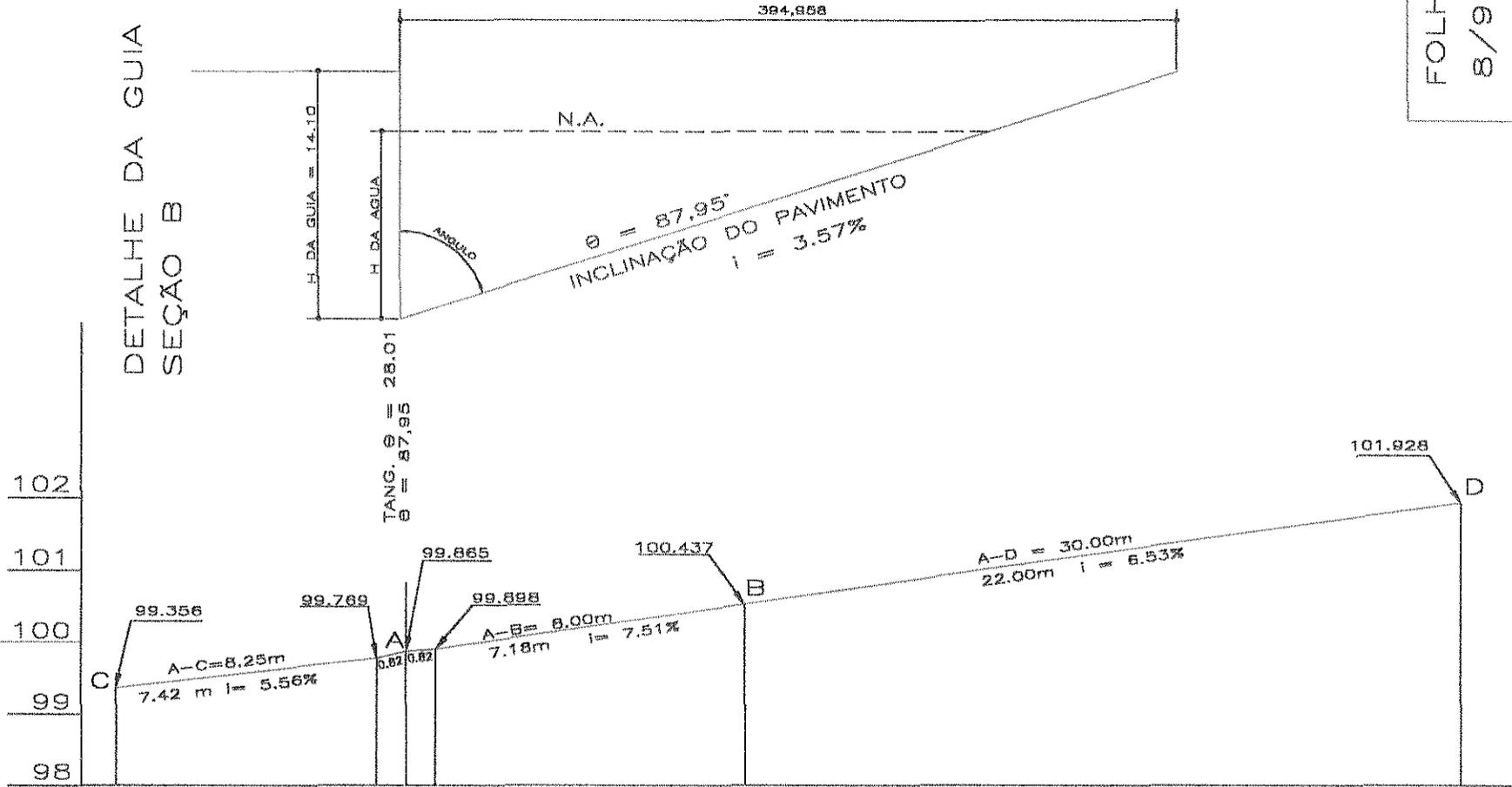
OBS:  
MEDIDAS EM CM

VISTA FRONTAL e PLANTA

FOLHA  
7/9

PERFIL LONGITUDINAL E DETALHE DA GUIA - B.L. - TIPO C  
RUA DO MILHO, 612, JD. PÉROLA, S.B.O

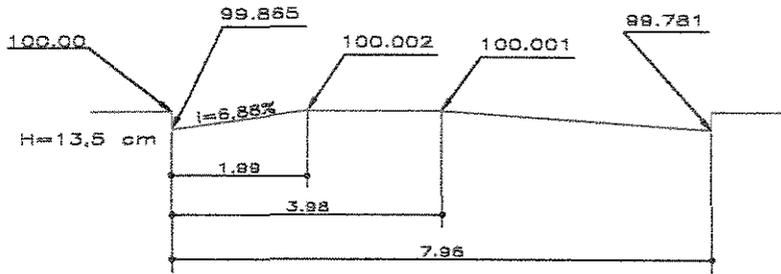
FOLHA  
8/9



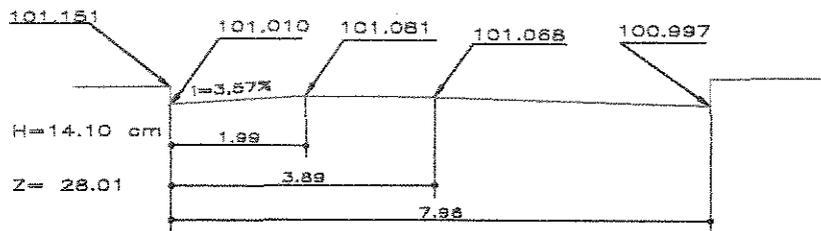
PERFIL LONGITUDINAL

SEÇÕES TRANSVERSAIS DA RUA — B.L. — TIPO C  
 RUA DO MILHO, 612, JD. PÉROLA, S.B.O

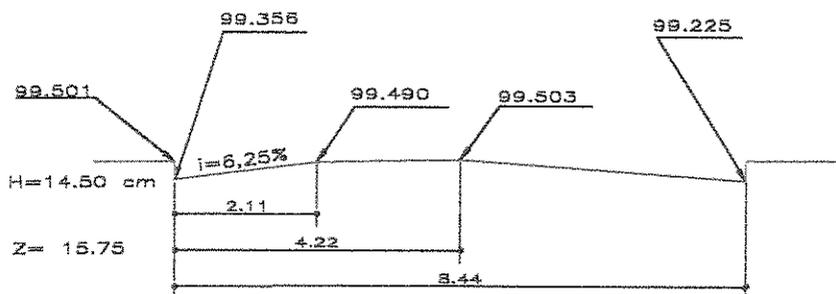
ESCALA: HORIZONTAL = 1:100  
 VERTICAL = 1:50



SEÇÃO — A



SEÇÃO — B



SEÇÃO — C

FOLHA  
 9/9

## 8.2 Anexo II

### ESTUDO DA SARJETA – ESCOAMENTO EM SUPERFÍCIE LIVRE

Nos estudos realizados por PORTO ( 1998 ) – 2ª Parte para escoamento Permanente em Conduitos Livres ou Canais, onde a característica principal é a presença da pressão atmosférica atuando sobre a superfície do líquido, em uma seção aberta, como nos canais de irrigação e drenagem ou fechados como nos conduitos de esgoto e galerias de águas pluviais. Neste caso, segundo o autor, o escoamento se processa necessariamente por gravidade.

O autor classificou os canais como *naturais* que são os cursos d'água existentes na Natureza, como as pequenas correntes, córregos, rios, estuários, etc. ou *artificiais*, de seção aberta ou fechada, construídos pelo homem, como canais de irrigação, de navegação, aquedutos, galerias, etc. Os canais podem ser ditos *prismáticos* se possuírem ao longo do comprimento seção reta e declividade de fundo constantes, caso contrário são ditos *não prismáticos*. A SARJETA pode ser classificada como sendo um canal artificial e prismático ( triangular ).

Tanto nos canais prismáticos como nos não prismáticos, uma série de parâmetros são necessários para descrever geometricamente a seção e as declividades de interesse. Conforme o autor os principais elementos geométricos são:

- a) *Área molhada* (  $A$  ) é a área da seção reta do escoamento, normal à direção do fluxo.
- b) *Perímetro molhado* (  $P$  ) é o comprimento da parte fronteira sólida da seção do canal ( fundo e paredes ) em contato com o líquido; a superfície livre não faz parte do perímetro molhado.
- c) *Raio hidráulico* (  $R_h$  ) é a relação entre a área molhada e o perímetro molhado,  $R_h = A/P$ .
- d) *Altura d'água ou tirante d'água* (  $y$  ) é a distância vertical do ponto mais baixo da seção do canal até a superfície livre.
- e) *Altura de escoamento da seção* (  $h$  ) é a altura do escoamento medida perpendicularmente ao fundo do canal.

- f) *Largura de topo* (  $B$  ) é a largura da seção do canal na superfície livre, é função da forma geométrica da seção e da altura d'água.
- g) *Altura hidráulica ou altura média* (  $H_m$  ) é a relação entre a área molhada e a largura da seção na superfície livre. É a altura de um retângulo de área equivalente a área molhada.  $H_m = A/B$ .
- h) *Declividade de fundo* (  $I_o$  ) é a declividade longitudinal do canal. Em geral as declividades dos canais são baixas, podendo ser expressas por  $I_o = \text{tg } \alpha \cong \text{sen } \alpha$ .
- i) Declividade piezométrica ou declividade da linha d'água (  $I_a$  ).
- j) *Declividade da linha de energia* (  $I_f$  ) é a variação da energia da corrente no sentido do escoamento.

O autor ressalta ainda que os fluxos nos canais podem ter como parâmetros de variabilidade o espaço e o tempo, isto é, as características hidráulicas tais como altura d'água, área molhada, raio hidráulico, podem variar no espaço, de seção para seção, e no tempo.

Tomando como critério comparativo o tempo, os escoamentos podem ser *permanentes* e *não permanente* ou *variáveis*. O escoamento ou regime é *permanente* se a velocidade local em um ponto qualquer da corrente permanecer invariável no tempo, em módulo e direção. Por conseguinte, os demais parâmetros hidráulicos em uma mesma seção transversal, tais como profundidade, vazão, área molhada, etc., guardam um valor constante e existe entre as diversas seções do canal uma “continuidade de vazão”. Ao contrário, o escoamento ou regime é *variável* se a velocidade em um certo ponto varia com o passar do tempo.

Tomando como critério comparativo o espaço, os escoamentos podem ser *uniformes* e *não uniformes* ou *variados*. O escoamento ou regime é uniforme desde que as velocidades locais sejam paralelas entre si e constantes ao longo de uma mesma trajetória; elas podem, entretanto diferir de uma trajetória para outra. As trajetórias são retilíneas e paralelas, a linha d'água é paralela ao fundo e, portanto a altura d'água é constante e  $I_o = I_a = I_f$ . Quando as trajetórias não são paralelas entre si, o escoamento é dito variado, a declividade da linha d'água não é paralela à declividade de fundo e os elementos característicos do escoamento variam de

uma seção a outra. Neste caso a declividade de fundo difere da declividade da linha d'água  $I_0 \neq I_a$ .

## **ESTABELECIMENTO DO ESCOAMENTO PERMANENTE E UNIFORME**

Segundo FRENCH ( 1986 ) embora a definição de escoamento uniforme raramente ocorre na prática, é necessário fazer a suposição de escoamento permanente e uniforme para desenvolver as equações utilizadas em soluções de muitos problemas de hidráulica em canais abertos. Geralmente, escoamento permanente e uniforme pode ocorrer somente em canais muito longo, em linha reta, prismático onde a velocidade final do fluxo pode ser obtida. Mesmo sendo teoricamente possível, o escoamento uniforme aquele em que há uma constância dos parâmetros hidráulicos, como área molhada, altura d'água, etc. para as várias seções do canal, raramente ocorre em canais aberto.

Obviamente este tipo de escoamento no qual a velocidade média é constante, só ocorre em condições de equilíbrio dinâmico, isto é, quando houver um balanceamento entre a força aceleradora e a força de resistência que tente sustar o movimento. A força de resistência depende da velocidade média do escoamento e, portanto é necessário que esta velocidade atinja um determinado valor para que haja equilíbrio entre essas forças. Por isto, é necessário que o canal prismático tenha um comprimento razoável, declividade e rugosidade constantes, para que haja possibilidade do estabelecimento do escoamento permanente e uniforme, fora dos trechos onde existe a influência das extremidades de montante e jusante.

Segundo PORTO ( 1998 ) – 2ª Parte, admitindo-se que o canal seja suficientemente longo para que possa ser estabelecido o escoamento uniforme, o desenvolvimento do fenômeno das forças pode ser descrito da seguinte forma. A força resistiva originada por uma tensão de cisalhamento entre a água e o perímetro molhado, que depende da viscosidade do fluido e da rugosidade do canal, é função da velocidade média. A força aceleradora é a componente da força da gravidade na direção do escoamento. Com o aumento da velocidade, cresce a força de resistência até que está se torna em módulo igual e oposta à componente da gravidade. Ao se atingir o equilíbrio resulta um movimento com velocidade constante, que é caracterizado pela

constância da vazão através da seção reta e constância da altura d'água, identificando o escoamento uniforme. Desta maneira pode-se verificar que em canais curtos as condições de escoamento uniforme não são atingidas, e que este tipo de escoamento é difícil de ocorrer na prática, porém a adoção deste modelo forma a base para os cálculos de escoamentos em canais.

## EQUAÇÕES DE RESISTÊNCIA

Os cálculos em canais estão baseados, segundo PORTO ( 1998 ) – 2ª Parte, em equações de resistência, equações que ligam a perda de carga em um trecho com a velocidade média, ou vazão, através de parâmetros geométricos e da rugosidade do perímetro molhado. Para o caso do escoamento permanente e uniforme em canais prismático com declividade de fundo baixa, isto pode ser feito a partir da condição de equilíbrio dinâmico entre as forças que atuam sobre a massa d'água.

Para um trecho de canal com declividade de fundo  $I_0$ , tal que se possa tomar a altura d'água medida na vertical, as forças que atuam sobre o volume de controle ABCD, da Figura 36, são a componente da força de gravidade na direção do escoamento,  $W \cdot \sin \alpha$ , as forças de pressão hidrostática e a força de cisalhamento nas paredes e fundo.

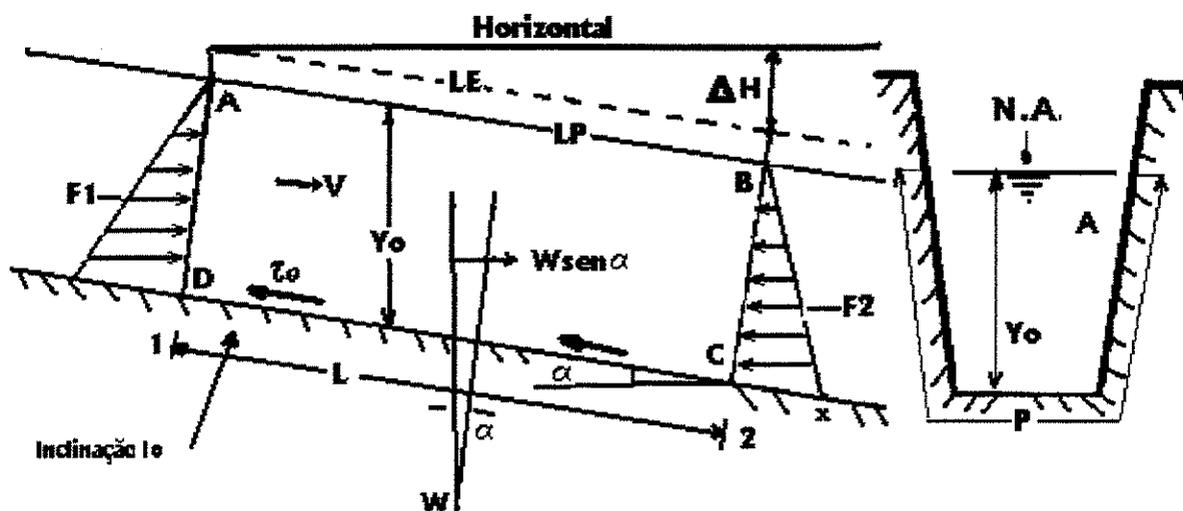


Figura 36 – Forças que atuam sobre a massa fluida – ( PORTO ( 1998 ) 2ª Parte, pg. 220 ).

Aplicando a 2ª lei de Newton ao volume de controle tem-se :

$$\sum F_x = F_1 + W \operatorname{sen} \alpha - F_2 - \tau_0 P L = 0 \quad (74)$$

Já que, por hipótese o escoamento é uniforme,  $y_1 = y_2 = y_0$  e, portanto  $F_1 = F_2$  e como  $W = \gamma A L$ , em que  $A$  é a área molhada e  $P$  o perímetro, a Equação 74 fica:

$$\gamma A L \operatorname{sen} \alpha = \tau_0 P L \quad (75)$$

e daí:

$$\tau_0 = \gamma A / P \operatorname{sen} \alpha \quad \therefore \quad \tau_0 = \gamma R_h \operatorname{sen} \alpha \quad (76)$$

Como para ângulos pequenos ( $\alpha < 6^\circ$ ) pode ser feita a aproximação,  $\operatorname{sen} \alpha = \operatorname{tg} \alpha$   
 $\operatorname{tg} \alpha = \Delta z / L = I_0$ , fica:

$$\tau_0 = \gamma R_h I_0 \quad (77)$$

em que  $\tau_0$  é a tensão média de cisalhamento sobre o perímetro molhado.

Observe que a Equação 77 é a mesma Equação 78 deduzida em PORTO (1998) – 1ª Parte para Escoamento Permanente em condutos Forçados, trocando-se a perda de carga unitária  $J$  pela declividade de fundo do canal  $I_0$ , que no caso é igual à declividade da linha de energia  $I_f$ . Esta expressão é válida tanto para condutos forçados quanto para condutos livres, no escoamento uniforme, e tem emprego em Transporte de Sedimentos e projetos de seções estáveis em canais. Em tubos de seção circular, a tensão tangencial distribui-se uniformemente no perímetro e coincide com o valor médio dado pela Equação 78. Em tubos de seção não circular e em canais, a tensão tangencial tem distribuição não uniforme e  $\tau_0$  representa o seu valor médio no perímetro molhado.

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_h \cdot J \quad (78)$$

A Equação 79 que é a fórmula universal de perda de carga ou equação de Darcy-Weisbach, é de grande importância nos problemas de escoamentos.

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (79)$$

No caso particular do escoamento forçado em seção circular com diâmetro  $D$ , em que a área ocupada pelo escoamento é a própria área da seção, o raio hidráulico vale  $D/4$ . Deste modo a perda de carga é dada pela Equação 80:

$$\Delta H = \frac{\tau_0 L}{\gamma R_h} = \frac{4\tau_0 L}{\gamma D} \quad (80)$$

Comparando as Equações 79 com a 80 em que  $f$  é o fator de atrito, função do número de Reynolds [  $R = (\rho \cdot V \cdot D) / \mu$  ] e da rugosidade da parede. Assumindo que o raio hidráulico é o parâmetro que serve para levar em conta as diferenças de forma entre seções retas de tubos circulares e canais prismáticos, e comparando com a 77, vem:

$$f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{4\tau_0 L}{\gamma D} \Rightarrow \frac{\tau_0}{\rho} = f \frac{V^2}{8} \Rightarrow \tau_0 = \frac{\rho \cdot f V^2}{8} = \gamma \cdot R_h J_0 \quad (81)$$

que após desenvolvida, e fazendo  $C = \sqrt{(8g/f)}$  fica:

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \cdot \sqrt{R_h J_0} \Rightarrow V = C \cdot \sqrt{R_h J_0} \quad (82)$$

A Equação 82 é conhecida como *Fórmula de Chézy*, em que  $C$  é o coeficiente de resistência ou coeficiente de rugosidade de Chézy. Utilizando-se a equação da continuidade ( $Q = V \cdot A$ ), a fórmula de Chézy torna-se:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{R_h J_0} \quad (83)$$

A Equação 83 é a equação fundamental do escoamento permanente uniforme em canais.

## FÓRMULA DE MANNING

Segundo PORTO ( 1998 ) – 2ª Parte, diferentes fórmulas de origem empírica são propostas para o cálculo do coeficiente  $C$  de Chezy, ligando-o ao raio hidráulico da seção. Uma relação simples e atualmente a mais empregada foi proposta pelo engenheiro irlandês Robert Manning em 1889, da análise de resultados experimentais obtidos por ele e outros pesquisadores. A relação empírica é da forma:

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{n} \quad (84)$$

Substituindo a Equação 84 na Equação 82, tem-se:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I_0^{1/2} \quad (85)$$

A equação 85 é denominada *fórmula de Manning*, válida para os escoamentos permanentes, uniformes e turbulentos rugosos, com grande número de Reynolds. Nestas condições o coeficiente  $n$  de Manning, permanece constante para uma rugosidade dada, enquanto o coeficiente de Chézy é proporcional à rugosidade relativa da seção  $R_h/n$ .

Combinando-se a Equação 84 com a Equação 83, chega-se a :

$$\frac{nQ}{\sqrt{I_0}} = AR_h^{2/3} \quad (86)$$

Esta expressão será a base de cálculo para os problemas sobre escoamentos livres. Deve-se observar que a fórmula de Manning além de ter uma origem empírica, carrega um coeficiente  $n$  que não é um adimensional. Os valores do coeficiente  $n$  depende de muitas variáveis, e para vários tipos de revestimentos em canais artificiais e em cursos d'água naturais o valor de  $n$  encontram –se nas Tabelas ( 13 ) e ( 14 ).

## 8.3 Anexo III

NATUREZA DAS PAREDES	CONDIÇÕES			
	Muitos Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão.....	0,011	0,012*	0,013*	-----
Tubos de ferro galvanizado.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.....	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem.....	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento:				
condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento.....	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto.....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos e aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada.....	0,010	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainada.....	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem, com pranchões.....	0,012	0,015*	0,016	-----
Canais com revestimento de concreto.....	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas ( semicirculares ).....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.....	0,025	0,030	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal arrumadas.....	0,035	0,040	0,045	-----

continua

NATUREZA DAS PAREDES	CONDIÇÕES			
	Muitos Boas	Boas	Regulares	Más
Canais dragados.....	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,023	0,025*	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação ao taludes.....	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.....	0,028	0,030	0,033	0,035
<b>ARROIOS E RIOS</b>				
1. Limpos, retilíneos e uniformes.....	0,025	0,028	0,030	0,033
2. Como em 1, porém com vegetação e pedras.	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos.....	0,035	0,040	0,045	0,050
4. Como em 3, águas baixas, declividade fraca	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Como em 3, com vegetação e pedras.....	0,033	0,035	0,040	0,045
6. Como em 4, com pedras.....	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Com margens espaiadas, pouca vegetação..	0,040	0,045	0,050	0,055
8. Com margens espaiadas, muita vegetação...	0,040	0,045	0,050	0,055

\* Valores aconselhados para projetos.

**Tabela ( 13 )** – Valores do coeficiente de rugosidade  $n$  da fórmula de Manning.

( PORTO ( 1998 ) – 2ª Parte, pg. 249 ) – “Escoamento Permanente em Condutos Livres”.

Nº	NATUREZA DAS PAREDES	<i>n</i>
01	Canais de chapas com rebites embutidos, juntas perfeitas e águas limpas. Tubos de cimento e de fundição em perfeitas condições.....	0,011
02	Canais de cimento muito liso de dimensões limitadas, de madeira aplainada e lixada, em ambos os casos; trechos retilíneos compridos e curvas de grande raio e água limpa. Tubos de fundição usados.....	0,012
03	Canais de reboco de cimento liso, porém com curvas de raio limitado e águas não completamente limpas; construídos com madeira lisa, mas com curvas de raio moderado.....	0,013
04	Canais com reboco de cimento não liso; de madeira como no nº 2, porém com traçado tortuoso e curvas de pequeno raio e juntas imperfeitas.....	0,014
05	Canais com paredes de cimento não completamente lisas, com curvas estreitas e águas com detritos; construídos de madeira não aplainada de chapas rebitadas.....	0,015
06	Canais com reboco de cimento não muito alisado e pequenos depósitos no fundo; revestidos por madeira não aplainada; de alvenaria construída com esmero; de terra, sem vegetação.....	0,016
07	Canais com reboco de cimento incompleto, juntas irregulares, andamento tortuoso e depósitos no fundo; taludes de alvenaria não bem perfilados...	0,017
08	Canais com reboco de cimento rugoso, depósitos no fundo, musgo nas paredes e traçado tortuoso.....	0,018
09	Canais de alvenaria em más condições de manutenção e fundo com barro, ou de alvenaria de pedregulhos; de terra, bem construídos, sem vegetação e com curvas de grande raio.....	0,020
10	Canais de chapas rebitadas e juntas irregulares; de terra, bem construídos com pequenos depósitos no fundo e vegetação rasteira nos taludes.....	0,022
11	Canais de terra, com vegetação rasteira no fundo e nos taludes.....	0,025

continua

12	Canais de terra, com vegetação normal, fundo com cascalho ou irregular por causa de erosões; revestidos com pedregulhos e vegetação.....	0,030
13	Álveos naturais, cobertos de cascalho e vegetação.....	0,035
14	Álveos naturais, andamento tortuoso.....	0,040

---

**Tabela ( 14 )** – Valores do coeficiente de rugosidade  $n$ , da fórmula de Manning para Canais. ( PORTO ( 1998 ) – 2ª Parte, pg. 250 ) – “Escoamento Permanente em Condutos Livres”.

## 8.4 Anexo IV

### ESTUDO DE BOCAS DE LOBO E DA VAZÃO DE UMA SARJETA

Segundo WILKEN ( 1978 ), no estudo dos problemas de captação e esgotamento das águas pluviais nas áreas urbanas, devem ser levados em conta os seguintes fatores:

- tráfego de veículos;
- valor das propriedades sujeitas a danos por inundações;
- escolha entre as soluções em canal aberto ou em tubulações subterrâneas;
- profundidade das galerias para drenar propriedades lindeiras;
- espaços disponível no subsolo da via pública;
- existência de água pública para receber o despejo das galerias de águas pluviais.

O exame desses fatores, isoladamente ou em conjunto, conforme for o caso, terá que ser feito pelo projetista independentemente da solução dos problemas propriamente hidrológicos e hidráulicos. Obviamente, não seria econômico a construção de canalizações subterrâneas ou abertas comportando a totalidade do caudal pluvial previsto. Supõe-se que uma parcela desse caudal se escoe inicialmente pela sarjeta antes de atingir a entrada da galeria. O exame criterioso de cada um dos fatores acima especificados, poderá indicar qual a parcela que obrigatoriamente terá que ser esgotada por bocas de lobo e levada ao destino final por galerias ou canais abertos.

Até recentemente, o projeto dos sistemas de esgotamento de águas pluviais limitava-se ao dimensionamento das tubulações sem a preocupação do estudo pormenorizado da captação das águas pluviais. É evidente, todavia, que um sistema provido de rede de galerias de águas pluviais suficiente para conduzir os caudais previstos nos cálculos de dimensionamento, poderá funcionar de modo deficiente se os referidos caudais não atingirem as galerias nas condições e nas situações devidas. É mister determinar as vazões nas sarjetas em função das suas características hidráulicas, e também as capacidades de esgotamento das bocas de lobo de acordo com o seu tipo, dimensões e localização em planta e perfil.

Izzard e Tapley demonstraram que a fórmula de Manning a Equação 86 pode ser empregada no cálculo das vazões das sarjetas. Considerando a seção de sarjeta indicada na Figura 16.

Pela equação de continuidade a vazão da faixa elementar de espessura  $dx$  e altura  $y$  é:

$$Q = V.A \quad A \cong dx.y \quad dQ \cong V.y.dx \quad (87)$$

Segundo comprovaram os trabalhos de Izzard e de Tapley, é possível o emprego da fórmula de Manning ao cálculo das vazões em sarjetas desde que se despreze a parte do perímetro molhado correspondente à face da guia ( $y_0 = 0$ ):

$$\begin{aligned} A_m = dx.y & \quad ; & P_m \cong dx + y_0 & \quad \rightarrow & P_m \cong dx \\ R_h = A_m / P_m & \quad \rightarrow & R_h = y.dx / dx & \quad \rightarrow & R_h = y \end{aligned} \quad (88)$$

Desenvolvendo a equação de Manning, tem-se:

$$\frac{Q}{A} = V = \frac{R_h^{2/3} \cdot \sqrt{I}}{n} \quad \rightarrow \quad Q = \frac{A R_h^{2/3} \cdot \sqrt{I}}{n} \quad (89)$$

Para  $Q = dQ$ , temos que :  $A = y.dx$  e  $R_h = y$  e como  
 $x = y.tan \theta_0$   $dx = dy.tan \theta_0$   $Z = tan \theta_0$   $dx = dy.Z$ , tem-se:

$$dQ = \frac{(y dx) \cdot (y)^{2/3} \cdot (I)^{1/2}}{n} \rightarrow dQ = \frac{y^{5/3} \cdot I^{1/2} \cdot dx}{n} \rightarrow dQ = \frac{y^{5/3} \cdot I^{1/2}}{n} \cdot Z \cdot dy \quad (90)$$

Integrando a Equação 90 dentro dos limites de  $0$  a  $Q_0$  e de  $0$  a  $y_0$ , tem-se:

$$\int_0^{Q_0} dQ = \int_0^{y_0} \frac{y^{5/3} \cdot I^{1/2}}{n} \cdot Z \cdot dy \Rightarrow Q_0 - 0 = \frac{I^{1/2} \cdot Z}{n} \cdot \int_0^{y_0} y^{5/3} \cdot dy = \frac{I^{1/2} \cdot Z}{n} \left( \frac{3}{8} \cdot y_0^{8/3} - \frac{3}{8} \cdot 0^{8/3} \right)$$

$$Q_0 = \frac{I^{1/2} \cdot Z}{n} \cdot 0,375 \cdot y_0^{8/3} \quad (91)$$

Adotando a simplificação de Izzard do  $R_h$  ( $R_h = ydx/dx \Rightarrow R_h = y$ ), tem-se :

$$Q_0 = 0,375 \cdot y_0^{8/3} \cdot (Z/n) \cdot I^{1/2} \quad (91)$$

Sem a simplificação de Izzard, obtém-se:

$y$  varia de 0 a  $y_0$ ;  $X = y \cdot \tan \theta_0$ ;  $Z = \tan \theta_0$ ;  $W_0 = y_0 \cdot \tan \theta_0$

$R_h = A_m/P_m$ ;  $A_m = (y_0 \cdot W_0) / 2 = (y_0 \cdot y_0 \cdot \tan \theta_0) / 2 \Rightarrow A_m = (y_0^2 \cdot Z) / 2$

$$P_m = y_0 + \text{Hipot.} = y_0 + \frac{y_0}{\cos \theta_0} = \left( \frac{y_0 \cos \theta_0 + y_0}{\cos \theta_0} \right) \Rightarrow P_m = \frac{y_0 (\cos \theta_0 + 1)}{\cos \theta_0} \quad (92)$$

$$R_h = \frac{y_0^2 \cdot Z}{\frac{2 \cdot y_0 (\cos \theta_0 + 1)}{\cos \theta_0}} \Rightarrow R_h = \frac{y_0^2 \cdot Z \cdot \cos \theta_0}{2 \cdot y_0 \cdot (\cos \theta_0 + 1)} \Rightarrow R_h = \frac{y_0 \cdot Z \cdot \cos \theta_0}{2 \cdot (\cos \theta_0 + 1)} \quad (93)$$

Para  $A = y \cdot dx$ ;  $dx = dy \cdot \tan \theta_0$ ;  $dx = dy \cdot Z$ ;  $A = y \cdot Z \cdot dy$ ; substituindo o valor de  $A$  e de  $R_h$  da Equação 93 na equação de Manning, Equação 89, tem-se:

$$\begin{aligned} dQ &= y \cdot Z \cdot dy \left( \frac{y_0 \cdot Z \cdot \cos \theta_0}{2(\cos \theta_0 + 1)} \right)^{2/3} \cdot \frac{\sqrt{I}}{n} \Rightarrow \int_0^{Q_0} dQ = \left( \frac{y_0 \cdot Z \cdot \cos \theta_0}{2(\cos \theta_0 + 1)} \right)^{2/3} \cdot Z \cdot \frac{\sqrt{I}}{n} \int_0^{y_0} y \cdot dy \\ Q_0 - 0 &= \left( \frac{y_0 \cdot Z \cdot \cos \theta_0}{2(\cos \theta_0 + 1)} \right)^{2/3} \cdot Z \cdot \frac{\sqrt{I}}{n} \cdot \frac{1}{2} y_0^2 = y_0^{2/3} \cdot Z^{2/3} \left( \frac{1}{2} \right)^{2/3} \left( \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_0 + 1} \right)^{2/3} \cdot Z \cdot \frac{\sqrt{I}}{n} \cdot \frac{1}{2} \cdot y_0^2 \\ Q_0 &= 0,315 \cdot y_0^{8/3} \cdot \frac{Z^{5/3}}{n} \cdot \sqrt{I} \cdot \left( \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_0 + 1} \right)^{2/3} \quad (72) \end{aligned}$$

Sem a simplificação de Izzard o cálculo da vazão  $Q_0$  na sarjeta é dado pela Equação 72 desenvolvida acima .

Com a simplificação de Izzard, obtém-se:

$$V_0 = 0,958 \frac{1}{(\tan \theta_0)^{1/4}} \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{3/4} Q_0^{1/4} \quad (35)$$

Sem a simplificação de Izzard, obtém-se:

$$V_0 = 0,8409(Q_0 Z)^{1/4} \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{3/4} \left( \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_0 + 1} \right)^{1/2} \quad (73)$$

Portanto, sem a simplificação de Izzard o cálculo da velocidade  $V_0$  na sarjeta é dado pela Equação 73.

Calculou-se a vazão na sarjeta para os três tipos de boca de lobo estudada, na seção -B , onde foram tomadas as medidas da altura da água na guia, utilizou-se as duas equações (a simplificada por Izzard e a não simplificada ) para determinar a vazão  $Q_0$  , adotou-se  $y = y_0$ .

Na boca de lobo –Tipo A – na Av. do Comercio, em frente ao N° 879, Jardim Pérola, temos para esta boca de lobo estudada, os seguintes valores de :

$y_0 = 15,10$  cm ;  $\theta_0 = 87,38^\circ$  ;  $Z = 21,83$  ;  $\cos \theta_0 = 0,0457 \rightarrow \cos \theta_0 + 1 = 1,0457$  ;  $I_{BD} = 4,26\% = 0,0426$  m/m ;  $n = 0,016$  [adotado conforme orientação da Tabela ( 13 )] ; determinou-se os valores de  $Q_0$  através da Equação 91 simplificada por Izzard, e através da Equação 72 não simplificada, encontrou-se:

$$a) \quad Q_0 = 0,375 \cdot (0,151)^{8/3} (21,83/0,016) (0,0426)^{1/2} \Rightarrow Q_0 = 0,6828 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$b) \quad Q_0 = 0,315 \cdot (0,151)^{8/3} [(21,83)^{5/3}/0,016] (0,0426)^{1/2} (0,0457/1,045)^{2/3} \Rightarrow Q_0 = 0,5558 \text{ m}^3/\text{s};$$

Como pode ser observado a fórmula de Izzard superestimou a vazão da sarjeta ( $Q_0$ ) estudada, em 22,85% em relação a fórmula não simplificada.

Na boca de lobo –Tipo B – na Rua Guaratingueta, N° 216, Jardim Esmeralda, temos para esta boca de lobo estudada, os seguintes valores de :

$y_0 = 13,20$  cm ;  $\theta_0 = 87,02^\circ$  ;  $Z = 19,23$  ;  $\cos\theta_0 = 0,052 \rightarrow \cos\theta_0 + 1 = 1,052$  ;  $I_{BD} = 4,43\% = 0,0443$  m/m ;  $n = 0,016$  [adotado conforme orientação da Tabela ( 13 )]; determinou-se os valores de  $Q_0$  através da Equação 91 simplificada por Izzard, e através da Equação 72 não simplificada, encontrou-se:

$$a) \quad Q_0 = 0,375 \cdot (0,132)^{8/3} (19,23/0,016) (0,0443)^{1/2} \Rightarrow Q_0 = 0,4285 \text{ m}^3 / \text{s};$$

$$b) \quad Q_0 = 0,315 \cdot (0,132)^{8/3} [(19,23)^{5/3}/0,016] (0,0443)^{1/2} (0,052/1,052)^{2/3} \Rightarrow Q_0 = 0,3479 \text{ m}^3 / \text{s};$$

Como pode ser observado a fórmula de Izzard superestimou a vazão da sarjeta ( $Q_0$ ) estudada, em 23,17% em relação a fórmula não simplificada.

Na boca de lobo –Tipo C – na Rua do Milho, N° 612, Jardim Pérola, temos para esta boca de lobo estudada, os seguintes valores de :

$y_0 = 14,10$  cm ;  $\theta_0 = 87,95^\circ$  ;  $Z = 28,01$  ;  $\cos\theta_0 = 0,0357 \rightarrow \cos\theta_0 + 1 = 1,0357$  ;  $I_{BD} = 6,53\% = 0,0653$  m/m ;  $n = 0,016$  [adotado conforme orientação da Tabela ( 13 )]; determinou-se os valores de  $Q_0$  através da Equação 91 simplificada por Izzard, e através da Equação 72 não simplificada, encontrou-se:

$$a) \quad Q_0 = 0,375 \cdot (0,141)^{8/3} (28,01/0,016) (0,0653)^{1/2} \Rightarrow Q_0 = 0,9035 \text{ m}^3 / \text{s};$$

$$b) \quad Q_0 = 0,315 \cdot (0,141)^{8/3} [(28,01)^{5/3}/0,016] (0,0653)^{1/2} (0,0357/1,0357)^{2/3} \Rightarrow Q_0 = 0,7414 \text{ m}^3 / \text{s};$$

Como pode ser observado a fórmula de Izzard superestimou a vazão da sarjeta ( $Q_0$ ) estudada em 21,86% em relação a fórmula não simplificada.

## 8.5 Anexo V

**Tabela ( 15 )** – Determinação do Fator F ao nível de 5 % de probabilidade.

**Tabela ( 16 )** – Determinação do Fator F ao nível de 1 % de probabilidade.

**Limites Unilaterais de  $F$  ao nível de 5% de probabilidade, para o caso de  $F$  maior ou igual a 1,0**

n2 \ n1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,40	19,41
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,76	8,74
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,93	5,91
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,70	4,68
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,60	3,57
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,10	3,07
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,94	2,91
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,72	2,69
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,63	2,60
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,56	2,53
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,51	2,48
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,45	2,42
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,41	2,38
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,34	2,31
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,31	2,28
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,28	2,25
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,26	2,23
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,24	2,20
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,22	2,18
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,20	2,16
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,16	2,13
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,15	2,12
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,14	2,10
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,04	2,00
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,95	1,92
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,86	1,83
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,79	1,75

Esta tabela foi adaptada a partir de resultados de E. S. Pearson e H. O. Hartley ( Biometrika Tables for Statisticians, Cambridge Un. Press, 1956 )

**Tabela 15 - Determinação do Fator  $F$  ao nível de 5 % de probabilidade**

continua

Limites Unilaterais de  $F$  ao nível de 5% de probabilidade, para o caso de  $F$  maior ou igual a 1,0

n2 \ n1	13	14	15	16	20	24	30	40	60	120	∞
1	244,4	245,0	245,9	246,0	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	19,42	19,42	19,43	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	8,72	8,71	8,70	8,69	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	5,89	5,87	5,86	5,84	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	4,66	4,64	4,62	4,60	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	3,98	3,96	3,94	3,92	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	3,55	3,52	3,51	3,49	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	3,25	3,23	3,22	3,20	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	3,04	3,02	3,01	2,98	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	2,88	2,86	2,85	2,82	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	2,76	2,74	2,72	2,70	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	2,66	2,64	2,62	2,60	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	2,57	2,55	2,53	2,51	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	2,50	2,48	2,46	2,44	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	2,45	2,43	2,40	2,39	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	2,39	2,37	2,35	2,33	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	2,35	2,33	2,31	2,29	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	2,31	2,29	2,27	2,25	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	2,28	2,26	2,23	2,21	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	2,25	2,23	2,20	2,18	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	2,22	2,20	2,18	2,15	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	2,20	2,18	2,15	2,13	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	2,17	2,14	2,13	2,10	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	2,15	2,13	2,11	2,09	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	2,13	2,11	2,09	2,06	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	2,12	2,10	2,07	2,05	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	2,10	2,08	2,06	2,03	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	2,09	2,06	2,04	2,02	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	2,07	2,05	2,03	2,00	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	2,06	2,04	2,01	1,99	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	1,97	1,95	1,92	1,90	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	1,89	1,86	1,84	1,81	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	1,80	1,77	1,75	1,73	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
∞	1,72	1,69	1,67	1,64	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

Esta tabela foi adaptada a partir de resultados de E. S. Pearson e H. O. Hartley ( Biometrika Tables for Statisticians, Cambridge Un. Press, 1956 )

Tabela 15 - Determinação do Fator  $F$  ao nível de 5 % de probabilidade

Limites Unilaterais de  $F$  ao nível de 1% de probabilidade, para o caso de  $F$  maior ou igual a 1,0

n2 \ n1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4.052	5.000	5.403	5.625	5.764	5.859	5.928	5.982	6.022	6.056	6.082	6.106
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	99,39	99,40	99,41	99,42
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,35	27,23	27,13	27,05
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,55	14,45	14,37
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	10,16	10,05	9,96	9,89
6	13,75	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,79	7,72
7	12,25	9,55	8,45	7,85	8,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,54	6,47
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,74	5,67
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,18	5,11
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,78	4,71
11	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,46	4,40
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,22	4,16
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	4,02	3,96
14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,86	3,80
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,73	3,67
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,61	3,55
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,52	3,46
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60	3,51	3,44	3,37
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,36	3,30
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,30	3,23
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,64	3,51	3,40	3,31	3,24	3,17
22	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,18	3,12
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,14	3,07
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26	3,17	3,09	3,03
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,85	3,63	3,46	3,32	3,22	3,13	3,05	2,99
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18	3,09	3,02	2,96
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,78	3,56	3,39	3,26	3,15	3,06	2,98	2,93
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12	3,03	2,95	2,90
29	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,33	3,20	3,09	3,00	2,92	2,87
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07	2,98	2,90	2,84
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,80	2,73	2,66
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,56	2,50
120	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,79	2,66	2,56	2,47	2,40	2,34
∞	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,24	2,18

Esta tabela foi adaptada a partir de resultados de E. S. Pearson e H. O. Hartley ( Biometrika Tables for Statisticians, Cambridge Un. Press, 1956 )

Tabela 16 - Determinação do Fator  $F$  ao nível de 1 % de probabilidade

continua

Limites Unilaterais de  $F$  ao nível de 1% de probabilidade, para o caso de  $F$  maior ou igual a 1,0

n2 \ n1	13	14	15	16	20	24	30	40	60	120	∞
1	6,125	6,142	6,157	6,169	6,209	6,235	6,261	6,287	6,313	6,339	6,366
2	99,42	99,43	99,43	99,44	99,45	99,46	99,47	99,47	99,48	99,49	99,50
3	26,98	26,92	26,87	26,83	26,69	26,60	26,50	26,41	26,32	26,22	26,13
4	14,30	14,24	14,20	14,15	14,02	13,93	13,84	13,75	13,65	13,56	13,46
5	9,83	9,77	9,72	9,68	9,55	9,47	9,38	9,29	9,20	9,11	9,02
6	7,66	7,60	7,56	7,52	7,40	7,31	7,23	7,14	7,06	6,97	6,88
7	6,41	6,35	6,31	6,27	6,16	6,07	5,99	5,91	5,82	5,74	5,65
8	5,61	5,56	5,52	5,48	5,36	5,28	5,20	5,12	5,03	4,95	4,86
9	5,05	5,00	4,96	4,92	4,81	4,73	4,65	4,57	4,48	4,40	4,31
10	4,65	4,60	4,56	4,52	4,41	4,33	4,25	4,17	4,08	4,00	3,91
11	4,34	4,29	4,25	4,21	4,10	4,02	3,94	3,86	3,78	3,69	3,60
12	4,10	4,05	4,01	3,98	3,86	3,78	3,70	3,62	3,54	3,45	3,36
13	3,90	3,85	3,82	3,78	3,66	3,59	3,51	3,43	3,34	3,25	3,17
14	3,75	3,70	3,66	3,62	3,51	3,43	3,35	3,27	3,18	3,09	3,00
15	3,61	3,56	3,52	3,48	3,37	3,29	3,21	3,13	3,05	2,96	2,87
16	3,50	3,45	3,41	3,37	3,26	3,18	3,10	3,02	2,93	2,84	2,75
17	3,40	3,35	3,31	3,27	3,16	3,08	3,00	2,92	2,83	2,75	2,65
18	3,32	3,27	3,23	3,19	3,08	3,00	2,92	2,84	2,75	2,66	2,57
19	3,24	3,19	3,15	3,12	3,00	2,92	2,84	2,76	2,67	2,58	2,49
20	3,18	3,13	3,09	3,05	2,94	2,86	2,78	2,69	2,61	2,52	2,42
21	3,12	3,07	3,03	2,99	2,88	2,80	2,72	2,64	2,55	2,46	2,36
22	3,07	3,02	2,98	2,94	2,83	2,75	2,67	2,58	2,50	2,40	2,31
23	3,02	2,97	2,93	2,89	2,78	2,70	2,62	2,54	2,45	2,35	2,26
24	2,98	2,93	2,89	2,85	2,74	2,66	2,58	2,49	2,40	2,31	2,21
25	2,94	2,89	2,85	2,81	2,70	2,62	2,54	2,45	2,36	2,27	2,17
26	2,91	2,86	2,81	2,77	2,66	2,58	2,50	2,42	2,33	2,23	2,13
27	2,88	2,83	2,78	2,74	2,63	2,55	2,47	2,38	2,29	2,20	2,10
28	2,85	2,80	2,75	2,71	2,60	2,52	2,44	2,35	2,26	2,17	2,06
29	2,82	2,77	2,73	2,68	2,57	2,49	2,41	2,33	2,23	2,14	2,03
30	2,79	2,74	2,70	2,66	2,55	2,47	2,39	2,30	2,21	2,11	2,01
40	2,61	2,56	2,52	2,49	2,37	2,29	2,20	2,11	2,02	1,92	1,80
60	2,45	2,40	2,35	2,32	2,20	2,12	2,03	1,94	1,84	1,73	1,60
120	2,29	2,24	2,19	2,16	2,03	1,95	1,86	1,76	1,66	1,53	1,38
∞	2,12	2,07	2,04	1,99	1,88	1,79	1,70	1,59	1,47	1,32	1,00

Esta tabela foi adaptada a partir de resultados de E. S. Pearson e H. O. Hartley (Biometrika Tables for Statisticians, Cambridge Un. Press, 1956)

Tabela 16 - Determinação do Fator  $F$  ao nível de 1 % de probabilidade