

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

INVESTIGAÇÕES EXPERIMENTAIS DA
EFICIÊNCIA HIDRÁULICA EM BOCAS-DE-
LOBO EM GREIDE CONTÍNUO

José Geraldo de Araújo Lima

Belo Horizonte
2007

**INVESTIGAÇÕES EXPERIMENTAIS DA EFICIÊNCIA
HIDRÁULICA EM BOCAS-DE-LOBO EM GREIDE
CONTÍNUO**

José Geraldo de Araújo Lima

INVESTIGAÇÕES EXPERIMENTAIS DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA EM BOCAS-DE-LOBO EM GREIDE CONTÍNUO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Linha de pesquisa: Sistemas de drenagem e técnicas alternativas

Orientadora: Márcia Maria Lara Pinto Coelho

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2007

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grato à a Prof^a Márcia Maria Lara Pinto Coelho pela orientação, pelo apoio e pela grande dedicação a este trabalho.

Ao Prof. Carlos Barreira Martinez pelo inestimável apoio para a construção e operação do modelo reduzido.

A Prof^a Edna pelo importante apoio na fase final de calibração e instalação do modelo.

Ao Prof. Mauro Naghettini pela colaboração na revisão dos textos.

Aos professores do mestrado pelo apoio e o constante incentivo ao longo dos quase três anos de trabalho nesta pesquisa.

Aos colegas do mestrado em especial à Ana Paula, ao Jorge, ao Luiz Antônio, ao João Evaldo, ao Nei, ao Rubens e ao Rubel pelo convívio e pela troca de experiências.

Aos colegas pesquisadores do CPH, Hersília, Paulo Henrique, Viviane, Leonardo e Bruno, pelo incentivo e pela troca de informações.

Aos funcionários do CPH, em especial ao Paulinho, ao Vicente, ao Geraldo, ao João Leandro, ao Hudson e à Elizete pelo apoio na construção, instalação e operação do modelo.

Àos funcionários da Escola de Engenharia, Iara , Jussara, Márcio e Roberto pela constante colaboração.

Ao bolsista da graduação Vandeir pelo apoio na fase inicial da montagem do modelo.

Ao bolsista da graduação Renan Guzzo e a Natália, sua namorada, pelo apoio decisivo na etapa final de calibração do modelo, nos testes e na análise dos resultados.

Ao engenheiro e amigo Sebastião Virgílio de Almeida Figueiredo pelo incentivo e por ter me cedido importante material para a pesquisa bibliográfica deste trabalho.

Aos meus cunhados Antônio e Daniel, ao meu sobrinho Vinícios e minha irmã Ana pela ajuda preciosa nas fases de construção e calibração do modelo.

Ao meu sobrinho Veber pela ajuda decisiva nos trabalhos para a elaboração da Dissertação.

À Prefeitura Municipal de Contagem, em especial os engenheiros Geraldo Múcio e Isnard Monteiro Horta.

Ao pequeno Ikaro, meu sobrinho e ao engenheiro José Assis S. Souza pelo apoio nas pesquisas de campo.

Aos Oficiais do Primeiro Batalhão de Bombeiros de Belo Horizonte pelo apoio nas pesquisas de campo.

À minha mãe, aos meus familiares, parentes e amigos pelo apoio e constante incentivo.

Aos meus tios Ninico, Didi e Juca e aos meus cunhados Jairo, Ivan e Ana que se foram durante esta caminhada, mas deixaram os seus votos de boa sorte.

À minha filhinha Helena e minha esposa Léia pela inspiração, pelo apoio, pelo carinho e pela compreensão diante das longas e frequentes horas de ausência.

RESUMO

Para que o escoamento das águas pluviais ocorra de forma ordenada e obedecendo a critérios pré estabelecidos é necessário o funcionamento harmônico de todas as partes do sistema de drenagem implantado. O desconforto e os riscos decorrentes de alguma deficiência deste sistema são mais diretamente sentidos pela população se o problema estiver ligado aos seus mecanismos de captação, responsáveis pelo esgotamento da água que escoam pelo leito das ruas. Na dinâmica do funcionamento de um sistema de drenagem urbana cabe às bocas-de-lobo o papel de captação da água que escoam superficialmente pelas sarjetas. Para se conceber e implantar bons sistemas de drenagem torna-se importante, então, o conhecimento pleno das características gerais e da eficiência das bocas-de-lobo.

Com o objetivo de investigar o comportamento hidráulico e a eficiência das bocas-de-lobo atualmente utilizadas em Belo Horizonte e cidades vizinhas, foi construído no Centro de Pesquisas Hidráulicas – CPH da UFMG um modelo que reproduz em escala reduzida um segmento de rua dotado de sarjeta e boca-de-lobo mais empregados nos sistemas de drenagem da cidade. O modelo foi construído em escala 1:3, tendo como material o compensado naval revestido com fibra de vidro e resina. Foi instalado em estrutura metálica com articulação para permitir a variação da declividade longitudinal e ligado a um conjunto moto-bomba capaz de fornecer ao modelo os valores de vazões requeridos para os testes. Uma vez em operação foi possível observar detalhes do comportamento das bocas-de-lobo e aferir a eficiência hidráulica atribuída a estes dispositivos em determinadas condições de funcionamento.

Dentre os resultados obtidos, destaca-se a capacidade de captação das bocas-de-lobo situadas em pontos de greide contínuo. Os testes demonstraram que em uma boca-de-lobo combinada, a grelha é responsável pela quase totalidade da vazão captada, enquanto que a abertura na guia pouco contribui para o desempenho da boca-de-lobo. A contribuição da depressão na capacidade de captação da boca-de-lobo é da ordem de 12%. Adicionalmente, foram testados outros tipos de grelha visando melhorar a eficiência da captação. A grelha com barra transversal posicionada sob as barras longitudinais proporcionou aumento de 10%, aproximadamente, na capacidade de captação da boca-de-lobo investigada.

ABSTRACT

In order to guarantee that rainwater flow occurs in oriented ways and under given criteria, it's necessary that installed drainage system works properly. Population's discomfort and risks of drainage system failures become more intense when the problem is related to water capture mechanisms, responsible for exhausting the water that flows in the streets. In urban drainage system, dynamic inlets lead the role of capture the water that flows in gutters. In order to design and install efficient drainage systems it is increasingly important to acquire full knowledge of inlets general characteristics and efficiencies.

In order to study inlets hydraulic behavior used nowadays in Belo Horizonte, a small-scale model that represents a street, with city's standard gutter and inlet, has been built at the UFMG's Centro de Pesquisas Hidráulicas – CPH. The model has been built in 1:3-scale, using naval wood with fiberglass and resin covering. It has been installed on a steel structure with a hinge, to vary the longitudinal grade. Model has been connected to a pump able to provide test flow values. It has been possible to observe inlets behavior details and to compute the hydraulic efficiency of those devices under given work conditions.

Among the results is the computation of capture capacity of inlets located in continuous streets. Tests have shown that, for combination inlets, grate is responsible for capture almost all flow, and the curb opening doesn't have a significant contribution to inlet performance. Depression contribution to inlet capture capacity is about 12%. In addition, other grate types have been tested, in order to improve inlet capture efficiency. A grate with transversal bars located under longitudinal bars has allowed an increase of 10% in the inlet capture capacity.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. JUSTIFICATIVA | 3 |
| 3. OBJETIVOS | 5 |
| 3.1. <i>Objetivo geral</i> | 5 |
| 3.2. <i>Objetivos específicos</i> | 5 |
| 3.2.1 Calibrar a rugosidade do modelo | 5 |
| 3.2.2 Pesquisar a eficiência das bocas-de-lobo | 5 |
| 3.2.2.1 Bocas-de-lobo com depressão na sarjeta | 5 |
| 3.2.2.2 Bocas-de-lobo sem depressão na sarjeta | 5 |
| 4. REFERENCIAL TEÓRICO | 6 |
| 4.1 <i>Classificação das bocas-de-lobo</i> | 6 |
| 4.2 <i>Pesquisas anteriores</i> | 9 |
| 4.3 <i>Capacidade hidráulica das bocas-de-lobo</i> | 16 |
| 4.3.1 Bocas-de-lobo em ponto baixo de sarjeta (com abertura na guia) | 16 |
| 4.3.2 Bocas-de-lobo em ponto baixo da sarjeta (com grelha) | 17 |
| 4.3.3 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo | 18 |
| 4.3.3.1 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo, com grelha, sem depressão | 18 |
| 4.3.3.2 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo, com abertura na guia | 21 |
| 4.3.3.3 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo, com grelha e abertura na guia | 24 |
| 4.3.3.4 Parâmetros de escoamento na sarjeta | 25 |
| 4.3.4 Capacidade da boca-de-lobo padrão SUDECAP | 26 |
| 4.3.5 Considerações sobre a capacidade das bocas-de-lobo | 29 |
| 4.3.6 Influência dos resíduos sólidos no funcionamento das bocas-de-lobo | 30 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS | 34 |
| 5.1 <i>Considerações teóricas</i> | 35 |
| 5.2 <i>Hipóteses adotadas para o modelo</i> | 40 |
| 5.3 <i>Material</i> | 40 |
| 5.3.1 Adequações do modelo | 44 |
| 5.3.1.1 Correção de vazamentos e redução da turbulência | 44 |
| 5.3.1.2 Verificação do tipo de escoamento predominante nas sarjetas | 46 |
| 5.3.1.3 Calibração da rugosidade da superfície do modelo | 48 |
| 5.4 <i>Método</i> | 50 |
| 5.4.1 Processo para a medição de vazões captadas pela boca-de-lobo | 52 |
| 5.4.2 Medidas antecedentes às medições | 54 |
| 5.4.3 Determinação dos parâmetros hidráulicos da sarjeta | 55 |
| 6. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 57 |
| 6.1 <i>Calibração da rugosidade do modelo</i> | 57 |
| 6.2 <i>Verificação da capacidade da sarjeta</i> | 59 |
| 6.3 <i>Verificação da capacidade de captação das bocas-de-lobo</i> | 60 |
| 6.3.1 Bocas-de-lobo padrão SUDECAP | 61 |
| 6.3.2 Padrões de bocas-de-lobo propostas como alternativa de melhoria de eficiência | 66 |
| 6.4 <i>Verificação da eficiência das bocas-de-lobo</i> | 70 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 76 |
| 7.1 <i>Conclusões</i> | 76 |
| 7.2 <i>Recomendações</i> | 77 |
| 7.3 <i>Perspectivas</i> | 78 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |
| APÊNDICE – DADOS EXPERIMENTAIS | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| FIGURA 4.1 | Bocas-de-lobo diversas, utilizadas no Brasil..... | 6 |
| FIGURA 4.2 | Boca-de-lobo com cantoneira padrão SUDECAP..... | 7 |
| FIGURA 4.3 | Bocas-de-lobo típicas mais comuns no Brasil..... | 8 |
| FIGURA 4.4 | Bocas-de-lobo combinada padrão SUDECAP | 9 |
| FIGURA 4.5 | Bocas-de-lobo com abertura na guia e defletores na sarjeta | 11 |
| FIGURA 4.6 | Boca-de-lobo combinada, padrão Universidade de Jonhs Hopkins | 12 |
| FIGURA 4.7 | Bocas-de-lobo com abertura e rasgo adicional na guia | 14 |
| FIGURA 4.8 | Bocas-de-lobo utilizadas em ruas do Chile | 15 |
| FIGURA 4.9 | Bocas-de-lobo com defletores na sarjeta | 16 |
| FIGURA 4.10 | Boca-de-lobo com grelha – parâmetros de cálculo | 19 |
| FIGURA 4.11 | Boca-de-lobo com abertura na guia – parâmetros de cálculo..... | 21 |
| FIGURA 4.12 | Boca-de-lobo com abertura na guia e depressão – parâmetros de cálculo | 23 |
| FIGURA 4.13 | Capacidade da sarjeta com declividade transversal composta | 26 |
| FIGURA 4.14 | Boca-de-lobo padrão SUDECAP – características geométricas | 27 |
| FIGURA 4.15 | Aspecto de obstrução da grelha por resíduos sólidos | 30 |
| FIGURA 4.16 | Boca-de-lobo utilizada em ruas particulares de Paris..... | 32 |
| FIGURA 4.17 | Boca-de-lobo com caixa de detenção | 33 |
| FIGURA 4.18 | Boca-de-lobo com caixa de detenção utilizada em Camanducaia, MG | 33 |
| FIGURA 5.1 | Etapa inicial da construção do modelo | 42 |
| FIGURA 5.2 | Conclusão dos serviços de marcenaria | 42 |
| FIGURA 5.3 | Revestimento e pintura iniciais do modelo | 43 |
| FIGURA 5.4 | modelo construído e assentado em estrutura de sustentação..... | 43 |
| FIGURA 5.5 | Adaptações no modelo para correção de vazamentos e turbulências..... | 45 |
| FIGURA 5.6 | Aspectos do escoamento no modelo antes das adaptações | 45 |
| FIGURA 5.7 | Aspectos do escoamento no modelo após as adaptações | 46 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| FIGURA 5.8 | Diagrama de Rouse – dados de rugosidade das ruas pesquisadas..... | 47 |
| FIGURA 5.9 | Execução do revestimento final da superfície do modelo | 49 |
| FIGURA 5.10 | Execução do revestimento final da superfície do modelo | 49 |
| FIGURA 5.11 | Aspectos do revestimento final da superfície do modelo | 50 |
| FIGURA 5.12 | Características das grelhas testadas | 51 |
| FIGURA 5.13 | Arranjo do modelo com o módulo de bombeamento e acessórios..... | 52 |
| FIGURA 5.14 | Vertedouro triangular e dados comparativos com o medidor eletrônico de vazões | 53 |
| FIGURA 5.15 | Seção transversal tipo da sarjeta do modelo..... | 55 |
| FIGURA 6.1 | Diagrama de Rouse – dados da nova rugosidade do modelo | 58 |
| FIGURA 6.2 | Velocidades de escoamento na sarjeta Padrão B da SUDECAP..... | 60 |
| FIGURA 6.3 | Testes com a boca-de-lobo sem depressão, sem grelha e com abertura na guia – BL 1 | 62 |
| FIGURA 6.4 | Comparação entre o modelo SUDECAP e o modelo de Souza (1986)..... | 63 |
| FIGURA 6.5 | Testes com a boca-de-lobo sem depressão com abertura na guia e com grelha 1- BL 2..... | 64 |
| FIGURA 6.6 | Testes com boca-de-lobo sem depressão, sem abertura na guia e com grelha 1 – BL 3 | 64 |
| FIGURA 6.7 | Testes com a boca-de-lobo com depressão, com abertura na guia e com a grelha 1- BL 4..... | 65 |
| FIGURA 6.8 | Testes com a boca-de-lobo com depressão, sem abertura na guia e com a grelha 1 BL 5 | 65 |
| FIGURA 6.9 | Características das grelhas testadas | 66 |
| FIGURA 6.10 | Testes com a boca-de-lobo sem depressão, com abertura na guia e com a grelha 2 - BL 6..... | 67 |
| FIGURA 6.11 | Testes com a boca-de-lobo sem depressão, com abertura na guia e com a grelha 3 – BL 7 | 68 |
| FIGURA 6.12 | Testes com a boca-de-lobo sem depressão, sem abertura na guia com a e grelha 3 – BL 8 | 68 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| FIGURA 6.13 | Testes com a boca-de-lobo com depressão, com abertura na guia e com a grelha 3 – BL 9 | 69 |
| FIGURA 6.14 | Testes com a boca-de-lobo com depressão, sem abertura na guia e com a grelha 3 – BL 10 | 69 |
| FIGURA 6.15 | Eficiências das boca de lobo sem depressão, com abertura na guia e sem grelha – BL 1 | 71 |
| FIGURA 6.16 | Eficiências das boca-de-lobo sem depressão, com abertura na guia e com a grelha 1 – BL 2 | 72 |
| FIGURA 6.17 | Eficiências das boca-de-lobo sem depressão, sem abertura na guia e com a grelha 1 – BL 3 | 72 |
| FIGURA 6.18 | Eficiências das boca-de-lobo com depressão, com abertura na guia e com a grelha 1 - BL 4..... | 73 |
| FIGURA 6.19 | Eficiências das bocas-de-lobo com depressão, sem abertura na guia e com a grelha 1 – BL 5 | 73 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| TABELA 4.1 | Valores do fator m..... | 20 |
| TABELA 4.2 | Capacidade das bocas-de-lobo – critério SUDECAP..... | 28 |
| TABELA 4.3 | Capacidade das bocas-de-lobo – segundo autores..... | 29 |
| TABELA 4.4 | Redução das capacidades das bocas-de-lobo..... | 31 |
| TABELA 5.1 | Parâmetros de escoamento da sarjeta – rua Tomé de Souza..... | 47 |
| TABELA 5.2 | Parâmetros de escoamento da sarjeta – rua Bernardo Guimarães..... | 47 |
| TABELA 6.1 | Valores médios de rugosidade para os vários revestimentos do modelo.... | 57 |
| TABELA 6.2 | Cálculos da calibração da rugosidade da sarjeta..... | 58 |
| TABELA 6.3 | Valores de vazões e velocidades, calculadas e testadas no modelo..... | 59 |
| TABELA 6.4 | Resumo dos resultados dos testes realizados..... | 70 |
| TABELA 6.5 | Valores em (%) das eficiências das bocas-de-lobo padrão SUDECAP..... | 74 |
| TABELA 7.1 | Comparação de valores de capacidades para a b. lobo combinada..... | 77 |

LISTA DE SIMBOLOS

- A = área da seção transversal de escoamento da sarjeta em frente à boca de lobo (m^2)
- A_0 = área da seção transversal de escoamento da sarjeta (m^2)
- A_u = área útil da grelha (m^2)
- a = altura da depressão, medida a partir da borda interna da sarjeta, na extremidade de montante da boca de lobo (m), Figura 4.12
- b = altura da depressão, medida a partir da borda interna da sarjeta, na extremidade de jusante da boca de lobo (m), Figura 4.12
- b_1 = espaçamento entre as fendas dos defletores (m)
- BL = boca-de-lobo
- c = largura das fendas dos defletores (m)
- e = espaçamento entre barras longitudinais das grelhas (m)
- f = Coeficiente da fórmula universal para perda de carga
- g = aceleração da gravidade (m/s^2)
- h = altura da abertura na guia (m)
- I = declividade longitudinal da sarjeta (m/m)
- I_t = declividade transversal da rua (m/m)
- k = fator da Equação 4.1
- L = Comprimento da boca de lobo ou da grelha (m), Figuras 4.6, 4.10, 4.11 e 4.12
- L_0 = comprimento da grelha necessário para captar toda a água que escoar na sarjeta dentro da faixa correspondente à sua largura (m); ver Figuras 4.6 e 4.10
- L_1 = Comprimento da transição de montante para a depressão da sarjeta (m), Figura 4.12
- L_2 = Comprimento da transição de jusante para a depressão da sarjeta (m), Figura 4.12
- L' = comprimento da grelha necessário para interceptar, lateralmente, toda a água que escoar nas sarjetas (m), Figuras 4.6 e 4.12
- m = fator que depende da configuração da grelha, Tabela 4.1

- n = coeficiente de rugosidade de Manning
- p = perímetro da grelha (m)
- Q = vazão esgotada pela boca de lobo (m^3/s)
- Q_0 = vazão que escoar na sarjeta (m^3/s)
- q = vazão total não esgotada pela boca de lobo (m^3/s); $q = Q_0 - Q$
- q_2 = vazão residual do fluxo que escoar lateralmente à grelha (m^3/s)
- q_3 = vazão residual do fluxo que escoar sobre a grelha (m^3/s);
- T = largura da seção molhada de escoamento (m)
- t = espessura das barras longitudinais das grelhas (m)
- U = velocidade média de escoamento na sarjeta, na seção imediatamente a montante da boca de lobo (m/s) = Q_0/A
- U_0 = Velocidade média de escoamento nas sarjetas (m/s) = Q_0/A_0
- W = Largura da grelha, da depressão, dos defletores ou da sarjeta (m)
- y = profundidade da lâmina d'água na sarjeta, na seção imediatamente a montante da boca de lobo (m);
- y_0 = profundidade da lâmina d'água na sarjeta (m)
- y' = profundidade da lâmina d'água junto à borda externa da grelha (m)
- y_m = profundidade de lâmina d'água intermediária entre y' e y_0 (m)
- α = ângulo das fendas dos defletores com a guia
- θ' = ângulo formado entre o plano da superfície do pavimento e a vertical ($\text{tg}\theta' = l/It$)
- θ = ângulo formado entre o plano da depressão da sarjeta e a vertical
- θ_0 = ângulo formado entre o plano da sarjeta e a vertical

1. INTRODUÇÃO

Há tempos os sistemas de drenagem urbana tinham como objetivo maior o esgotamento rápido do excesso de águas de chuva, visando evitar ou minimizar os danos decorrentes da presença desta água nas vias urbanas. Com este enfoque as ações básicas implementadas para a solução destes problemas eram a execução de projetos de engenharia e os estudos de viabilidade econômica que retratavam a relação custo - benefício do sistema de drenagem concebido. Estes sistemas geralmente contemplavam um conjunto de intervenções físicas, chamadas de medidas estruturais, tidas como solução definitiva para o problema.

Hoje se sabe que este conceito de drenagem urbana não se sustenta como solução absoluta e não se enquadra na visão moderna de planejamento que organiza o ambiente urbano em diversos subsistemas. Estes devem ser concebidos, implantados e geridos de forma articulada e em harmonia com a realidade econômica e social das cidades, buscando como objetivos principais a segurança e o bem estar dos cidadãos. Neste contexto inserem-se: o subsistema viário, de transporte público, de abastecimento de água, gestão de resíduos sólidos e o subsistema de drenagem urbana, entre outros.

A drenagem urbana vista como um subsistema do ambiente urbano, além da necessária interação com os demais subsistemas, deve ser concebida com o respaldo de medidas não estruturais como forma de torná-la mais consistente e abrangente. Constam do elenco de medidas não estruturais a implementação de um plano diretor de drenagem urbana, as leis de uso e ocupação do solo, os investimentos em campanhas educacionais e, também, em pesquisas para a busca de novos conhecimentos e tecnologias que permitam o aprimoramento técnico e econômico das soluções adotadas para este subsistema.

O subsistema de drenagem urbana compõe-se de duas partes distintas que se complementam: a micro e a macrodrenagem. A microdrenagem é constituída pelo leito das ruas, pelas sarjetas, bocas-de-lobo e rede de galerias. Segundo Porto *et al.* (2002) a macrodrenagem constitui-se das intervenções em fundos de vale que coletam águas pluviais dos sistemas de microdrenagem. O escoamento das águas pluviais depende do adequado funcionamento de todas as partes do sistema, mas o desconforto e os riscos para a população são mais sentidos em suas primeiras etapas, quando ocorrem os problemas relacionados à captação da água que escoam do leito das ruas. As bocas-de-lobo cumprem o importante papel de captar as águas que escoam das sarjetas, conectando esses dispositivos de drenagem superficial à rede de galerias subterrâneas.

Apesar da importância das bocas-de-lobo no funcionamento da drenagem urbana, a bibliografia clássica que trata do dimensionamento dessas estruturas utiliza conceitos resultantes de experiências feitas com modelos que não equivalem aos padrões adotados na maioria das cidades brasileiras. Desta forma, na elaboração dos projetos de engenharia que concebem e dimensionam os subsistemas de drenagem urbana, pode estar sendo atribuída à boca-de-lobo valores de eficiência hidráulica não condizentes com a realidade. Torna-se importante, então, para o bom funcionamento deste subsistema o conhecimento pleno das características gerais e da eficiência hidráulica real deste dispositivo.

É objetivo deste trabalho realizar uma pesquisa bibliográfica que contemple as principais experiências empreendidas na busca de esclarecimentos sobre o comportamento hidráulico dos tipos de bocas-de-lobo mais empregados nos sistemas de drenagem implantados atualmente em Belo Horizonte e cidades vizinhas. Complementa o objetivo, uma pesquisa em laboratório com base em um modelo reduzido em escala 1:3, que se assemelha geometricamente a um segmento de rua dotado de sarjeta e boca-de-lobo construídos conforme os padrões atualmente adotados pela prefeitura de Belo Horizonte. Espera-se com isto, poder contribuir na tarefa de aferir a eficiência hidráulica atribuída a estes dispositivos para determinadas condições de funcionamento.

2. JUSTIFICATIVA

Até fins dos anos setenta do século passado os projetos dos sistemas de esgotamento de águas pluviais limitavam-se à concepção e ao dimensionamento das galerias subterrâneas e pouca atenção era dada aos mecanismos de captação das águas superficiais. A escassa literatura que tratava do tema apresentava exemplos e roteiros de concepção e cálculo destes sistemas com ênfase para o dimensionamento das galerias. Um sistema de esgotamento de águas pluviais, concebido para conduzir a vazão prevista pelo dimensionamento, poderá não funcionar a contento se os dispositivos que garantem o acesso do fluxo às galerias subterrâneas não tiverem um desempenho esperado pela concepção do sistema. Portanto, a garantia do bom funcionamento de um sistema de microdrenagem passa pelo conhecimento da capacidade hidráulica das sarjetas e, também, das bocas-de-lobo.

Wilken (1978) e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo – CETESB (1979) disponibilizaram aos engenheiros atuantes na área de drenagem urbana os primeiros critérios para o dimensionamento de boca-de-lobo, critérios estes que se basearam nos estudos e experiências empreendidos por pesquisadores da Universidade Johns Hopkins, com o apoio de outras instituições. A partir daí, várias cidades brasileiras utilizaram estes trabalhos como referência para a padronização e dimensionamento destes dispositivos de drenagem.

Neste contexto, enquadra-se o caso de Belo Horizonte onde os estudos e projetos de drenagem urbana são elaborados segundo as instruções da Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP (1985) e (2004), publicações nas quais são disponibilizadas, respectivamente, as especificações, padronizações dos dispositivos de drenagem e os parâmetros hidráulicos e hidrológicos recomendados para os projetos.

Nestas publicações são apresentadas tabelas que retratam a capacidade de captação das bocas-de-lobo padrão SUDECAP, para pontos baixos e pontos de greide contínuo. As tabelas fornecem, distintamente, valores da capacidade de captação para bocas-de-lobo com grelha, com abertura na guia e bocas-de-lobo combinadas (grelha mais abertura na guia), sendo que os valores das capacidades de captação conferidas às bocas-de-lobo, segundo estas tabelas, advêm dos critérios descritos por Wilken (1978) e CETESB (1979).

Contudo, os modelos pesquisados dos quais originaram os referidos critérios, não se assemelham aos padrões adotados na maioria das cidades brasileiras. Como exemplos de

divergências podem ser citados: os modelos das grelhas testados na Universidade Johns Hopkins se assemelham a protótipos que divergem dos padrões aqui utilizados. Há diferenças nas dimensões, nas formas e no material das barras e, principalmente, uma diferença considerável na geometria da depressão utilizada nas bocas-de-lobo de Belo Horizonte. Considerando que devido a estas divergências os sistemas de drenagem implantados em Belo Horizonte e em outras cidades brasileiras podem não estar funcionando conforme o planejado pelos projetistas, mostra-se relevante uma pesquisa em laboratório visando a determinação da real eficiência hidráulica do padrão de boca-de-lobo adotado para estes sistemas.

3. OBJETIVOS

3.1. *Objetivo geral*

Determinar experimentalmente a eficiência hidráulica de uma boca-de-lobo situada em pontos de greide contínuo da via, utilizando um modelo reduzido que reproduz em escala 1:3 a boca-de-lobo simples combinada tipo “B”, padrão empregado pela SUDECAP, para a cidade de Belo Horizonte. O termo eficiência hidráulica, para a presente situação, corresponde à relação entre a vazão captada e a vazão afluyente à boca-de-lobo.

3.2 *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos se dividem em duas frentes, conforme descrito a seguir:

3.2.1 Calibrar a rugosidade do modelo

Nesta etapa do trabalho o modelo foi adaptado para representar o tipo de escoamento encontrado nas sarjetas de Belo Horizonte. Isto foi possível alterando a rugosidade da superfície do modelo até o ponto em que possibilite a ocorrência do escoamento turbulento rugoso.

3.2.2 Pesquisar a eficiência das bocas-de-lobo

Foram pesquisadas as eficiências considerando as alternativas possíveis para as boca-de-lobo padrão SUDECAP, sendo previstas também pesquisas visando melhorias na eficiência. Como tentativas de melhoria de eficiência, foram propostos testes com uma grelha com barras diagonais e outra grelha com a mesma configuração da grelha padrão SUDECAP, porém com a barra transversal central posicionada sob as barras longitudinais. As pesquisas foram desenvolvidas na seguinte ordem:

3.2.2.1 Bocas-de-lobo com depressão na sarjeta

- Boca-de-lobo com abertura na guia e com grelha;
- Boca-de-lobo sem abertura na guia e com grelha.

3.2.2.2 Bocas-de-lobo sem depressão na sarjeta

- Boca-de-lobo com abertura na guia e sem grelha;
- Boca-de-lobo com abertura na guia e com grelha;
- Boca-de-lobo sem abertura na guia e com grelha.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Apresenta-se a seguir, um levantamento dos tipos de bocas-de-lobo mais empregados nos sistemas de drenagem urbana de algumas cidades brasileiras. O levantamento contém ainda um breve histórico das pesquisas feitas sobre o tema, além de uma descrição sucinta a respeito do princípio de funcionamento e dos critérios adotados para o dimensionamento de bocas-de-lobo. Estes dados subsidiarão as etapas subseqüentes deste trabalho que incluem pesquisas de laboratório, visando determinar, em situações restritas, a eficiência hidráulica real do padrão de boca-de-lobo adotado pela Prefeitura de Belo Horizonte em seus sistemas de drenagem urbana.

4.1 Classificação das bocas-de-lobo

A Figura 4.1 mostrada a seguir apresenta a classificação de vários tipos bocas-de-lobo utilizadas em diversas regiões brasileiras e suas denominações segundo diferentes autores. Segundo AISSE (1984), a boca-de-lobo D chegou a ser utilizada em Curitiba com o propósito de confirmar em campo uma pesquisa com modelo reduzido. A boca-de-lobo E, chamada “boca contínua de captação”, é adotada para avenidas marginais onde o curso de água receptor está próximo, tendo sido empregado em alguns pontos na cidade de São Paulo, segundo BOTELHO (1985). A boca-de-lobo F reúne, em uma só peça, guia, sarjeta, dispositivo de captação e tubo condutor. Esta boca-de-lobo é pré-moldada e tem dimensões padronizadas, foi usada em Ribeirão Preto e cidades vizinhas, segundo BOTELHO (1985).

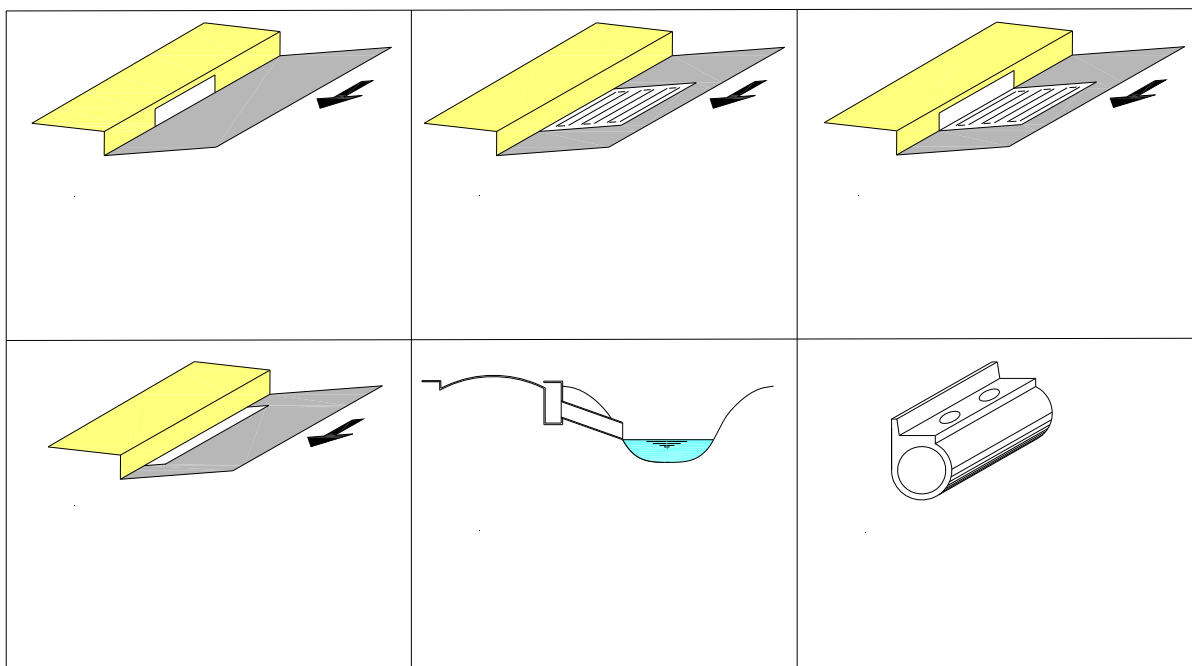


Figura 4.1 – Bocas-de-lobo diversas, utilizadas no Brasil
Adaptado de Vaz (2000) , citado por Dalfré e Genovez, (2004)

Contudo, as mais comumente empregadas são as bocas-de-lobo A, B e C, que são respectivamente boca-de-lobo simples, boca-de-lobo com grelha e boca-de-lobo combinada. As peculiaridades de cada uma delas são:

- Boca-de-lobo simples, com uma abertura vertical na guia, através da qual é captada a água da sarjeta. Neste tipo há pouca obstrução por detritos, mas estes atingem os talvegues ou cursos d'água. A SUDECAP classifica este tipo de boca-de-lobo como “boca-de-lobo com cantoneira”, cujo padrão é apresentado na Figura 4.2

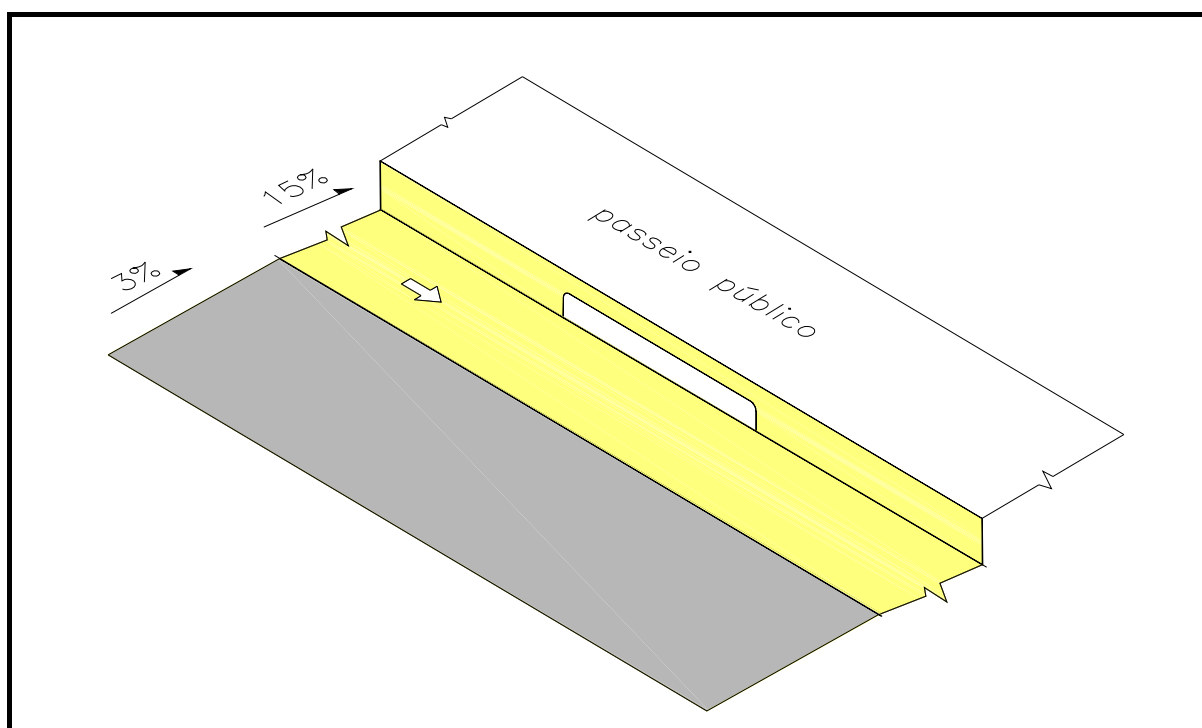


Figura 4.2 – Boca-de-lobo com cantoneira padrão SUDECAP
Adaptado de SUDECAP (1985)

- Boca-de-lobo com grelha, constituída de uma abertura na sarjeta, coberta por uma grelha de barras metálicas ou de concreto. Neste sistema a grelha retém a maior parte dos detritos transportados pelo fluxo o que obstrui parcialmente a sua área útil. Contudo, este fato resulta em uma maior proteção para os talvegues e cursos d'água.
- Boca-de-lobo combinada ou mista é a associação da boca-de-lobo simples com a de grelha. Além de combinada, a boca-de-lobo pode ser múltipla, ou seja: várias bocas-de-lobo funcionando em série.

A Figura 4.3 apresentada a seguir ilustra os tipos de bocas-de-lobo utilizadas com mais frequência nas cidades brasileiras e mostra um artifício muito utilizado para ganho de

eficiência que é a depressão, ou seja: um rebaixo na sarjeta na região da boca-de-lobo conforme 4.3 (a).

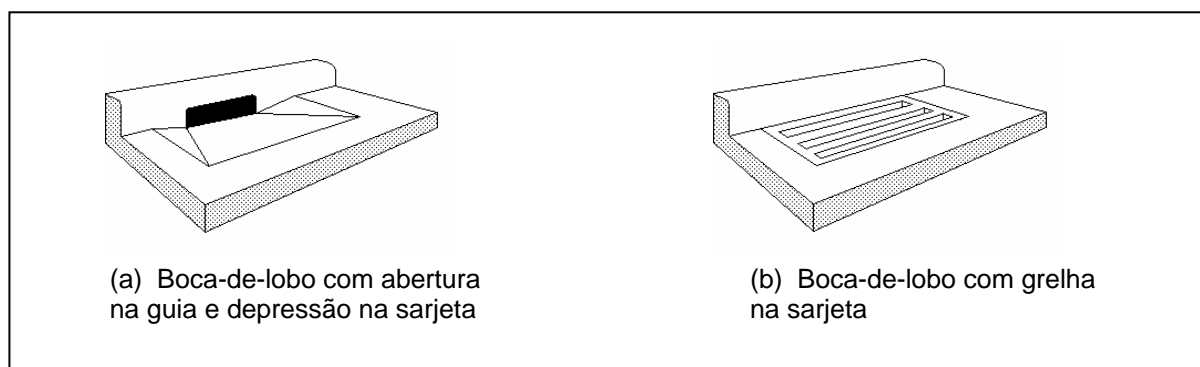


Figura 4.3 – Bocas-de-lobo típicas mais comuns no Brasil

Fonte : Pompeu (2001)

A SUDECAP adota como padrão para as ruas de Belo Horizonte a boca-de-lobo do tipo combinada, havendo variações quanto ao material da grelha com a opção de uso da boca-de-lobo tipo “A” com grelha em ferro fundido cinzento e a boca-de-lobo tipo “B” com grelha em concreto premoldado. Com a prática recente, ocorrente nos grandes centros, do furto das grelhas e tampões de poços de visitas em ferro fundido, aos poucos vai se consolidando nos novos empreendimentos o emprego quase que exclusivo das grelhas em concreto pré-moldado, ficando o emprego das grelhas metálicas restrito às obras de revitalização de vias existentes como no caso da rua dos Caetés e outras vias do hipercentro de Belo Horizonte. As bocas-de-lobo padrão SUDECAP são implatadas com depressão na sarjeta, havendo variação quanto ao número utilizado, podendo ser simples ou duplas a depender da solicitação de projeto. A Figura 4.4, apresentada a seguir, mostra a boca-de-lobo padrão SUDECAP empregada em trechos de vias com greide contínuo, em que o fluxo escoante atinge a boca-de-lobo apenas pelo lado de montante. Nota-se que neste lado o trecho de transição que forma a depressão é mais longo que no lado de jusante. O tipo de boca-de-lobo mostrado é instalado em uma sarjeta padronizada pela SUDECAP como sarjeta tipo B com declividade transversal de 15%, que é recomendada para vias com declividades longitudinais iguais ou maiores que 0,5% e inferiores a 16%, ou seja: o padrão adotado para a grande maioria das vias urbanas.

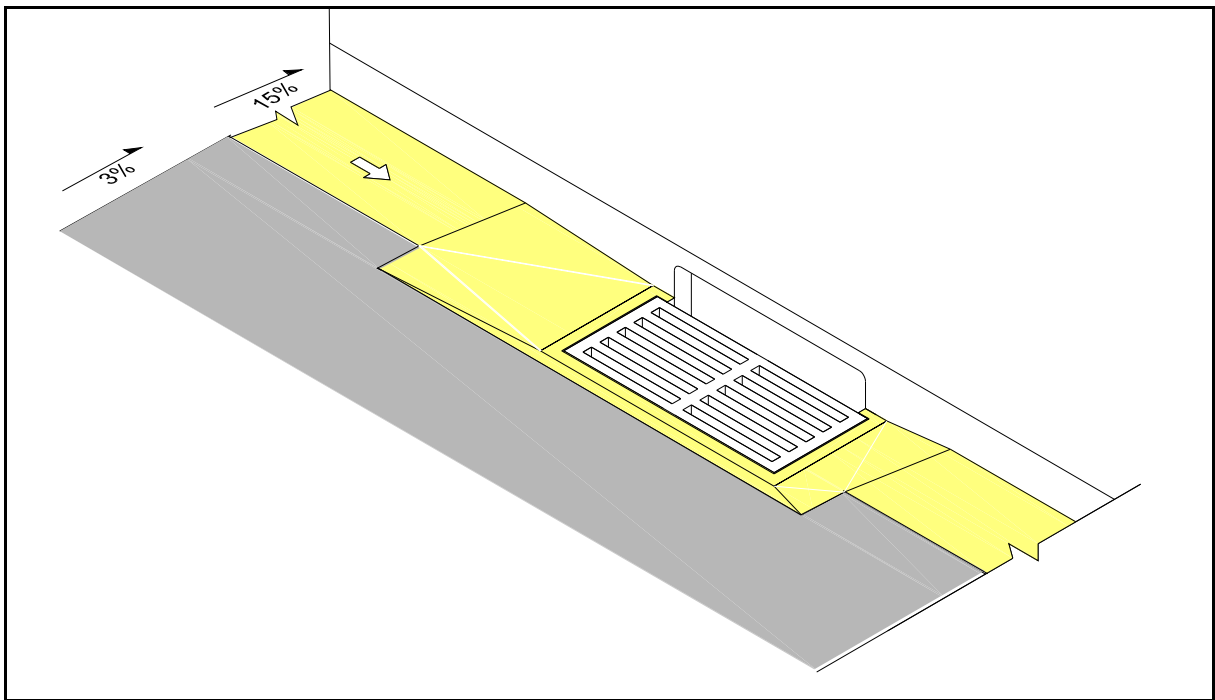


Figura 4.4 - Boca-de-lobo combinada padrão SUDECAP

Fonte: própria

4.2 Pesquisas anteriores

Apesar da importância da boca-de-lobo na dinâmica do funcionamento da microdrenagem, os estudos e pesquisas realizados sobre o tema, ainda não contemplam satisfatoriamente todas as situações de operação dessa estrutura hidráulica. Nos parágrafos seguintes é apresentada uma relação destes estudos.

Eastwood (1946) citado por Souza, (1986) que não teve acesso ao documento original desenvolveu aquele que é considerado o mais antigo trabalho sobre boca-de-lobo.

Um grupo de pesquisadores da Universidade Johns Hopkins entre os anos de 1951 e 1954, com financiamento da cidade de Baltimore e da Comissão de Estradas de Maryland, USA desenvolveu uma série de pesquisas para investigar os problemas decorrentes da drenagem de águas pluviais urbanas, em especial o comportamento hidráulico dos diversos tipos de bocas-de-lobo. Estas pesquisas foram desenvolvidas conforme a sequência:

- Li, Geyer e Benton (1951), desenvolveram uma pesquisa em modelo reduzido de bocas-de-lobo com grelha na sarjeta sem depressão. Nesta pesquisa foi usado um modelo de 6,10 m de comprimento por 0,91 m de largura. O modelo construído em madeira e pintado funcionou suspenso por correntes presas a uma viga metálica com o objetivo de facilitar a variação das declividades longitudinal e trasversal da rua. A extremidade de montante da

sarjeta foi conectada a um tanque para o qual a água era bombeada e do qual ela vertia para o abastecimento da sarjeta. Nesta pesquisa foram usados modelos de boca-de-lobo em escala 1:2 com as barras longitudinais arredondadas no topo e com dimensões equivalentes no protótipo a 7,6 centímetros de altura e 3,2 centímetros de largura. A declividade longitudinal variou entre 0,5% e 6% , enquanto que a transversal variou de de 8 a 50% e cada par de declividades longitudinal e transversal foi testado com diferentes valores de vazão e de comprimento da boca-de-lobo. A vazão na sarjeta era medida com um medidor Venturi e a vazão excedente lançada em uma caixa e medida com um vertedor triangular. A vazão captada pela boca-de-lobo era obtida pela subtração destas duas medidas e com o emprego da análise dimensional, foi concebido um modelo matemático para cálculo da capacidade hidráulica deste tipo de boca-de-lobo o qual será descrito adiante.

- Li, Sorteberg e Geyer (1951) desenvolveram uma pesquisa sobre bocas-de-lobo com abertura na guia, com e sem depressão na sarjeta. Nesta experiência empregou-se o mesmo modelo de sarjeta construído para a pesquisa descrita acima e os modelos de boca-de-lobo aqui utilizados foram em escala 1:3. Da mesma forma, na metodologia desta experiência foram medidas a vazão de entrada na sarjeta e a parcela desta que passa pela boca-de-lobo sendo a parcela da vazão captada pela boca-de-lobo obtida da subtração das duas primeiras. Foram estudadas bocas-de-lobo com diferentes comprimentos, com vários arranjos de declividades longitudinais e transversais. Para os testes com boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, a faixa de declividade longitudinal da rua variou entre 0,5 e 4% e para boca-de-lobo com depressão na sarjeta foram feitos testes na faixa de declividade longitudinal entre 0,5 e 8%. Na maioria dos casos observados verificou-se que o fluxo que passa direto pela boca-de-lobo é cerca de 20% do total para a sarjeta com depressão e 40% do fluxo total para as sarjetas sem depressão.

Li, Goodell e Geyer (1954) desenvolveram pesquisa em modelo reduzido, em escala 1:3 de bocas-de-lobo com abertura na guia e defletores diagonais na sarjeta defronte a abertura na guia. Entende-se por defletores um conjunto de fendas (ranhuras) na sarjeta dispostas em espaços regulares ao longo da abertura na guia, conforme a Figura 4.5. A experiência revelou que os defletores aumentam a capacidade da boca-de-lobo através de uma onda estacionária criada defronte a abertura na guia. Testes foram feitos com uma boca-de-lobo com as seguintes características: comprimento da abertura, L , igual a 1,83m; largura dos defletores, $W = 61$ cm; largura das fendas, $c = 10$ cm; espaçamento entre as fendas, $b_f = 5$ cm e ângulo α das fendas com a guia = 45° . As declividades longitudinais variaram de 2 a 9% para uma sarjeta

com $\tan \theta_0 = 18$. Os valores de eficiência medidos foram maiores que os obtidos para a boca-de-lobo com abertura na guia sem depressão na sarjeta. Outra observação importante foi a constatação de que, ao contrário dos outros tipos de boca-de-lobo, a eficiência para este caso cresce com o aumento da declividade longitudinal.

Como parte desta experiência, modelos em escala real com largura das fendas, c , iguais a 5, 10 e 18cm e espaçamento entre as fendas, b_1 , = 5cm foram usadas para para testar o efeito dos defletores sobre o tráfego. Concluiu-se que ao passar pelas fendas de 5 e 10cm nenhuma vibração perceptível foi transmitida aos ocupantes do veículo. Ao contrário, uma considerável vibração foi notada no caso da fenda de 18cm. Considerou-se que as fendas entre 10 e 12,5cm de largura proporcionam tanto um bom nível de conforto ao tráfego de veículos quanto a possibilidade de ocorrer a auto limpeza das fendas pelo fluxo de água da sarjeta.

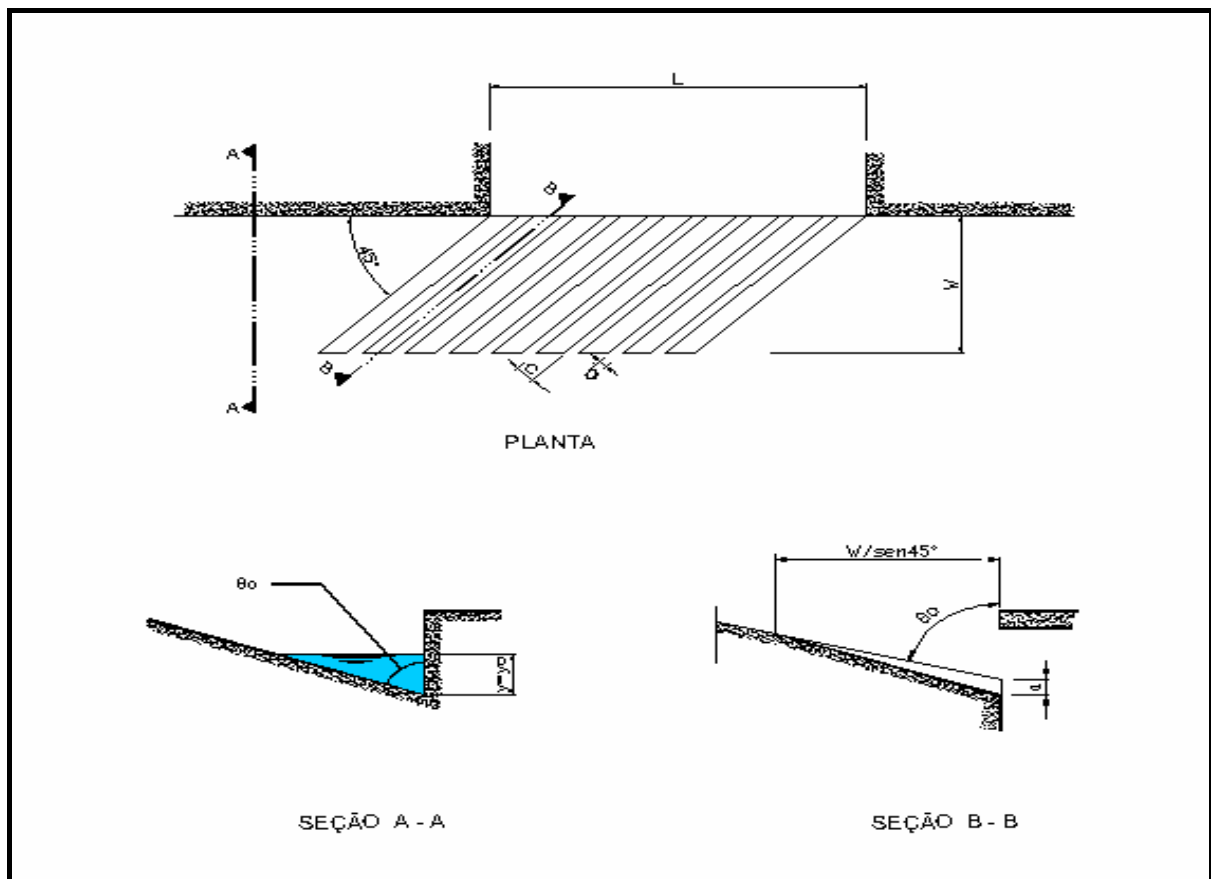


Figura 4.5 - Boca-de-lobo com abertura na guia e defletores na sarjeta

Fonte: Li *et al.* (1954)

Li, Goodell e Geyer (1954) desenvolveram uma pesquisa com um modelo reduzido, em escala 1:3 de boca-de-lobo combinada (grelha mais abertura na guia) e com depressão na sarjeta. Foram utilizados cinco tipos diferentes de grelha e o tipo de depressão utilizado nas ruas de Baltimore. Foram consideradas declividades longitudinais de 1 a 9% e descargas na sarjeta

variando até o valor equivalente a 170 l/s no protótipo. Os testes conduzidos em laboratório visaram verificar a eficiência das bocas-de-lobo segundo o tipo de grelha utilizado e também a posição da grelha em relação a abertura na guia. Como resultado desta pesquisa, foi desenvolvido um método para cálculo da capacidade hidráulica deste tipo de boca-de-lobo. Este método foi baseado nos modelos matemáticos desenvolvidos nas duas pesquisas citadas anteriormente que tratam respectivamente das bocas-de-lobo com grelha e sem depressão na sarjeta e bocas-de-lobo com abertura na guia com e sem depressão na sarjeta. A Figura 4.6 mostra uma das configurações de boca-de-lobo testadas nesta experiência.

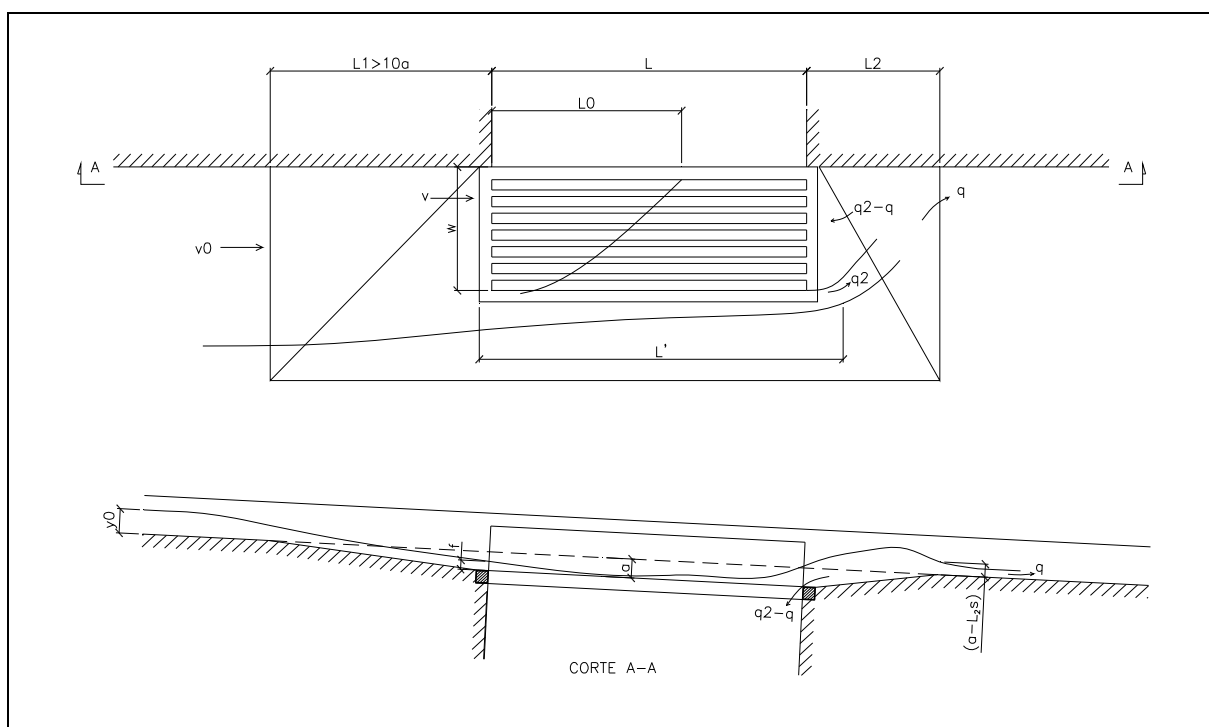


Figura 4.6 - Boca-de-lobo combinada, padrão Universidade de Johns Hopkins
 Fonte: Li *et al.* (1954)

Li (1954), elaborou um trabalho com considerações teóricas sobre as quatro pesquisas desenvolvidas na Universidade Johns Hopkins. Neste trabalho, foram feitas comparações sobre o desempenho dos diversos tipos de boca-de-lobo pesquisados, chegando-se às seguintes conclusões:

- Quando se é permitida a depressão na sarjeta, a boca-de-lobo combinada e com depressão é a mais eficiente, observando que a grelha deve ter apenas barras longitudinais;
- Quando não se permite depressão na sarjeta, bocas-de-lobo com grelhas ou combinadas são preferíveis para ruas com declividades longitudinais menores que 5%.

- Para ruas com declividades longitudinais superiores a 5%, aberturas no meio fio com defletores diagonais na sarjeta são mais eficientes. Testes de campo mostram que os defletores são auto-limpantes e não oferecem incômodos ao tráfego.

Yong (1965), citado por Souza (1986) apresentou resultados experimentais obtidos de um modelo hidráulico reduzido (escala 1:4) sobre a eficiência hidráulica de boca-de-lobo com abertura na guia.

Zwamborn (1966), citado por Souza (1986) relatou resultados obtidos de experiências de campo e em modelos reduzidos. Seus estudos consideraram a declividade longitudinal máxima de 6,7% e seus resultados confirmaram a validade da equação originária dos estudos realizados na Universidade Johns Hopkins.

Russam (1969), citado por Souza (1986) publicou um relatório em que apresenta resultados de laboratório sobre a eficiência hidráulica de bocas de lobo. Foram testados vários tipos de boca-de-lobo incluindo boca-de-lobo com abertura na guia. Os modelos testados foram na escala 1:1, com declividades transversais de 1,7 e 6,7% enquanto que a declividade longitudinal variou entre 0,3 e 6,7%. Os testes foram feitos considerando três larguras superficiais da seção de escoamento: 1m, 0,75m e 0,50m. Finalmente, foi apresentado um algoritmo para a determinação dos espaçamentos entre as bocas-de-lobo para o caso específico de rodovias.

Forbes (1976), citado por Souza (1986) apresentou um trabalho puramente teórico descrevendo um método numérico para o cálculo de vazão captada por boca-de-lobo com abertura na guia, com ou sem depressão na sarjeta. Trata-se de um método complexo com resultados coerentes com os obtidos pela Universidade Johns Hopkins e por Zwamborn.

Souza (1986), realizou um estudo experimental para a determinação da eficiência de uma boca-de-lobo com abertura na guia (com e sem depressão), usando dois modelos físicos, sendo um na escala 1:3 e o outro na escala 1:1. Em ambos os modelos, as declividades longitudinais estiveram entre 5 e 14% e as vazões dos testes situadas na faixa de eficiência entre 50 e 100%. Neste estudo concluiu-se que, para o modelo estudado, a boca de lobo com depressão na sarjeta é em torno de 36% mais eficiente do que a boca-de-lobo sem depressão. A partir dos dados experimentais foi proposto um modelo matemático para os tipos de boca-de-lobo estudados, expresso pela equação:

$$\frac{Q}{L} = k(\theta) \cdot y_0^{3/2} \quad (4.1)$$

Onde:

Q é a vazão captada na boca-de-lobo em m^3/s ;

L , o comprimento da abertura na guia em m;

y_0 , a profundidade imediatamente a montante da boca-de-lobo em m;

k , o fator que depende do coeficiente de descarga, da aceleração da gravidade e do ângulo da inclinação transversal θ da sarjeta e deverá ser determinado experimentalmente.

Dalfré e Genovez (2004) testaram em laboratório um modelo de boca-de-lobo com abertura e também um rasgo adicional na guia, conforme mostrado na Figura 4.7. Como resultado, obteve-se um considerável acréscimo na eficiência hidráulica da boca-de-lobo, encontrando na lei de captação do modelo ensaiado coeficientes de descarga até duas vezes maiores que os coeficientes encontrados em outras pesquisas feitas com bocas-de-lobo com abertura na guia e sem rasgo adicional na mesma.



Figura 4.7 – Bocas-de-lobo com abertura e rasgo adicional na guia

Fonte : Dalfré e Genovez , (2004)

Kriguer e Contreras (2004) apoiando-se em um modelo em escala real (1:1) fizeram experiências para a verificação da eficiência hidráulica de uma boca-de-lobo com grelha metálica na sarjeta que é um padrão utilizado em algumas cidades do Chile, conforme a Figura 4.8. Foram feitos ensaios com uma grelha com as dimensões de 1,00m de comprimento por 0,70m de largura, barras longitudinais de 1,00cm de espessura, espaçadas de 5,00cm e travadas transversalmente com barras redondas de 2,00cm de diâmetro e espaçadas de 5,00cm. Todas as combinações possíveis para declividades longitudinais de 0,1%, 0,5% e 1,0% e declividades transversais de 1,0%, 2,0% e 3,0%, foram testadas e os resultados práticos observados foram:

- Para uma vazão constante, a altura da lâmina d'água aumenta ao diminuir a declividade longitudinal e ao aumentar a declividade transversal;
- Ao aumentar a vazão, diminui a eficiência da boca-de-lobo;
- Ao aumentar a declividade transversal, aumenta a eficiência da boca-de-lobo;
- A eficiência de captação é aproximadamente igual para as declividades longitudinais de 0,5 e 1,0%;
- Para a declividade transversal de 3% a eficiência da boca-de-lobo sofre poucas alterações com a variação da declividade longitudinal.



Figura 4.8 – Bocas-de-lobo utilizadas em ruas do Chile

Fonte : Kriguer e Contreras, (2004)

Cardoso *et al.* (2004) apoiados em um modelo em escala 1:3 realizaram experiência com boca-de-lobo com defletores instalados defronte à abertura na guia e no sentido perpendicular ao fluxo da sarjeta, conforme a Figura 4.9. Este tipo de boca-de-lobo mostrou-se bem eficiente, apresentando em sua lei de captação um coeficiente de descarga superior a duas vezes o coeficiente encontrado em outras pesquisas feitas com bocas-de-lobo sem defletores na sarjeta, defronte a abertura na guia.

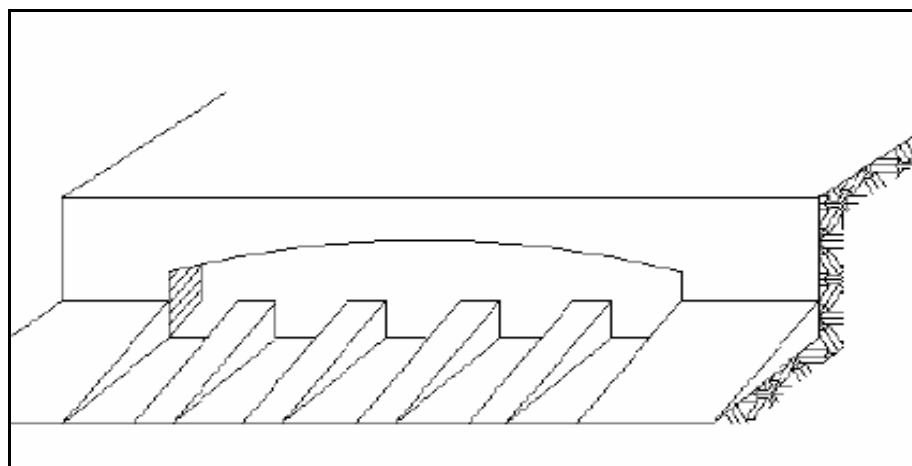


Figura 4.9 – Bocas-de-lobo com defletores na sarjeta

Fonte : Cardoso *et al.* (2004)

4.3 Capacidade hidráulica das bocas-de-lobo

A bibliografia clássica a respeito do assunto, tais como Wilken (1978) e CETESB (1986) aponta duas situações distintas para análise da capacidade hidráulica de uma boca-de-lobo. A primeira refere-se à boca-de-lobo posicionada em um ponto baixo da sarjeta para o qual convergem dois fluxos distintos. A segunda diz respeito à boca-de-lobo posicionada em ponto de greide contínuo, onde o fluxo ocorre em um único sentido e atinge a boca-de-lobo no lado de montante de sua abertura. Para cada situação há critérios distintos. Estes critérios serão apresentados a seguir:

4.3.1 Bocas-de-lobo em ponto baixo de sarjeta (com abertura na guia)

Experiências realizadas no Laboratório de Hidráulica do Bureau of Public Roads, citado por Wilken (1978) mostraram que em pontos baixos de sarjeta, as bocas-de-lobo com abertura na guia têm os seguintes comportamentos:

- para alturas de água menores que a altura da abertura na guia ($y/h \leq 1$) a boca-de-lobo funciona como um vertedouro e a capacidade de captação é definida pela expressão:

$$\frac{Q}{L} = 1,703 y^{3/2} \quad (4.2)$$

Onde,

Q é a vazão máxima a ser captada pela boca-de-lobo, em m³/s;

L , o comprimento da abertura na guia, em metros;

y , a altura da lâmina d'água, em metros.

- Para alturas de água maiores ou iguais a duas vezes a altura da abertura, ($y/h \geq 2$) a boca-de-lobo funciona como um orifício.
- Para alturas de água entre uma e duas vezes a altura da abertura na guia ($1 < y/h < 2$) o funcionamento da boca-de-lobo é indefinido podendo, ora se comportar como vertedouro e ora como orifício.

4.3.2 Bocas-de-lobo em ponto baixo da sarjeta (com grelha)

Experiências realizadas pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, citado por Wilken (1978) revelaram que em pontos baixos da sarjeta, a boca-de-lobo com grelha tem o seguintes comportamentos:

- Para alturas da lâmina d'água sobre a grelha com até 12cm a boca-de-lobo funciona como vertedouro e sua capacidade de captação é dada pela expressão:

$$\frac{Q}{P} = 1,655 y^{3/2} \quad (4.3)$$

Onde,

Q é a vazão máxima a ser captada pela boca-de-lobo, em m³/s;

P , o perímetro da abertura da grelha, desconsiderando-se as barras internas e os lados onde a água não entra, em metros;

y , a altura da lâmina d'água, em metros.

- Para alturas de água superiores a 42 cm esta passa a ter um comportamento de orifício.
- Para alturas entre 12 e 42cm o tipo de funcionamento é indefinido.

A SUDECAP (2004) considera para as bocas-de-lobo em pontos baixos da sarjeta apenas a hipótese de funcionamento como vertedouro, adotando as Equações (4.2) e (4.3) para a determinação da capacidade das bocas-de-lobo com abertura na guia e com grelha, respectivamente. Para o caso das bocas-de-lobo combinadas a obtenção da capacidade se dá com o somatório dos dois valores.

4.3.3 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo

Os critérios descritos em Wilken (1978) e CETESB (1986) para a determinação da capacidade hidráulica de bocas-de-lobo instaladas em pontos intermediários de sarjeta foram extraídos das pesquisas realizadas na Universidade Johns Hopkins. Estas pesquisas, descritas no item 4.2, investigam e propõem os critérios para a determinação das capacidades hidráulicas das bocas-de-lobo, conforme apresentado a seguir:

4.3.3.1 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo com grelha, sem depressão

Segundo o modelo desenvolvido por Li, Geyer e Benton (1951) em uma boca-de-lobo com grelha na sarjeta sem depressão, a parcela do fluxo que ultrapassa a boca-de-lobo, q , pode passar por três caminhos distintos: entre a primeira abertura da grelha e a guia, q_1 , na parte externa da grelha, q_2 , podendo ainda ocorrer uma vazão excedente que resulta da parte do fluxo que escoar sobre as barras da grelha e a ultrapassa, q_3 .

A Figura 4.10 mostra os parâmetros utilizados na demonstração da hipótese de cálculo da capacidade deste tipo de boca-de-lobo.

A vazão q_1 ocorrerá sempre, mas dos ensaios realizados observou-se que esta parcela da vazão é desprezível. Para que todo o fluxo que escoar externamente à faixa W seja captado, o comprimento L da grelha deve ser superior a um dado valor L' . Caso esta condição não seja atendida, ocorrerá a vazão excedente q_2 . Os pesquisadores consideram que nos projetos deve ser considerada sempre uma grelha com comprimento superior a L_0 , condição necessária para que o fluxo que atinge a boca-de-lobo sobre a faixa W seja integralmente captado. Em CETESB (1986) é considerada a condição de $L < L_0$ e para este caso, uma parcela do escoamento que atinge a boca-de-lobo sobre a faixa W ultrapassa a grelha. Esta parcela excedente é denominada q_3 .

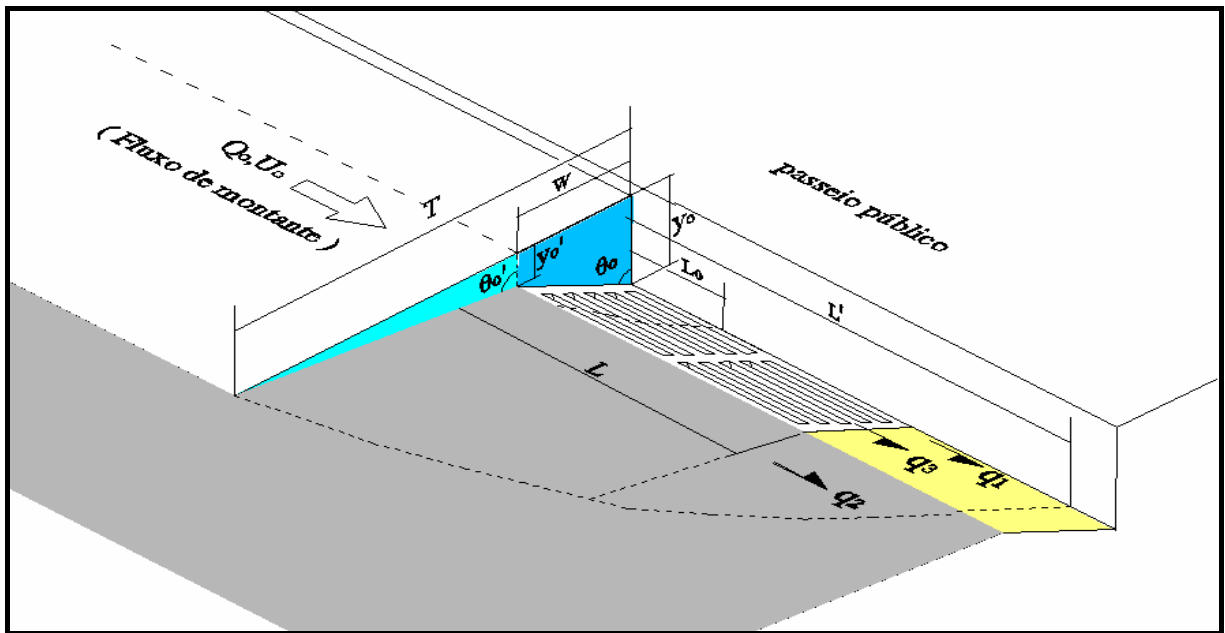


FIGURA 4.10 – Boca de lobo com grelha – parâmetros de cálculo

Fonte: própria

Desta forma, considerando a hipótese de que q_1 é desprezível, a vazão que ultrapassará a grelha será: $q = q_2 + q_3$. Recorrendo-se à análise dimensional, as variáveis envolvidas no processo de captação deste tipo de boca-de-lobo e com base nos ensaios realizados, foi possível obter uma formulação matemática para a determinação dos comprimentos L_0 e L' e também das parcelas da vazão excedente q_2 e q_3 conforme as seguintes expressões:

$$L_0 = m \times \frac{Q_0}{A_0} \times \left(\frac{y_0}{g} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

Onde,

L_0 é o comprimento mínimo da grelha para captar toda a vazão da faixa w , em m;

Q_0 , a vazão que escoou pela sarjeta, em m^3/s ;

A_0 , a seção molhada do escoamento pela sarjeta, em m^2 ;

y_0 , a altura da lâmina d'água na guia imediatamente a montante da boca-de-lobo, em metros;

g , a aceleração da gravidade $\approx 9,81m/s^2$ e

m , o fator que depende do número de barras transversais existentes na grelha e da relação entre t e e , que são a espessura das barras longitudinais e o espaçamento entre elas, respectivamente. Os valores de m , dados pela Tabela 4.1, apresentada a seguir são válidos para valores de t , iguais ou ligeiramente menores que e .

Tabela 4.1 – valores do fator m

| | |
|---|-----------|
| BOCA-DE-LOBO COMBINADA | |
| • Grelhas com algumas barras transversais e $t \leq e$ | $m = 3,3$ |
| • Grelhas com diversas barras transversais e $t \leq e$ | $m = 6,6$ |
| BOCA-DE-LOBO COM GRELHAS | |
| • Grelhas com algumas barras transversais e $t \leq e$ | $m = 4,0$ |
| • Grelhas com diversas barras transversais e $t \leq e$ | $m = 8,0$ |

Fonte: CETESB (1986)

Nos casos em que $L < L_0$, uma parcela da vazão, q_3 , ultrapassa a boca-de-lobo e seu valor é determinado por:

$$q_3 = Q_0 \left(1 - \frac{L^2}{L_0^2} \right)^2 \quad (4.5)$$

Onde,

q_3 é a parcela do escoamento de largura W que ultrapassa a grelha, em m^3/s ;

L é o comprimento da grelha, em metros.

$$L' = 1,2 \tan \theta_0 \cdot \frac{U_0}{\sqrt{g \cdot y_0'}} \quad (4.6)$$

Onde,

L' é o comprimento necessário para que todo o escoamento externo à grelha seja captado, em metros;

θ_0 , o ângulo entre o plano da sarjeta e a vertical;

U_0 é a velocidade do fluxo de largura W_0 , em m/s; e

y_0' a profundidade da lâmina d'água junto à borda externa da grelha, em metros.

$$q_2 = 0,25 \cdot (L' - L) \cdot y_0' \cdot \sqrt{g \cdot y_0'} \quad (4.7)$$

Onde,

q_2 é a parcela da vazão externa à grelha que não é captada por esta, em m^3/s ;

L' , o comprimento necessário para a captação de todo o escoamento externo à grelha, em metros.

Desta forma, a capacidade para este tipo de boca-de-lobo pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$Q = Q_o - q \quad (4.8)$$

4.3.3.2 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo com abertura na guia

- Boca-de-lobo sem depressão na sarjeta

Segundo o modelo desenvolvido por Li, Sorteberg e Geyer (1951) a capacidade de uma boca-de-lobo com abertura na guia e sem depressão na sarjeta depende basicamente de:

L , que é o comprimento da abertura na guia;

U_o, y_o e θ as características de aproximação do escoamento, ver Figura 4.11;

g , a aceleração da gravidade,

q , a vazão excedente

A Figura 4.11, a seguir mostra os parâmetros utilizados na demonstração da hipótese de cálculo da capacidade deste tipo de boca-de-lobo.

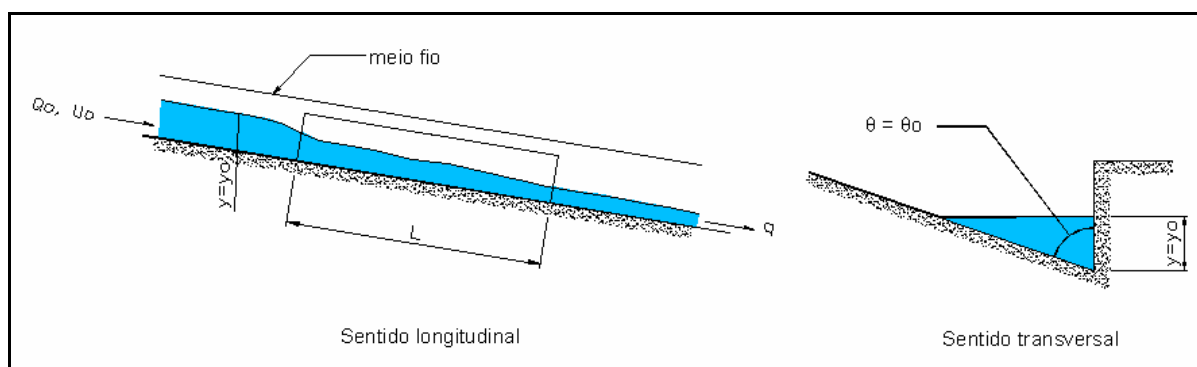


Figura 4.11 - Boca-de-lobo com abertura na guia – parâmetros de cálculo

Adaptado de Li *et al.*(1951)

Considerando-se as variáveis envolvidas no processo de captação deste tipo de boca-de-lobo e com base na análise dimensional chegou-se à seguinte relação funcional:

$$\frac{Q}{L \cdot y \cdot \sqrt{g \cdot y_0}} = \phi \left(\frac{U_0}{\sqrt{g \cdot y_0}}, \frac{q}{Q}, \theta \right) \quad (4.9)$$

Com testes feitos variando-se os valores dos adimensionais $U_0/\sqrt{g \cdot y_0}$ e θ chegou-se à seguinte lei de captação para a boca-de-lobo:

$$\frac{Q}{L \cdot y_0 \cdot \sqrt{g \cdot y_0}} = K \quad (4.10)$$

Onde,

Q é a vazão captada, em m^3/s ;

L , o comprimento da abertura na guia, em m;

y_0 , a altura da lâmina d'água imediatamente a montante da abertura na guia, em metros e

K , uma constante que depende apenas do ângulo θ .

Nos testes realizados verificou-se que para os valores de $\tan \theta = 12, 24$ e 48 os valores de K são, respectivamente, $0,23, 0,20$ e $0,20$.

- Boca-de-lobo com depressão na sarjeta

Havendo depressão na sarjeta, a equação 4.10 para a determinação da capacidade da boca-de-lobo com abertura na guia deve ser alterada em decorrência de dois motivos:

- A profundidade y na extremidade montante da abertura na guia é diferente da profundidade do fluxo na sarjeta, y_0 .
- Devido a presença da depressão, uma parte do fluxo é retido próximo a extremidade de jusante da abertura, aumentando assim a parcela da vazão captada pela boca-de-lobo.

A Figura 4.12 a seguir mostra os parâmetros utilizados na demonstração da hipótese de cálculo da capacidade deste tipo de boca-de-lobo quando empregada a depressão na sarjeta.

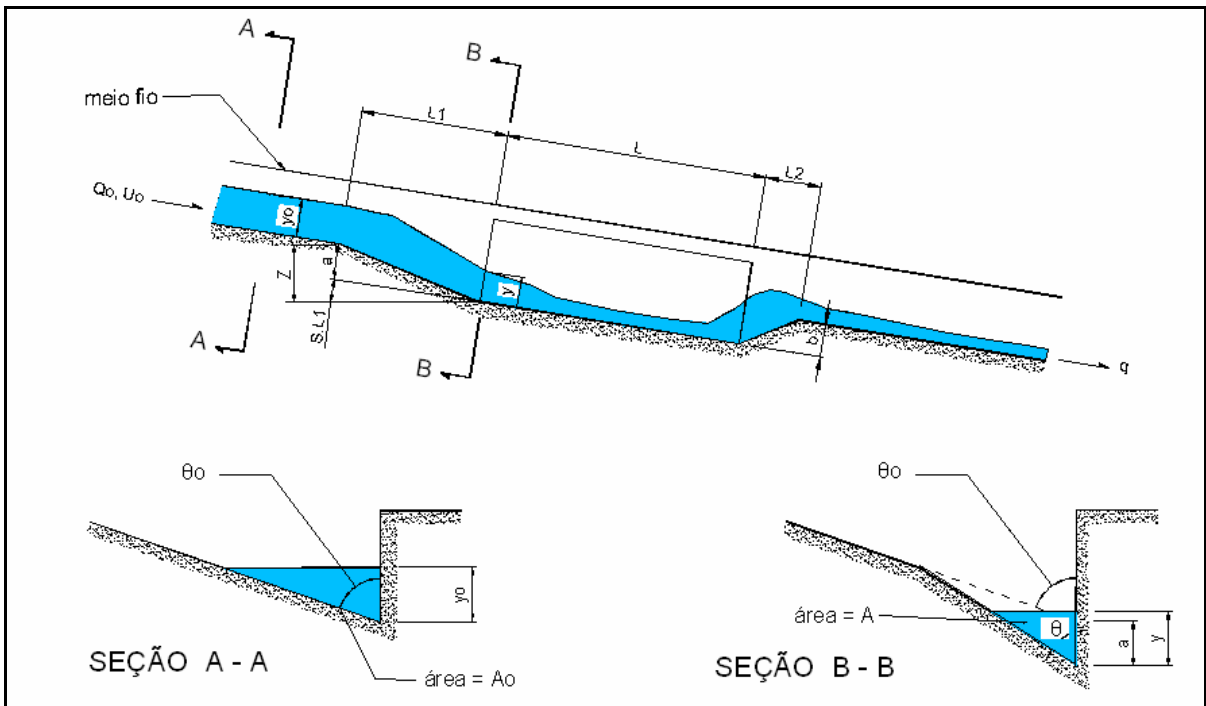


Figura 4.12 - Boca-de-lobo com abertura na guia com depressão – parâmetros de cálculo
Adaptado de Li *et al.* (1951)

Considerou-se a priori a condição de escoamento uniforme também na faixa de transição L_1 e que esta faixa seja suficientemente longa para que a superfície da água na extremidade montante da abertura na guia seja horizontal no sentido perpendicular ao eixo da rua. Desta forma, o valor de y pode ser obtido relacionando-se as energias entre as seções referentes ao início e ao final da transição da seguinte forma:

$$\frac{Q_0}{2gA^2} + y = \frac{Q_0}{2gA_0^2} + y_0 + a \quad (4.11)$$

Conhecendo-se o valor da depressão, a , o valor de y pode ser obtido da equação 4.11 através de iterações ou por meios gráficos.

Conhecendo-se o valor de y e empregando-se a análise dimensional com base nas variáveis envolvidas, a lei de captação deste tipo de boca de lobo toma a seguinte forma:

$$\frac{Q}{L \cdot y \cdot \sqrt{g \cdot y}} = K + C \quad (4.12)$$

Onde o termo adicional C representa o incremento na capacidade de captação da boca-de-lobo devido à retenção de parte do fluxo na transição de jusante da depressão.

4.3.3.3 Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo, com grelha e abertura na guia

Li, Goodell e Geyer (1954) desenvolveram um modelo matemático para a determinação da capacidade hidráulica deste tipo de boca-de-lobo. O modelo segue as seguintes etapas: em primeiro lugar é necessário determinar a altura da lâmina d'água y na extremidade de montante da grelha e também na abertura na guia considerando-se que ambas estão alinhadas segundo o sentido transversal da rua. Nesta determinação, já vista no item anterior, considera-se a condição de escoamento uniforme ao longo do comprimento do lado montante da depressão, L_1 e aplica-se a lei da conservação da energia entre as seções inicial e final desta extensão para a determinação da altura y .

O modelo matemático desenvolvido para determinar a capacidade das bocas-de-lobo com grelha sem depressão na sarjeta repete-se aqui. Sendo assim, o fluxo que ultrapassa a boca-de-lobo o faz por tres caminhos: entre a guia e a primeira abertura da grelha, q_1 ; sobre a própria grelha, q_3 e externamente à grelha, q_2 . Como na pesquisa da boca-de-lobo com grelha sem depressão na sarjeta o valor de q_1 é considerado desprezível. Na pesquisa feita com bocas-de-lobo combinadas e com depressão testou-se apenas bocas-de-lobo capazes de captar todo o fluxo que escoava sobre a grelha, não havendo pois, a vazão residual q_3 . Portanto, o total da vazão que ultrapassa a grelha resume-se à vazão oriunda do fluxo externo à grelha, q_2 .

Pelo modelo proposto a influência da abertura na guia na capacidade da boca-de-lobo é refletida na redução do valor da constante m relacionada ao número de barras transversais na grelha. Isto significa um ganho de eficiência da boca-de-lobo devido aos menores valores exigidos para o comprimento L_0 .

O modelo proposto considera que devido ao acúmulo de água que ocorre no lado de jusante da depressão, parte da vazão que ultrapassa a boca-de-lobo, retorna sendo captada pela grelha e pela abertura na guia. Portanto, a vazão residual q é inferior ao valor de q_2 . Ou seja: uma vazão adicional q_2-q é captada pela boca-de-lobo em decorrência da existência da depressão.

Da pesquisa foi proposto um método matemático e também gráfico para a determinação do valor da vazão adicional q_2-q e os resultados apresentados mostram que para declividades longitudinais abaixo de 5% este valor chega a ser considerável. Esta parcela de vazão, contudo, foi desprezada pela literatura brasileira, por considerar complexa a sua implementação nos cálculos e seus valores práticos desprezíveis.

4.3.3.4 Parâmetros de escoamento na sarjeta

Os critérios desenvolvidos para a determinação da capacidade dos diversos tipos de boca-de-lobo, conforme descrito anteriormente, baseiam-se nos parâmetros relativos ao escoamento na sarjeta, tais como altura da lâmina d'água no meio fio, y_0 , velocidade e vazão, U_0 e Q_0 . Tais parâmetros são obtidos da equação resultante dos trabalhos de Izzard (1946) e Tapley (1955), citados por Wilken (1978), que adaptaram a equação de Manning para emprego em canais de seção transversal triangular transformando-a na expressão abaixo, que ficou conhecida no meio técnico como equação de Izzard:

$$Q_0 = 0,375 \cdot \left(\frac{z}{n} \right) \cdot y_0^{8/3} \cdot I^{1/2} \quad (4.13)$$

Onde

Q_0 é a vazão na sarjeta, em m³/s;

Z , o inverso da declividade transversal;

n , o coeficiente de rugosidade de Manning ;

y_0 , a altura da lâmina d'água na guia, em m; e

I , a declividade longitudinal da rua.

Para a situação em que a largura da lâmina d'água, T forma uma sarjeta com declividade transversal composta o procedimento para a determinação da capacidade da mesma pela fórmula de Izzard é a sua decomposição em sarjetas com declividades transversais únicas seguido do cálculo da capacidade individual destas. A capacidade total da sarjeta é obtida da soma algébrica das capacidades das sarjetas decompostas, conforme Figura 4.13.

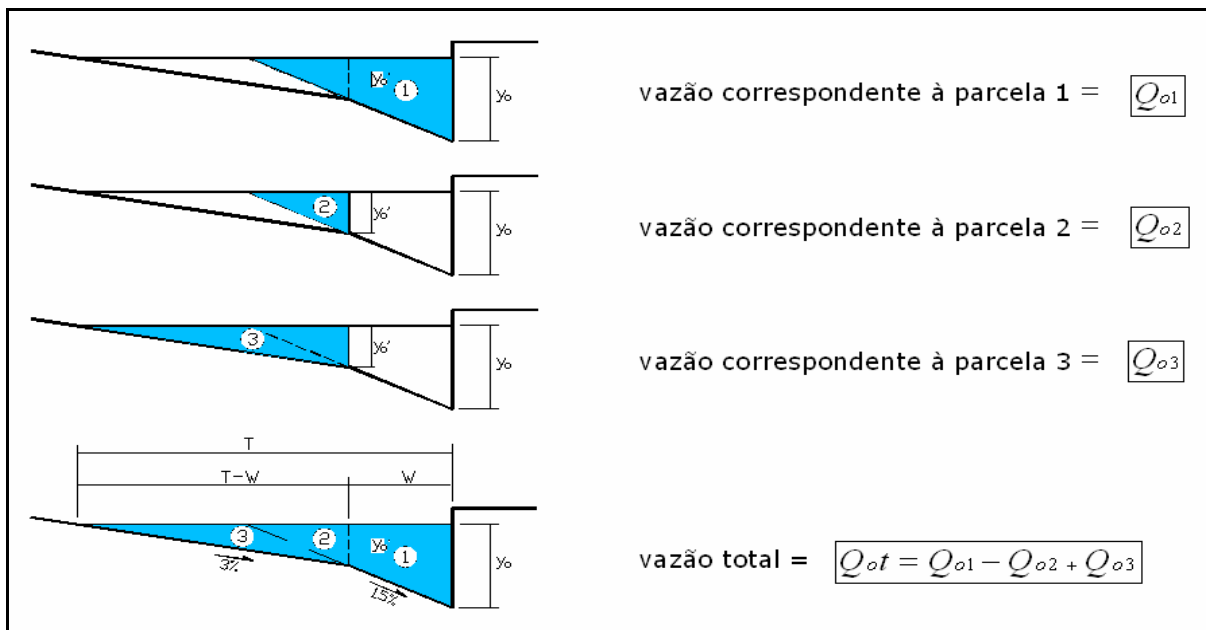


Figura 4.13 – capacidade da sarjeta com declividade transversal composta

Fonte: própria

4.3.4 Capacidade da boca-de-lobo padrão SUDECAP

A SUDECAP (1985) adota, via de regra, o padrão de boca-de-lobo apresentado na Figura 4.4 que é do tipo combinada, com abertura na guia, grelha e depressão na sarjeta. Suas dimensões básicas são apresentadas na Figura 4.14. A boca-de-lobo apresentada nesta figura refere-se ao padrão B, cuja grelha e cantoneira, que possibilita a abertura na guia, são compostas de peças pré-moldadas em concreto armado.

O parâmetro hidráulico y_o é obtido a partir da largura da seção molhada na sarjeta, T , para o qual é adotado o valor de 1,67m, correspondente a máxima faixa inundável e da largura da sarjeta, W igual a 0,5m. A declividade transversal da sarjeta é composta e igual a 15% na faixa W e 3% a partir do bordo externo da faixa W , configuração esta correspondente à sarjeta padrão B que em Belo Horizonte é empregada nas vias cuja faixa de declividade longitudinal varia de 0,5% a 16%. Para o coeficiente de rugosidade de Manning é admitido o valor médio de 0,015 aplicável em toda a superfície do perímetro molhado.

O procedimento empregado pela SUDECAP(2004) para a determinação da capacidade deste padrão de boca de lobo funcionando em pontos de greide contínuo é o seguinte:

- Com os parâmetros y_o , z , n e I definidos, determina-se o valor da capacidade da sarjeta, Q_o utilizando-se a equação 4.13 e os procedimentos para os casos de sarjetas com declividades transversais compostas descritos no item 4.3.3.4;

- Da equação da continuidade determina-se o valor da velocidade média de aproximação, U_0 ;
- Segundo a metodologia proposta por Li, Goodell e Geyer (1954) descrita no item 4.3.3.3 determina-se o comprimento L_0 e a parcela da vazão passante q_3 , para os casos de $L_0 > L$;
- Segundo a mesma metodologia determina-se o comprimento L' e a parcela da vazão passante q_2 , para os casos de $L' > L$;
- Determina-se o total da vazão passante fazendo-se $q_2 + q_3 = q$;
- Finalmente, determina-se a capacidade da boca-de-lobo com a aplicação da equação 4.8, $Q = Q_0 - q$, onde Q , Q_0 e q são respectivamente: vazão captada pela boca-de-lobo, vazão afluente e vazão passante.

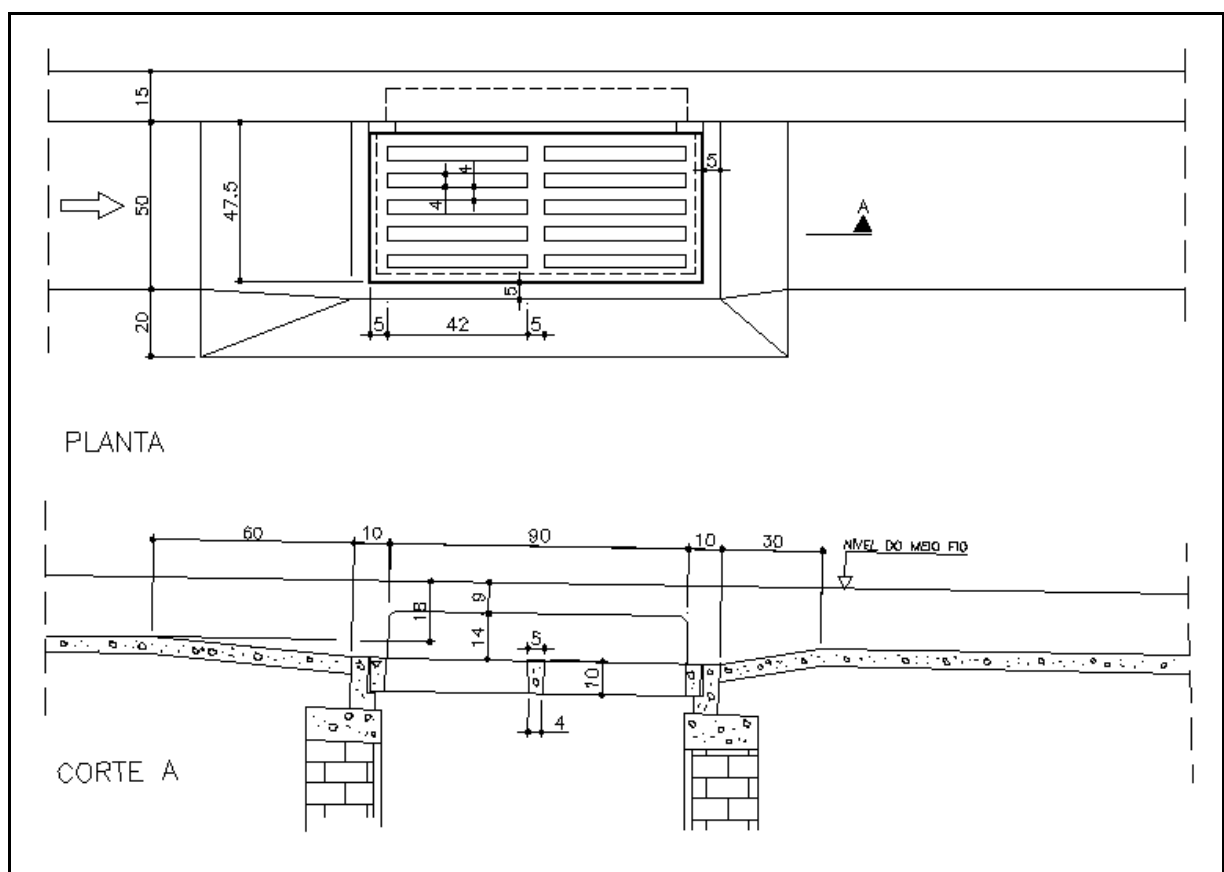


Figura 4.14 – Boca-de-lobo padrão SUDECAP – características geométricas

Adaptado de: SUDECAP (1985)

Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados do procedimento descrito, sendo mostrados os valores de capacidade das bocas-de-lobo instaladas em pontos de greide contínuo com declividades longitudinais variando de 0,5 a 14%. Para efeito de comparação foram incluídos nesta tabela os valores da vazão e da velocidade na sarjeta, obtidos segundo a equação de Manning. Pode-se observar uma considerável diferença entre os dois valores de velocidades, diferença esta que será objeto de discussões no capítulo específico. Da mesma forma, serão discutidos adiante outros fatores constantes nas pesquisas desenvolvidas na Universidade Jonh Hopkins e não considerados pelos critérios da SUDECAP.

Tabela 4.2 – Capacidade das bocas-de-lobo – critério SUDECAP

| CRITÉRIO DA SUDECAP - LÂMINA DE ÁGUA 1,67 | | | | | | | | | | | | Capacidade da sarjeta equação de Manning | |
|--|---|-----------------|-----------------|--------|-------|--|------|----------------|----------------|-------|------------------|---|-----------|
| Decliv. | Capacidade da sarjeta padrão B - fórmula de Izzard | | | | | BL combinada simples (J. Hopkins) | | | | | | Qo | Vo |
| (m/m) | Qo ₁ | Qo ₂ | Qo ₃ | Qo | Vo | L' | Lo | q ₂ | q ₃ | q | Q _{BLS} | (l/s) | (m/s) |
| | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (m/s) | (m) | (m) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (l/s) | (m/s) |
| 0,002 | 20,76 | 0,98 | 4,92 | 24,69 | 0,43 | 1,04 | 0,15 | 0,20 | 0,00 | 0,20 | 24,49 | 17,01 | 0,30 |
| 0,004 | 29,35 | 1,39 | 6,96 | 34,92 | 0,61 | 1,47 | 0,21 | 2,42 | 0,00 | 2,42 | 32,50 | 24,06 | 0,42 |
| 0,005 | 32,82 | 1,56 | 7,78 | 39,04 | 0,69 | 1,64 | 0,24 | 3,31 | 0,00 | 3,31 | 35,73 | 26,90 | 0,47 |
| 0,006 | 35,95 | 1,71 | 8,53 | 42,77 | 0,75 | 1,80 | 0,26 | 4,12 | 0,00 | 4,12 | 38,65 | 29,47 | 0,52 |
| 0,008 | 41,51 | 1,97 | 9,84 | 49,39 | 0,87 | 2,08 | 0,30 | 5,56 | 0,00 | 5,56 | 43,83 | 34,03 | 0,60 |
| 0,010 | 46,41 | 2,20 | 11,01 | 55,22 | 0,97 | 2,32 | 0,34 | 6,82 | 0,00 | 6,82 | 48,40 | 38,04 | 0,67 |
| 0,015 | 56,84 | 2,70 | 13,48 | 67,62 | 1,19 | 2,85 | 0,42 | 9,51 | 0,00 | 9,51 | 58,11 | 46,59 | 0,82 |
| 0,020 | 65,63 | 3,11 | 15,57 | 78,09 | 1,37 | 3,29 | 0,48 | 11,78 | 0,00 | 11,78 | 66,31 | 53,80 | 0,95 |
| 0,025 | 73,38 | 3,48 | 17,40 | 87,30 | 1,54 | 3,68 | 0,54 | 13,78 | 0,00 | 13,78 | 73,53 | 60,15 | 1,06 |
| 0,030 | 80,39 | 3,81 | 19,06 | 95,64 | 1,68 | 4,03 | 0,59 | 15,58 | 0,00 | 15,58 | 80,05 | 65,90 | 1,16 |
| 0,035 | 86,83 | 4,12 | 20,59 | 103,30 | 1,82 | 4,35 | 0,64 | 17,24 | 0,00 | 17,24 | 86,06 | 71,18 | 1,25 |
| 0,040 | 92,82 | 4,40 | 22,01 | 110,43 | 1,94 | 4,65 | 0,68 | 18,79 | 0,00 | 18,79 | 91,64 | 76,09 | 1,34 |
| 0,050 | 103,78 | 4,92 | 24,61 | 123,47 | 2,17 | 5,20 | 0,76 | 21,62 | 0,00 | 21,62 | 101,85 | 85,07 | 1,50 |
| 0,060 | 113,68 | 5,39 | 26,96 | 135,25 | 2,38 | 5,69 | 0,83 | 24,17 | 0,00 | 24,17 | 111,08 | 93,19 | 1,64 |
| 0,070 | 122,79 | 5,82 | 29,12 | 146,09 | 2,57 | 6,15 | 0,90 | 26,52 | 0,00 | 26,52 | 119,57 | 100,66 | 1,77 |
| 0,080 | 131,27 | 6,23 | 31,13 | 156,17 | 2,75 | 6,57 | 0,96 | 28,71 | 0,00 | 28,71 | 127,47 | 107,61 | 1,89 |
| 0,090 | 139,23 | 6,60 | 33,02 | 165,65 | 2,91 | 6,97 | 1,02 | 30,76 | 0,22 | 30,98 | 120,70 | 114,13 | 2,01 |
| 0,100 | 146,76 | 6,96 | 34,80 | 174,61 | 3,07 | 7,35 | 1,07 | 32,70 | 3,10 | 35,80 | 96,60 | 120,31 | 2,12 |
| 0,110 | 153,93 | 7,30 | 36,50 | 183,13 | 3,22 | 7,71 | 1,13 | 34,55 | 8,23 | 42,78 | 77,60 | 126,18 | 2,22 |
| 0,120 | 160,77 | 7,63 | 38,13 | 191,27 | 3,37 | 8,05 | 1,18 | 36,31 | 14,74 | 51,06 | 62,10 | 131,79 | 2,32 |
| 0,130 | 167,33 | 7,94 | 39,68 | 199,08 | 3,50 | 8,38 | 1,22 | 38,01 | 22,10 | 60,11 | 0,00 | 137,17 | 2,41 |
| 0,140 | 173,65 | 8,24 | 41,18 | 206,60 | 3,64 | 8,70 | 1,27 | 39,64 | 29,96 | 69,60 | 0,00 | 142,35 | 2,50 |

Adaptado de SUDECAP (2004)

4.3.5 Considerações sobre a capacidade das bocas-de-lobo

A seguir apresenta-se na Tabela 4.3 um resumo das principais considerações feitas pelos diversos autores sobre capacidade dos vários tipos de bocas de lobo pesquisados e retratados neste capítulo.

Tabela 4.3 – Capacidade das bocas-de-lobo – segundo autores

| Autor | Considerações |
|------------------------------|--|
| Li, Geyer e Benton (1951) | A boca-de-lobo com grelha constituída de barras transversais em sarjetas sem depressão apresenta baixa eficiência de captação em razão disto, os dados referentes a este tipo de boca de lobo não foram analisados. |
| Li, Sorteberg e Geyer (1951) | Na maioria dos casos testados para boca-de-lobo com abertura na guia, o percentual da vazão afluyente que ultrapassou a boca-de-lobo é de 20 e 40% referentes repectivamente boca-de-lobo com e sem depressão na sarjeta. |
| Li, Goodell e Geyer (1954) | A capacidade de bocas-de-lobo com defletores cresce com a declividade longitudinal, uma característica contrária às mostradas pelos outros tipos de boca-de-lobo. |
| Li, Goodell e Geyer (1954) | <p>Em qualquer posição relativa à abertura no meio fio, a grelha sem barras transversais é mais eficiente;</p> <p>Exceto quando a grelha está localizada à montante da abertura no meio fio, quanto maior o número de barras transversais, menor é a eficiência da boca-de-lobo;</p> <p>Um aumento na eficiência é conseguido mais facilmente utilizando-se uma grelha mais eficiente que posicionando a grelha à jusante ou à montante da abertura no meio fio;</p> <p>Quando uma grelha com barras longitudinais é usada, a boca-de-lobo combinada com depressão é o tipo mais eficiente dentre os tipos pesquisados;</p> <p>Em locais onde depressões na sarjeta não são desejáveis, como no caso de sarjetas ao longo de auto estradas, ou em vias urbanas onde a faixa próxima ao meio fio é utilizada para tráfego, podem ser utilizadas duas alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ bocas-de-lobo com abertura na guia e defletores nas sarjetas para as ruas íngremes;▪ bocas-de-lobo combinadas sem depressão em declividades suaves. |
| Botelho (1985) | A capacidade de engolimento da boca-de-lobo não supera (quando bem construída e bem limpa) 60 l/s. |
| Souza (1986) | <p>A boca-de-lobo com depressão na sarjeta é sempre mais eficiente que a sem depressão, quando instalada na mesma sarjeta;</p> <p>Para uma vazão fixada, ambos os tipos de boca-de-lobo perdem eficiência com o aumento da declividade longitudinal;</p> <p>A boca-de-lobo com depressão é mais indicada do que a sem depressão quando se trata de rua com declividade longitudinal acentuada.</p> |

4.3.6. Influência dos resíduos sólidos no funcionamento das bocas-de-lobo

A presença dos resíduos sólidos nas vias urbanas e áreas adjacentes é, por si só, desagradável e ameaçadora do ponto de vista sanitário e ambiental. Para o sistema de drenagem em particular os resíduos sólidos representam sérios inconvenientes. Eles podem afetar diretamente a drenagem com a obstrução das grelhas das bocas-de-lobo, com a consequente redução da eficiência hidráulica deste dispositivo. Podem ainda, através da drenagem, atingir e poluir os receptores naturais como, córregos, lagos ou rios. A erradicação total deste problema nas cidades brasileiras, a curto ou mesmo a médio prazo é pouco provável uma vez que está arraigado a uma realidade sócio-cultural que remonta a tempos. Cabe, portanto, ao poder público e ao meio técnico adotarem medidas de ordem estrutural ou não estrutural que venham minimizar os impactos decorrentes da presença destes resíduos sobre os sistemas de drenagem.

Como medida não estrutural, Barros (1998) recomenda que anualmente, a dois meses de cada período chuvoso, sejam feitas juntamente com as atividades de varrição as desobstruções das bocas-de-lobo como forma de garantir o funcionamento normal da drenagem nos períodos chuvosos. Este tipo de manutenção rotineira evitaria situações muito comuns nos centros urbanos, como a mostrada na Figura 4.15. Neste caso, a obstrução chega a tal ponto que o escoamento oriundo da sarjeta não consegue mais atingir a grelha, sendo desviado para a jusante pela vegetação que cresce com a presença dos detritos.



Figura 4.15 – Aspecto de obstrução da grelha por resíduos sólidos

Fonte: própria

Como forma de minimizar o efeito da obstrução das grelhas, CETESB (1986) recomenda a aplicação de um fator de redução sobre a capacidade teórica das bocas-de-lobo. Os valores destes constam da Tabela 4.4 apresentada a seguir, devendo ser salientado que estes valores são recomendados não somente pela possibilidade de obstrução parcial das grelhas, mas também, devido a problemas de irregularidades do pavimento, entre outros.

Tabela 4.4 – Redução das capacidades das bocas-de-lobo devido à obstrução das grelhas

| Localização das bocas-de-lobo nas sarjetas | Tipo de boca-de-lobo | Fator de redução da capacidade das bocas-de-lobo |
|--|--|--|
| ponto baixo | com abertura na guia | 80 % |
| ponto baixo | com grelha | 50 % |
| ponto baixo | combinada | 65 % |
| ponto intermediário | com abertura na guia | 80 % |
| ponto intermediário | com grelha longitudinal | 60 % |
| ponto intermediário | com grelha transversal ou longitudinal com barras transversais | 50 % |
| ponto intermediário | combinada | 110 % dos valores indicados para a grelha correspondente |

Adaptado de CETESB (1986)

A SUDECAP (2006) recomenda que se aplique um fator de redução de 35% sobre a capacidade teórica das bocas-de-lobo em pontos baixos. Anteriormente, SUDECAP (2004), o fator de redução recomendado era de 60%.

Outras iniciativas visando minimizar os efeitos decorrentes da presença dos resíduos sólidos nos sistemas de drenagem utilizam a associação de medidas estruturais e não estruturais e visam impedir que os resíduos atinjam os receptores naturais de drenagem retendo-os nas caixas das bocas-de-lobo por meio de artifícios diversos, conforme a descrição seguinte:

Azevedo Netto (1970) apresenta um tipo de boca-de-lobo com cesto instalado em sua caixa com o fim de retenção dos detritos que passarem pela grelha, Figura 4.16. Este tipo de boca-de-lobo, utilizado no passado em algumas ruas de Paris, tem o ramal normal de saída d'água no fundo da caixa e uma saída superior, *by pass*, para evitar a obstrução total da boca-de-lobo no caso de enchimento do cesto.

Linsley e Franzini (1978) apresentam um tipo de boca-de-lobo com caixa de detenção, utilizado provavelmente em cidades dos Estados Unidos, Figura 4.17. Neste caso, o fundo da caixa foi rebaixado em relação à cota do ramal de saída para evitar a obstrução do ramal.

Mais recentemente, no loteamento Recanto dos Ipês, na cidade de Camanducaia, em Minas Gerais, adotou-se um modelo de boca-de-lobo com caixa de detenção e fundo recoberto com material drenante, para permitir que parte da água coletada pela boca-de-lobo se infiltre, reduzindo o volume de água que atinge o sistema de macro-drenagem através do escoamento superficial. A Figura 4.18 mostra um destes dispositivos em fase de implantação.

É importante ressaltar que estes artificios de retenção de detritos nas caixas de boca-de-lobo funcionam a contento, desde que haja a participação contínua das prefeituras para coletar periodicamente o material retido nas caixas, caso contrário os artificios tornam-se onerosos e ineficazes. A seguir são apresentadas as figuras com os tipos de bocas-de-lobo citados:

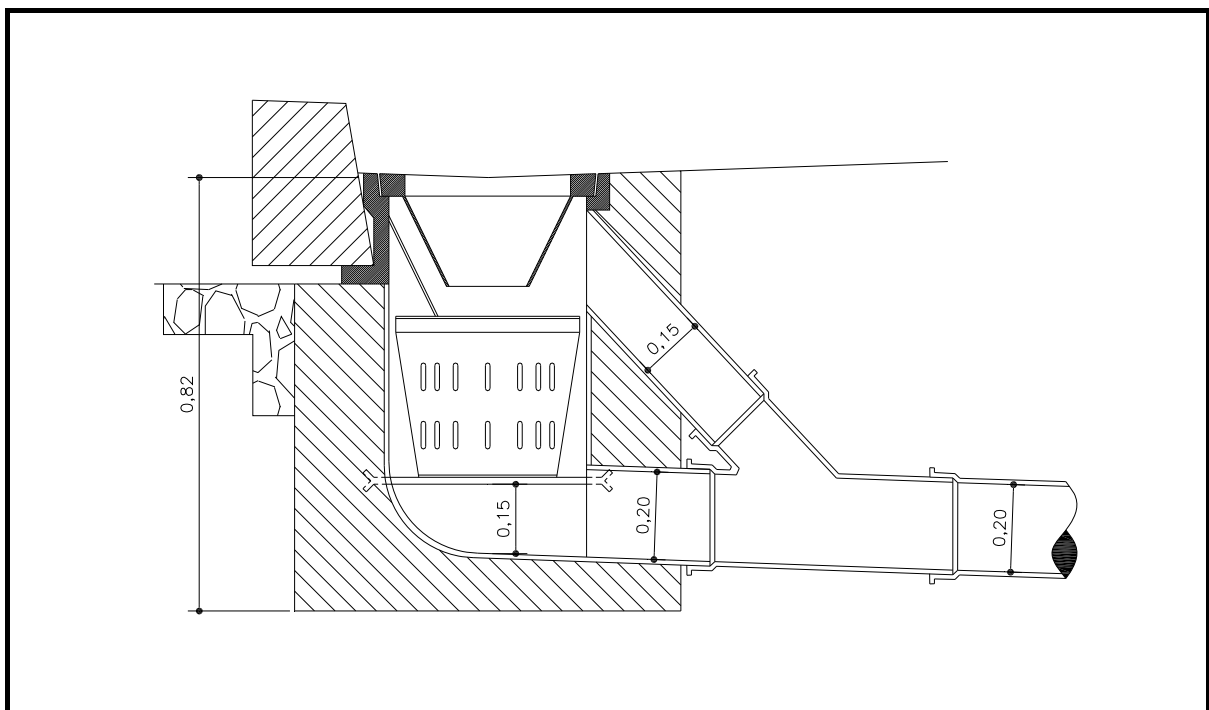


Figura 4.16 – Boca-de-lobo utilizada em ruas particulares de Paris

Fonte : Azevedo Netto (1970)

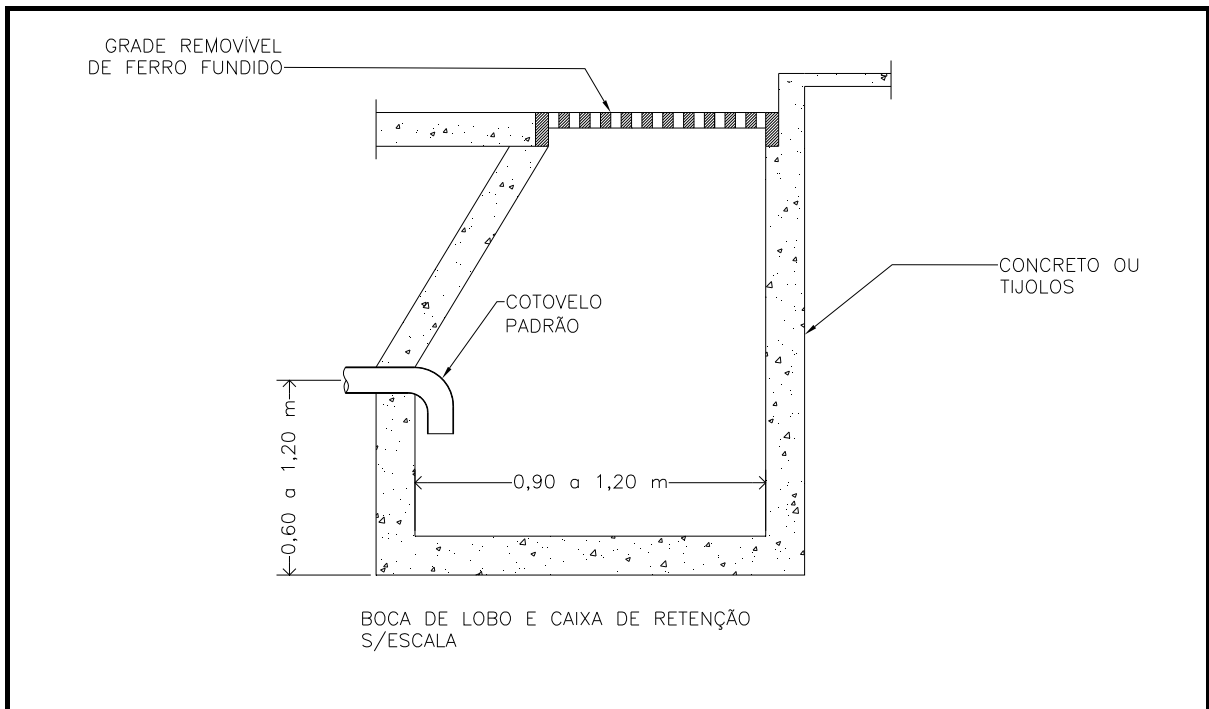


Figura 4.17 – Boca-de-lobo com caixa de retenção

Fonte : Linsley e Franzine (1978)



Figura 4.18 – Boca-de-lobo com caixa de retenção utilizada em Camanducaia, MG.

Fonte: própria

5. MATERIAL E MÉTODOS

A eficiência hidráulica de uma boca-de-lobo situada em pontos de greide contínuo faz-se pela determinação da relação entre a vazão captada e a vazão afluente da sarjeta. A vazão captada depende da altura da lâmina de água a montante desta, y_0 , que por sua vez depende das características geométricas da sarjeta, bem como do comprimento, da largura e das demais variáveis geométricas da boca-de-lobo. Assim, a vazão captada pela boca-de-lobo com grelha e abertura na guia pode ser dada pela relação funcional:

$$\varphi(Q, Q_0, y_0, L, A_u, e, \theta, I, f, G) = 0 \quad (5.1)$$

em que,

Q : vazão captada pela boca-de-lobo (m^3/s);

Q_0 : vazão que afluí pela sarjeta (m^3/s);

y_0 : altura da lâmina d'água (m);

L : comprimento da abertura na grelha e na guia (m);

A_u : área útil das aberturas na grelha (m^2);

e : largura da abertura na grelha (m);

θ : ângulo do plano da sarjeta com a vertical;

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

f : fator de atrito da equação universal de perda de carga.

G : Parâmetro adimensional que descreve a geometria da sarjeta nas vizinhanças da boca-de-lobo.

A utilização da análise dimensional na relação 5.1 permite deduzir as relações adimensionais expressas as seguir:.

$$\frac{Q}{Q_0} = \varphi\left(\frac{L}{y_0 \cdot \operatorname{tg} \theta}, \sqrt{I/f}, \frac{A_u}{L \cdot e}, G\right) \quad (5.2)$$

Para uma dada geometria da sarjeta nas proximidades da boca-de-lobo pode-se escrever que:

$$\frac{Q}{Q_0} = \varphi\left(\frac{L}{y_0}, \sqrt{I/f}\right) \quad (5.3)$$

Medindo-se as grandezas envolvidas nesta equação a função φ pode ser definida, para cada geometria de boca-de-lobo adotada. Entretanto, devido a grande dificuldade em se medir e

controlar essas grandezas numa situação real de campo é recomendável a utilização de modelo físico. Esses modelos quando construídos na escala do modelo original (protótipo) têm custo muito elevados, o que justifica a adoção de modelos reduzidos. No caso de modelos hidráulicos, alguns princípios devem ser seguidos, conforme explicado no item seguinte.

5.1 Considerações teóricas

Segundo Hwang (1984) a utilização de modelos físicos para o estudo e a análise dos projetos de engenharia é relativamente antiga, sendo conhecidos modelos atribuídos a Leonardo da Vinci, no início de Século XVI. Todavia, foi no século XVIII que a exploração dos resultados obtidos com os modelos tornou-se mais adequada, por causa do estabelecimento de alguns princípios básicos, essencialmente a teoria da semelhança e a análise dimensional,

Para se alcançar a semelhança entre o modelo hidráulico e o protótipo são necessários três aspectos básicos: semelhança geométrica, semelhança cinemática e semelhança dinâmica.

A semelhança geométrica implica semelhança de forma entre o modelo e o protótipo. A razão fixa entre os comprimentos homólogos no modelo L_m e no protótipo L_p , denomina-se escala dos comprimentos ou escala linear L_r , conforme a expressão 5.4

$$\frac{L_p}{L_m} = L_r \quad (5.4)$$

A semelhança cinemática diz respeito à semelhança de movimento, enquanto a semelhança dinâmica subentende-se semelhança das forças e massas envolvidas no fenômeno. Desta forma, para que haja semelhança dinâmica, devem-se verificar também as semelhanças geométrica e cinemáticas.

Segundo Baptista (1997), de uma maneira geral, as forças F presentes nos fenômenos hidrodinâmicos são:

- Força de inércia $F_i = ma = \rho L^2 U$
- Força de pressão $F_p = \Delta p L^2$
- Força de viscosidade $F_v = \mu L U$
- Força de gravidade $F_g = mg \Rightarrow \rho L^3 g$

- Força de tensão superficial $F_S = \sigma L$

- Força de compressão elástica $F_C = EL^2$

- Resultante das forças: $\sum F = F_i = F_p + F_v + F_g + F_S + F_C$

em que,

m : massa

a : aceleração

ρ : massa específica

Δp : variação da pressão

μ : viscosidade dinâmica

σ : tensão superficial

E : módulo de elasticidade volumétrico

A relação entre algumas das forças presentes nos fenômenos hidrodinâmicos e a força de inércia dá origem a grupos adimensionais, denominados parâmetros adimensionais notáveis, de grande significado físico na hidráulica. Dentre os adimensionais notáveis destacam-se no presente estudo os números de Froude e de Reynolds, apresentados a seguir:

- Número de Froude - Fr

$$Fr = \frac{\text{forças de inércia}}{\text{forças gravitacionais}}$$

$$Fr^2 = \frac{\rho L^2 U^2}{\rho L^3 g} = \frac{U^2}{gL} \Rightarrow Fr = \frac{U}{\sqrt{gL}} \quad (5.5)$$

Considerando o critério de semelhança dinâmica baseado na igualdade dos números de Froude entre modelo e protótipo, pode-se obter as razões de escala L_r entre o modelo e o protótipo para as grandezas físicas envolvidas utilizando água nas mesmas condições de temperatura e pressão, tanto no modelo quanto no protótipo, submetidos ao mesmo campo gravitacional, tem-se:

$$\text{- escala de comprimentos } L_m/L_p = R h_m/R h_p = L_r \quad (5.6)$$

$$\text{- escala de velocidades } U_m/U_p = L_r^{1/2} \quad (5.7)$$

$$\text{- escala de vazões } Q_m/Q_p = L_r^{5/2} \quad (5.8)$$

$$\text{- escala de tempo } t_m/t_p = L_r^{1/2} \quad (5.9)$$

- Número de Reynolds – Re

$$Re = \frac{\text{forças de inércia}}{\text{forças de viscosidade}}$$

$$Re = \frac{\rho L^2 U^2}{\mu L U} = \frac{\rho L U}{\mu} \quad (5.10)$$

Da igualdade dos números de Froude e Reynolds entre modelo e protótipo tem-se:

$$\frac{U_r}{(g_r L_r)^{1/2}} = \frac{\rho_r L_r U_r}{\mu_r} \quad (5.11)$$

Considerando que o protótipo e o modelo sejam afetados pelo mesmo campo gravitacional terrestre ($g_r=1$), a relação entre as viscosidades dinâmica e a massa específica deveria ser:

$$\frac{\mu_r}{\rho_r} = L_r^{3/2} \quad (5.12)$$

O atendimento da equação 5.12 fica facilitado se for possível a utilização de fluidos de propriedades físicas (μ e ρ) diferentes. Todavia, por razões de segurança, economia e também praticidade, a água é o fluido mais indicado para uso desse tipo de pesquisa. Assim, caso fossem adotados para o modelo e o protótipo o mesmo fluido, em condições iguais de temperatura e pressão, seria necessário um modelo na escala 1:1, tornando-o, na maioria das vezes, impraticável. Neste caso, a relaxação do critério de semelhança que consiste em se desconsiderar o efeito de algumas forças envolvidas no fenômeno pode ser a solução para o problema. Segundo Souza *et al.* (1989), isso acontece normalmente nos modelos fluviais, em que as forças de viscosidade são desprezadas se os escoamentos no modelo e no protótipo forem turbulentos rugosos, ainda que os Números de Reynolds sejam diferentes. Essa é uma situação desejável nos modelos de escoamentos livres, pois facilita a análise do escoamento, visto que as forças atuantes são predominantemente as forças de inércia e gravitacional. Dessa

maneira, pode-se considerar o modelo e o protótipo semelhantes dinamicamente, se estes tiverem o mesmo número de Froude.

Outro tipo de esforço comum nos modelos hidráulicos reduzidos é a tensão superficial. Todavia, Segundo Souza *et al.* (1989), esse efeito pode ser desprezível ao se adotar modelos que não possibilitem lâminas d'água inferiores a 1,0 cm.

Observa-se portanto, que a relaxação deve ser justificada com base nas características peculiares do fenômeno. Contudo, as previsões extraídas do modelo poderão ser afetadas do erro denominado efeito de escala.

Um dos objetivos do modelo físico nesta pesquisa é possibilitar a medida das grandezas envolvidas na equação 5.3. Todos os elementos dessa equação podem ser facilmente medidos no laboratório (Q , Q_0 , L , y_0 , I), com exceção do fator de atrito f , relacionado com a resistência do escoamento na sarjeta, que é influenciado pela rugosidade e pelo número de Reynolds. Este parâmetro pode ser determinado indiretamente pela equação 5.15, deduzida da equação universal de perda de carga (eq. 5.13), no caso de se ter escoamento permanente e uniforme e por conseguinte, a declividade do canal I igual a perda de carga unitária $\Delta h/L$, conforme demonstra-se a seguir:

$$\frac{\Delta h}{L} = \frac{f}{(4Rh)} \frac{U^2}{2g} \quad (5.13)$$

$$I = \frac{f}{(4Rh)} \frac{U^2}{2g}$$

$$U = \sqrt{8gRh} \cdot \sqrt{I/f} \quad (5.14)$$

$$f = I \cdot 8gRh / U^2 \quad (5.15)$$

sendo:

Δh : perda de carga, em metro;

Rh : raio hidráulico da sarjeta.

A equação universal de perda de carga também permite determinar a distorção, caso não seja possível obter para o modelo e para o protótipo o mesmo fator de atrito f . Assim, utilizando-se

da equação 5.14 para o modelo e para o protótipo e fazendo a razão membro a membro, obtém-se:

$$\frac{U_m}{U_p} = \left(\frac{Rh_m}{Rh_p} \right)^{1/2} \frac{\sqrt{I_m / f_m}}{\sqrt{I_p / f_p}} \quad (5.16)$$

Com base na igualdade dos números de Froude entre modelo e protótipo, as relações U_m/U_p e Rh_m/Rh_p correspondem, respectivamente a $L_r^{1/2}$ e L_r . Substituindo essas relações na equação 5.16, tem-se:

$$\sqrt{L_r} = \sqrt{L_r} \cdot \frac{\sqrt{I_m / f_m}}{\sqrt{I_p / f_p}}$$

$$\sqrt{I_m / f_m} = \sqrt{I_p / f_p} \quad (5.17)$$

A equação anterior indica que para se ter $I_m = I_p$ é necessário que as rugosidades sejam iguais para o modelo e para o protótipo, o que equivale a dizer que $f_m = f_p$. Caso isso não seja possível, uma distorção pode ser necessária, de maneira a se ter a igualdade da equação 5.17.

A equação 5.18 denominada Fórmula de Manning é bastante utilizada para os cálculos hidráulicos relativos a canais, segundo Baptista *et al.* (2003). A comparação desta equação com a (5.14) permite determinar a relação entre os coeficientes de rugosidade da equação universal f e o coeficiente de Manning n , para o caso de *escoamento turbulento rugoso*.

$$U = \frac{Rh^{2/3} I^{1/2}}{n} \quad (5.18)$$

$$f = \frac{8gn^2}{Rh^{1/3}} \quad (5.19)$$

Por meio da fórmula de Colebrook-White aplicada a canais com *escoamento turbulento rugoso* (eq. 5.20) é possível determinar a rugosidade equivalente k a partir do fator de atrito f e do raio hidráulico Rh . A equação 5.20 juntamente com a equação 5.19 permite obter a

equação 5.21 que fornece a relação do coeficiente de Manning n com a rugosidade equivalente k .

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left(\frac{k}{12Rh} \right) \quad (5.20)$$

$$n = \frac{k^{1/6}}{8\sqrt{g}} \quad (5.21)$$

A expressão 5.22 conhecida como critério de Rouse, define a condição de *escoamento turbulento rugoso* exigida no estabelecimento das equações 5.19 a 5.21. Este tipo de escoamento é de extrema importância nos modelos de escoamento livre, para que as forças de viscosidade possam ser desprezadas e se adote um modelo fundamentado na igualdade do número de Froude simplesmente, como no modelo utilizado no presente trabalho.

$$\frac{Re\sqrt{f}}{4Rh/k} \geq 200 \quad (5.22)$$

5.2 Hipóteses adotadas para o modelo

Diante das considerações teóricas e dos objetivos dessa pesquisa, apresentados anteriormente, no presente modelo serão adotados as seguintes hipóteses:

- Quanto ao escoamento na sarjeta:
 - permanente, em relação à variação no tempo;
 - uniforme, em relação ao espaço;
 - turbulento rugoso, em relação a influência da rugosidade;
- Quanto à semelhança dinâmica entre o modelo e o protótipo, incluindo sarjeta e boca-de-lobo, estas serão fundamentadas na igualdade dos números de Froude.

5.3 Material

Para medir as grandezas relacionadas à eficiência hidráulica da boca-de-lobo, representada pela equação 5.3, foi construído um modelo físico, na escala 1:3, no Centro de Pesquisas Hidráulicas – CPH da UFMG. Este modelo se baseou num protótipo correspondente a um trecho de rua com sarjeta padrão “B” da SUDECAP. Esta sarjeta tem duas declividades transversais, a primeira, adjacente ao meio fio, na faixa referente à sarjeta de concreto, tem

15% de declividade e a outra, com 3% refere-se à faixa da pista atingida pela lâmina d'água, conforme pode ser observado na Figura 4.4. Esta faixa tem largura máxima admissível de 1,67m, conforme SUDECAP (2004). Segundo a mesma fonte, admite-se coeficiente de Manning n de 0,015 para o cálculo das vazões. Próximo ao fim da sarjeta há uma boca de lobo, adaptável para os tipos listados a seguir:

- combinada padrão “B” da SUDECAP com abertura na guia, grelha em concreto e depressão na sarjeta;
- com grelha em concreto e depressão na sarjeta, sem abertura na guia;
- com grelha em concreto e abertura na guia, sem depressão na sarjeta;
- com grelha em concreto, sem depressão e sem abertura na guia;
- com abertura na guia, sem grelha e sem depressão na sarjeta.

O modelo é constituído de um canal de 6,0m de comprimento por 0,75m de largura, construído em compensado naval, revestido com fibra de vidro e pintado em cores distintas para simular a sarjeta e a parte da via pavimentada e num ponto próximo da extremidade jusante está inserida a boca-de-lobo.

Para a sua sustentação o canal se apoia numa estrutura metálica com sistema de fixação dotado de articulação para permitir a variação da declividade longitudinal sendo a altura de montante fixa e as alturas de jusante variáveis. Este sistema de articulação possibilita testes nas declividades longitudinais de 0,5, 5, 8, 11 e 14%. Na extremidade de montante do canal foi instalada uma caixa d'água feita com o mesmo material do modelo e que terá a função de homogeneização do fluxo. Na extremidade de jusante foi instalada uma coifa, executada com fibra de vidro resinada, cujo objetivo era direcionar o fluxo residual da sarjeta para a caixa de recirculação que a princípio seria uma caixa subterrânea.

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentadas a seguir mostram a fase inicial de construção do modelo que compreendeu os trabalhos de marcenaria executados no CPH. A Figura 5.3 mostra o modelo revestido com fibra de vidro e resina e também a pintura com cores que caracterizam a sarjeta e a pista. A Figura 5.4 mostra o modelo já assentado em sua estrutura de sustentação e articulação, tendo instalada também a caixa d'água na extremidade de montante do mesmo.



Figura 5.1 – Etapa inicial da construção do modelo

Fonte: própria



Figura 5.2 – Conclusão dos serviços de marcenaria

Fonte: própria



Figura 5.3 – Revestimento e pintura iniciais do modelo

Fonte: própria

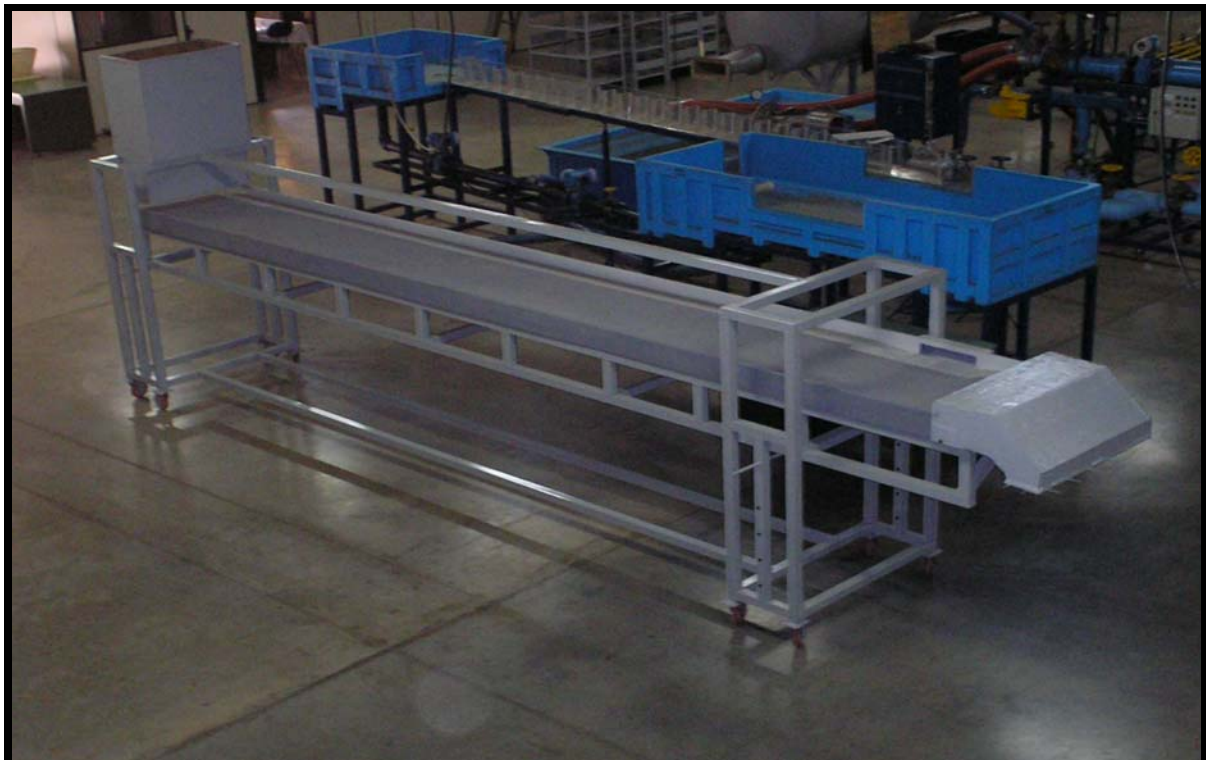


Figura 5.4 – modelo construído e assentado em estrutura de sustentação

Fonte: própria

5.3.1 Adequações do modelo

Com vistas às primeiras observações do seu comportamento quando submetido à presença de água o modelo foi provisoriamente conectado a um módulo de bombeamento existente no CPH. O módulo em questão é dotado de duas bombas centrífugas que isoladamente podem produzir vazões de até 20 l/s e associadas em paralelo produzem até 35 l/s. Este sistema é dotado também de inversor de frequência permitindo assim funcionar desde pequenas vazões até o limite de 35 l/s. A conexão entre o modelo e o módulo de bombeamento se fez com o emprego de um mangote de 100 mm ligado na parte posterior da caixa de homogeneização do fluxo. Para possibilitar a recirculação da água no sistema a parte de jusante do modelo foi posicionada sobre um tanque de aproximadamente 4000 litros do qual ocorre a sucção das bombas. Assim, da vazão fornecida ao modelo, a parte captada pela boca-de-lobo retorna ao tanque após passar por um canal no qual é feita a sua medição. A parte não captada retorna diretamente ao tanque. Com o sistema em funcionamento foi possível detectar pequenos vazamentos, turbulência na entrada da água e ao longo do canal e baixa rugosidade da superfície da sarjeta. Para possibilitar a continuidade da pesquisa foram necessários alguns ajustes no modelo para a correção dos problemas detectados.

5.3.1.1. Correção de vazamentos e redução da turbulência

Como forma de eliminar os vazamentos existentes na extremidade de montante do modelo e ao mesmo tempo reduzir ao máximo o turbilhonamento ocorrido, provavelmente em decorrência da forma de entrada da água, foram definidas as seguintes medidas:

- Instalação de uma proteção lateral para a elevação do trecho inicial do canal sob a caixa d'água. Esta proteção foi executada com o próprio material utilizado na construção do canal e foi igualmente revestida com fibra de vidro e resina;
- Instalação de um anteparo em isopor, articulado e preso na própria estrutura de sustentação do modelo para funcionar como um dispositivo para redução de bolhas.

A Figura 5.5 mostra as adaptações feitas no modelo para corrigir os vazamentos e minimizar os efeitos da turbulência. Já as Figuras 5.6 e 5.7 mostram, respectivamente, os aspectos do fluxo no modelo antes e depois de feitas estas adaptações.

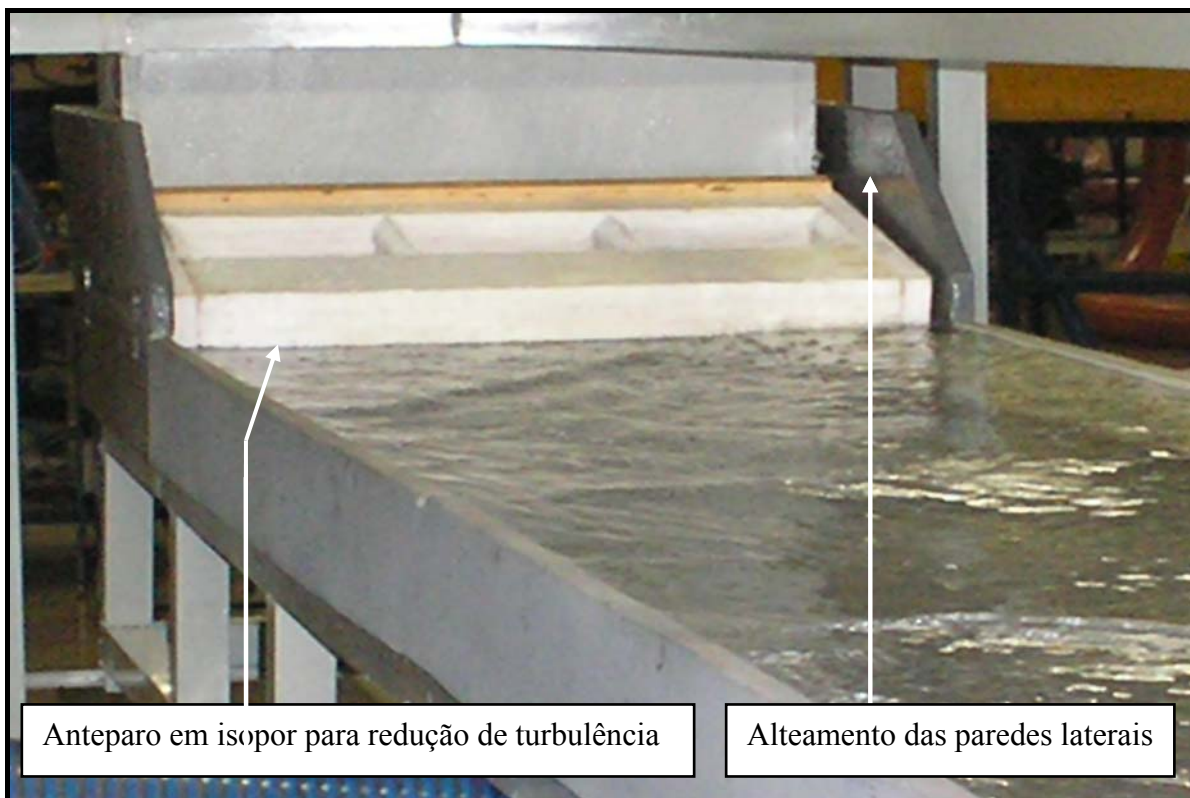


Figura 5.5 – Adaptações no modelo para correção de vazamentos e turbulências

Fonte: própria



Figura 5.6 – Aspectos do escoamento no modelo antes das adaptações

Fonte: própria



Figura 5.7 – Aspectos do escoamento no modelo após as adaptações

Fonte: própria

Estas adequações reduziram consideravelmente os problemas de turbulência, conforme pode ser visto, comparando-se as Figuras 5.6 e 5.7. Contudo, após algumas medidas para avaliação do tipo de escoamento pelo critério de Rouse (eq. 5.22) observou-se que a superfície estava excessivamente lisa ($n = 0,0083$), sendo necessárias novas medidas para se obter o aumento da rugosidade e consequentemente alcançar o escoamento turbulento rugoso.

5.3.1.2 Verificação do tipo de escoamento predominante nas sarjetas

Para investigar o tipo de escoamento predominante nas sarjetas das ruas de Belo Horizonte foi feito um levantamento de campo nas ruas Tomé de Souza, esquina com rua Maranhão e rua Bernardo Guimarães, esquina com rua Sergipe. A primeira com revestimento em concreto asfáltico e a segunda em paralelepípedo. O levantamento contou com o apoio de membros do Corpo de Bombeiros que abriram os hidrantes existentes nos locais da pesquisa e determinaram as vazões dos fluxos lançados nas sarjetas com o emprego do tubo de Pitot. Foram medidas as lâminas d'água para os três valores de vazão lançados em cada rua, sendo as características geométricas das sarjetas e a declividades longitudinais das ruas definidas topograficamente. Em seguida foram calculados os parâmetros hidráulicos conforme consta das Tabelas 5.1 e 5.2. Os pares de valores ($Re \sqrt{f} x f$) de cada vazão testada foram plotados no

Diagrama de Rouse e ficaram todos posicionados na região do escoamento turbulento rugoso, conforme mostra a Figura 5.8.

Tabela 5.1 – Parâmetros para a definição do tipo de escoamento ocorrido na sarjeta – rua T. Souza – declividade transversal = 10% e longitudinal = 14%

| Rua | Vazão | Lâmina d'água | Raio hidráulico | Velocidade | No. de Reynolds | Fator de atrito | No. de Rouse |
|-------------------------|-------|---------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|--------------|
| | (l/s) | (m) | (m) | (m/s) | Re | f | $Re\sqrt{f}$ |
| Tomé de Souza (asfalto) | 24 | 0,45 | 0,0204 | 2,40 | 182692 | 0,0396 | 36344 |
| | 31 | 0,55 | 0,0249 | 2,10 | 192971 | 0,0648 | 49108 |
| | 44 | 0,66 | 0,0299 | 2,00 | 227419 | 0,0806 | 64555 |

Tabela 5.2 – Parâmetros para a definição do tipo de escoamento ocorrido na sarjeta – rua B. Guimarães – declividade transversal variável e longitudinal = 9%

| Rua | Vazão | Lâmina d'água | Raio hidráulico | Velocidade | No. de Reynolds | Fator de atrito | No. de Rouse |
|-------------------------------|-------|---------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|--------------|
| | (l/s) | (m) | (m) | (m/s) | Re | f | $Re\sqrt{f}$ |
| B. Guimarães (paralelepípedo) | 28 | 0,70 | 0,0301 | 1,26 | 143007 | 0,2092 | 65409 |
| | 46 | 0,75 | 0,0300 | 1,96 | 221451 | 0,0854 | 64715 |
| | 50 | 0,83 | 0,0335 | 1,72 | 216539 | 0,1247 | 76466 |

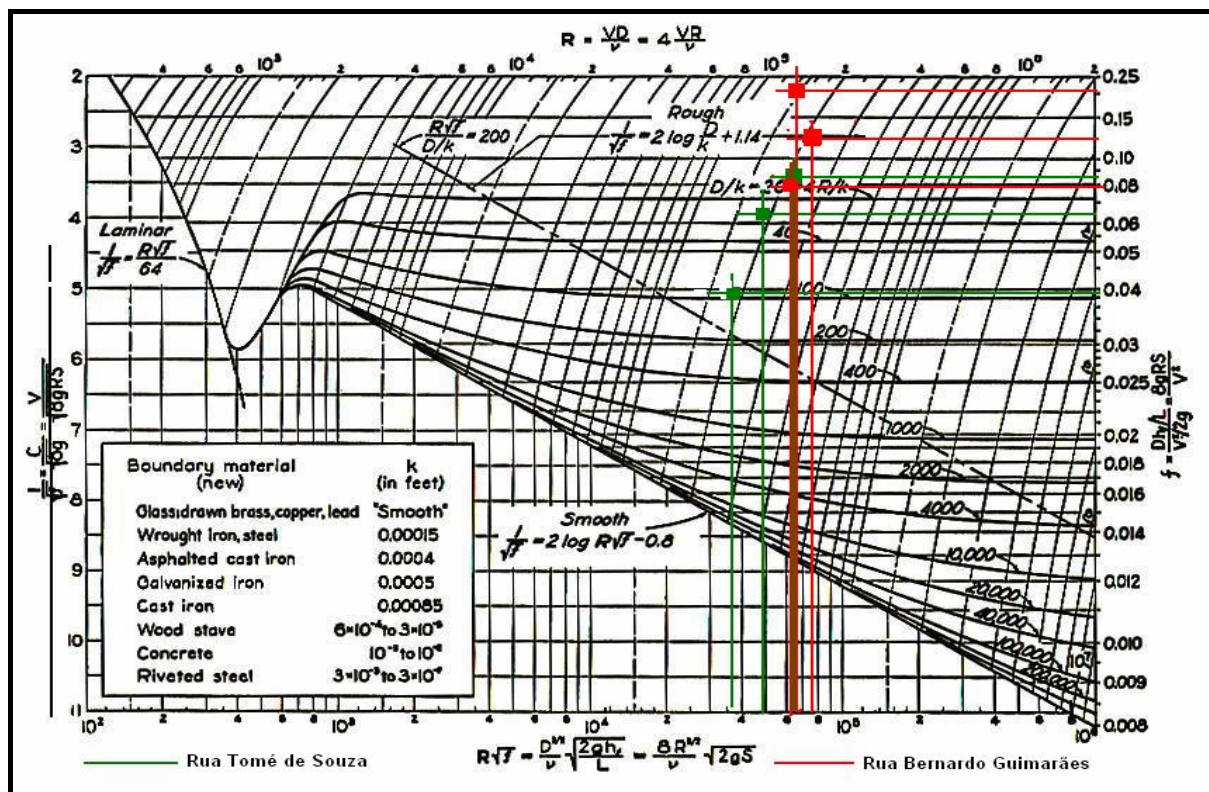


Figura 5.8 – Diagrama de Rouse – dados da rugosidade das ruas pesquisadas

Fonte : Rouse (1978)

5.3.1.3. Calibração da rugosidade da superfície do modelo

Visando aumentar a rugosidade da superfície do modelo, fez-se o seu revestimento com uma camada de 4mm de argamassa, sobre a qual foi espalhada e prensada areia graduada por peneiramento, com 100% dos grãos passando na peneira 10 e 100% retidos na peneira 16 (aberturas das malhas tendo, respectivamente, 2 e 1,2mm, segundo a classificação da ABNT).

Novo teste foi realizado com o modelo posicionado para a declividade de 0,5% e a vazão aproximada de 1,8 l/s. Foi determinada a largura média superficial da lâmina d'água a partir de medições da largura de quatro seções, espaçadas de 0,5m uma da outra e consideradas de jusante para a montante, estando a primeira delas posicionada a 0,60m do início da depressão. Determinou-se a seção molhada e o raio hidráulico e com o emprego das equações da continuidade e de Manning chegou-se aos valores da velocidade e do coeficiente de rugosidade de Manning para o novo revestimento da ordem de 0,0093. Todavia, os valores assim obtidos também não permitiram o escoamento turbulento rugoso.

Como nova medida para aumento da rugosidade definiu-se pela colagem de pedras sobre a argamassa assentada na fase anterior, usando uma densidade média de 32 pedras a cada dez centímetros quadrados. Neste revestimento, feito manualmente, foram usadas pedras de aquário com diâmetro aproximado de 4mm, coladas com cola de secagem rápida. A área revestida compreendeu toda a extensão longitudinal do canal e 0,65m no sentido transversal.

As Figuras 5.9 e 5.10, apresentadas a diante, mostram detalhes da execução deste revestimento, enquanto que a Figura 5.11 mostra o aspecto do revestimento concluído e já em funcionamento.

Concluído o revestimento com pedras, novos testes foram feitos com os mesmos critérios empregados para a superfície revestida com argamassa e areia graduada. Os resultados encontrados para a rugosidade deste novo revestimento, mostrados no capítulo específico, podem ser considerados como satisfatórios.



Figura 5.9 – Execução do revestimento final da superfície do modelo

Fonte: própria



Figura 5.10 – Execução do revestimento final da superfície do modelo

Fonte: própria



Figura 5.11 – Aspectos do revestimento final da superfície do modelo

Fonte: própria

5.4 Método

O método empregado para a medição da captação da boca-de-lobo parte da definição de valores de vazão compreendidos em uma faixa de eficiência pré-estabelecida. O limite mínimo de eficiência está relacionado com a vazão correspondente à largura máxima admissível para o espelho d'água superficial igual a 0,56m no modelo, que corresponde aproximadamente no protótipo a largura de 1,67m. A partir desse ponto, diminui-se gradualmente os valores das vazões de teste até atingir um valor de eficiência de 100%, ou próximo disso. O modelo foi testado com os valores de vazão assim definidos, para as declividades longitudinais de 0,5%, 5%, 8%, 11% e 14%. Os testes foram feitos com a alternância dos três tipos de grelha, sendo a grelha 1 uma reprodução do padrão de grelha adotado pela SUDECAP e as grelhas 2 e 3 novas configurações propostas como tentativa de ganho de eficiência. As diversas situações de testes previstas estão relacionadas a seguir:

- Boca-de-lobo com depressão na sarjeta:
 - Boca-de-lobo sem abertura na guia e com grelha 1;
 - Boca-de-lobo sem abertura na guia e com grelha 3;

- Boca-de-lobo com abertura na guia e grelha 1;
- Boca-de-lobo com abertura na guia e grelha 3.
- Boca-de-lobo sem depressão na sarjeta:
 - Boca-de-lobo com abertura na guia e sem grelha;
 - Boca-de-lobo com abertura na guia e grelha 1;
 - Boca-de-lobo com abertura na guia e grelha 2;
 - Boca-de-lobo com abertura na guia e grelha 3;
 - Boca-de-lobo sem abertura na guia e grelha 1;
 - Boca-de-lobo sem abertura na guia e grelha 3.

A Figura 5.12, apresentada abaixo, mostra os aspectos geométricos dos três tipos de grelhas utilizadas na pesquisa. Por ela é possível observar que foram mantidas as espessuras e o espaçamento entre as barras das grelhas.

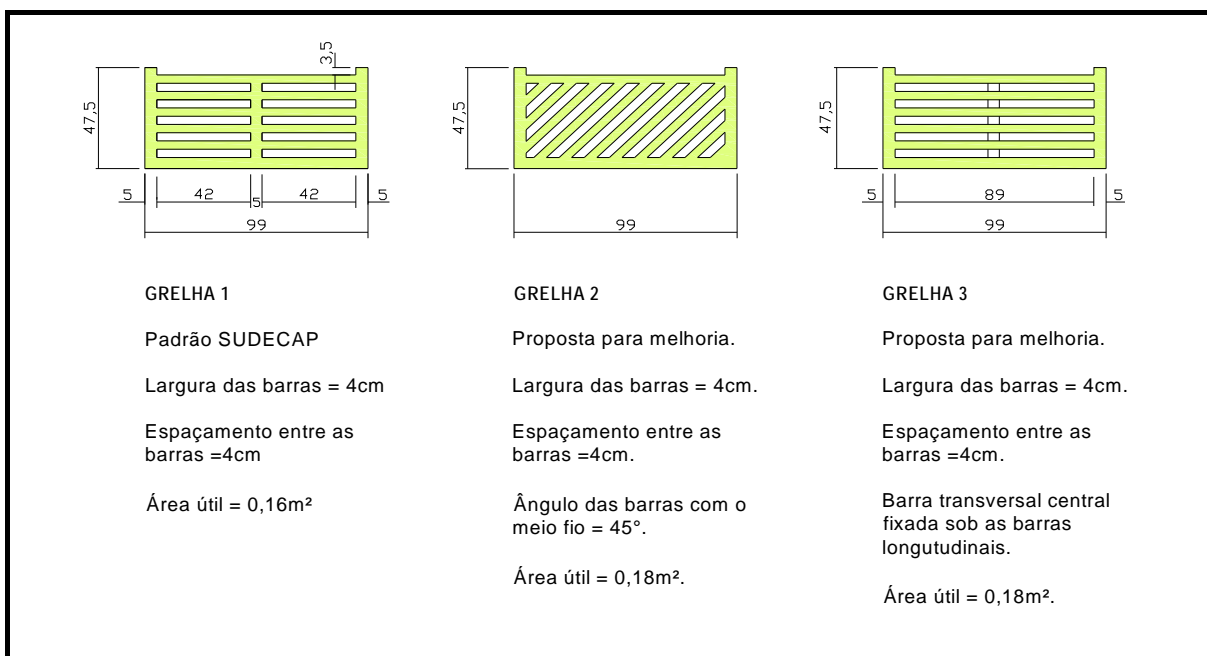


Figura 5.12 – Características das grelhas testadas

Fonte: própria

5.4.1 Processo para a medição de vazões captadas pela boca-de-lobo

A Figura 5.13, apresentada a seguir, mostra de forma esquemática o arranjo final do modelo conectado ao módulo de bombeamento e ao canal de saída para o vertedouro triangular.

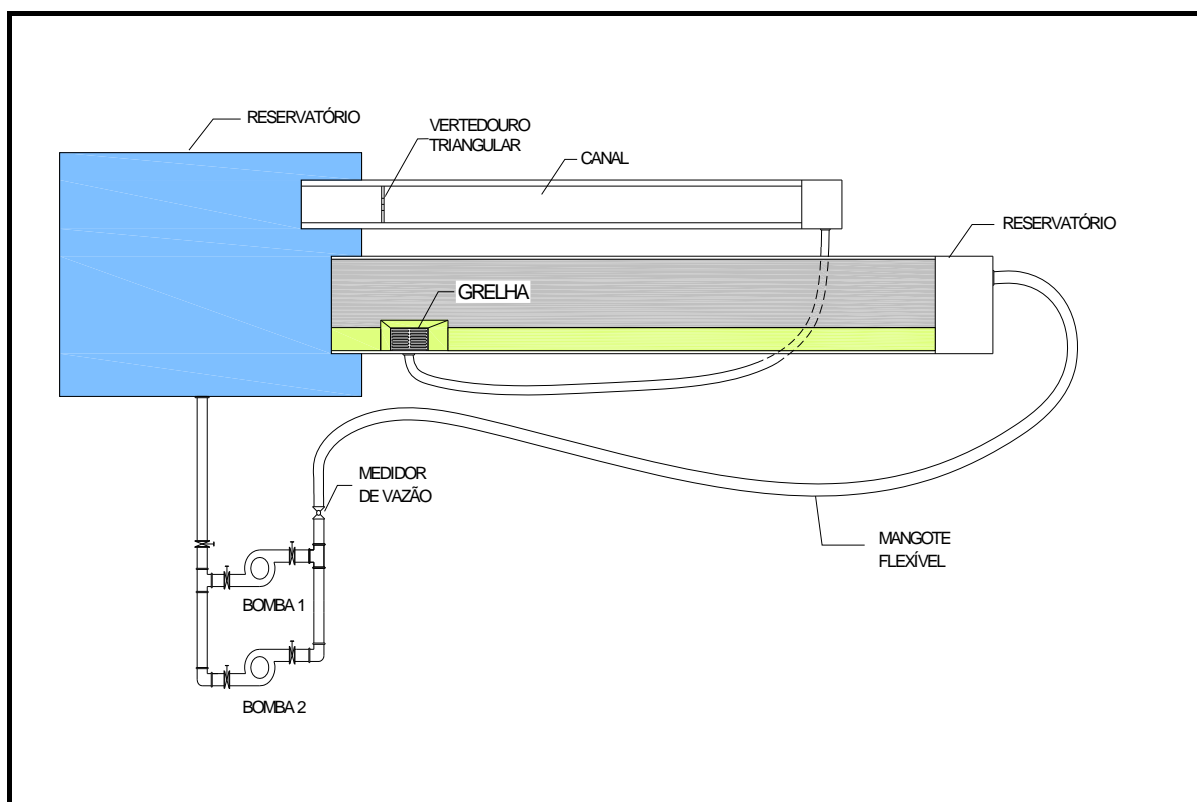


Figura 5.13 – Arranjo do modelo com o módulo de bombeamento e acessórios

Fonte: própria

Tendo em vista os objetivos propostos pela pesquisa e o material disponível, é apresentada a seguir a sequência observada para a obtenção dos dados de laboratório:

- Vazão Afluente

A vazão de entrada do sistema, Q_0 é determinada diretamente através de leitura no medidor eletromagnético instalado no módulo de bombeamento. O módulo dispõe também de inversor de frequência através do qual pode-se calibrar os valores das vazões lançadas no sistema, respeitando-se os limites de capacidades das bombas.

- Vazão captada

A água captada pela boca-de-lobo é conduzida a um canal de madeira com largura de 0,30m, altura de 0,40m e comprimento de 3,00m, instalado ao lado e paralelamente ao modelo. No fim do canal o escoamento retorna ao tanque de abastecimento, após passar por um

vertedouro triangular de acrílico, utilizado por Coelho (2003) em sua pesquisa sobre comportamento hidráulico em confluência de canais, conforme mostrado na Figura 5.14.

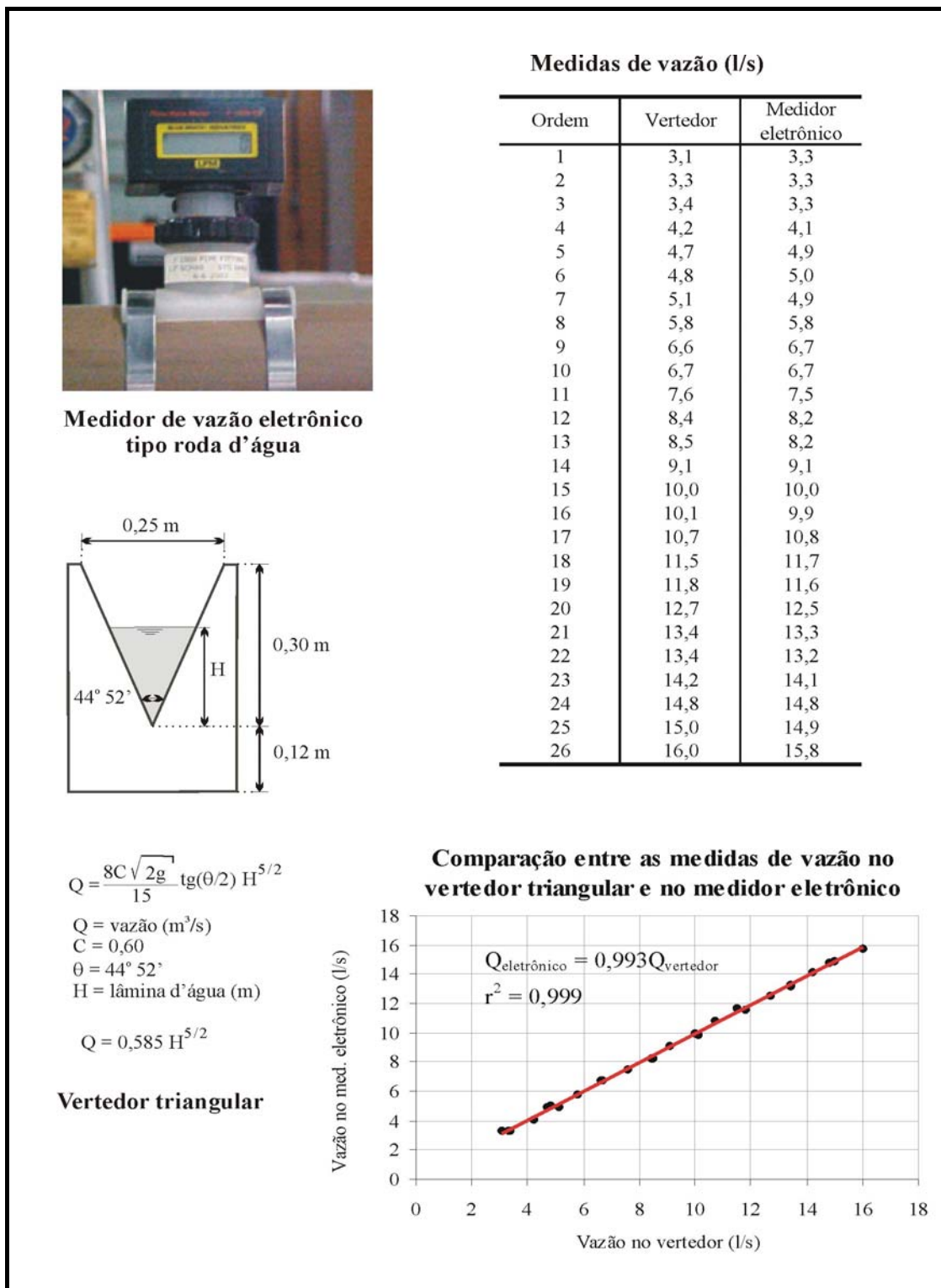


Figura 5.14 – vertedouro triangular de acrílico e medidor eletrônico de vazões, com dados comparativos de vazões obtidas pelos dois processos.

Fonte: Coelho (2003)

Na pesquisa citada, o vertedouro triangular cujo ângulo central é de 44° 52' foi calibrado para a equação:

$$Q = 0,585H^{5/2} \quad (5.23)$$

em que,

Q : vazão captada, em m^3/s ;

H : altura da lâmina d'água, em metros. Esta medida é obtida por meio de régua limnimétrica com precisão de 0,1mm.

Na mesma pesquisa foram feitas as comparações de vazões medidas pelo vertedouro triangular e um medidor de vazões eletrônico tipo roda d'água e desta comparação chegou-se à seguinte relação: $Q_{\text{eletrônico}} = 0,993Q_{\text{vertedouro}}$.

- Vazão não captada pela boca-de-lobo

A vazão não captada pela boca-de-lobo é lançada livremente no tanque de recirculação d'água. A princípio esta parcela da vazão é definida subtraindo-se da vazão de entrada, Q_0 , a vazão captada, Q .

5.4.2 Medidas antecedentes às medições

Precedendo as medições definitivas foram feitos ajustes da planta como um todo. Entre estes ajustes estava a calibração do vertedouro triangular para certificar-se de que o seu funcionamento ocorria conforme o previsto. O procedimento para esta calibração consistiu em lançar no modelo valores de vazões para os quais a eficiência de captação da boca-de-lobo era garantidamente 100%. Media-se, então a vazão de entrada, Q_0 , pelo medidor eletromagnético e a vazão esgotada, Q , pelo vertedouro com o emprego da equação 5.23, para em seguida fazer a comparação entre os dois valores. Em alguns casos, este procedimento ocorreu também para vazões com eficiência inferior a 100%, sendo o valor da vazão não captada, q , determinado pelo processo volumétrico. Assim, a comparação passou a ser entre Q_0 e $Q + q$. Como parte das medidas preliminares ocorreu também:

- A observação visual do esgotamento total pelo ramal de saída da caixa do modelo, da água captada pela boca-de-lobo;

- Observação visual de possível formação de bolhas no mangote de ligação entre o módulo de bombeamento e a caixa de homogeneização do modelo com vistas a evitar uma oscilação excessiva no medidor de vazão eletromagnético;
- Instalação de um dispositivo para evitar a formação de bolhas no canal de saída da água no qual está posicionado o vertedouro triangular;
- Certificação do posicionamento da seção transversal do modelo na horizontal, quando das mudanças das declividades longitudinais;
- Observação do tempo necessário para a leitura de dados após mudança nos valores de vazão de entrada Q_0 ;

5.4.3 Determinação dos parâmetros hidráulicos da sarjeta.

Os parâmetros hidráulicos da sarjeta nas seções imediatamente a montante da boca-de-lobo foram obtidos a partir da medição da largura superficial da lâmina d'água em cinco seções transversais espaçadas de 0,50m uma da outra, a primeira delas situando-se 0,60m a montante da boca-de-lobo. Neste trecho, devido às características do escoamento, pôde-se admitir a ocorrência do escoamento uniforme.

Com as larguras superficiais do fluxo T medidas e com a média desses valores, calculou-se a altura da lâmina d'água na guia y_0 e a seção molhada do escoamento A_0 . Sendo a vazão Q_0 conhecida, determinou-se a velocidade média do escoamento U_0 por meio da equação da continuidade. A Figura 5.15 mostra a seção transversal da sarjeta do modelo e os parâmetros considerados na determinação da capacidade da mesma. As equações empregadas na determinação destes parâmetros são apresentadas em seguida.

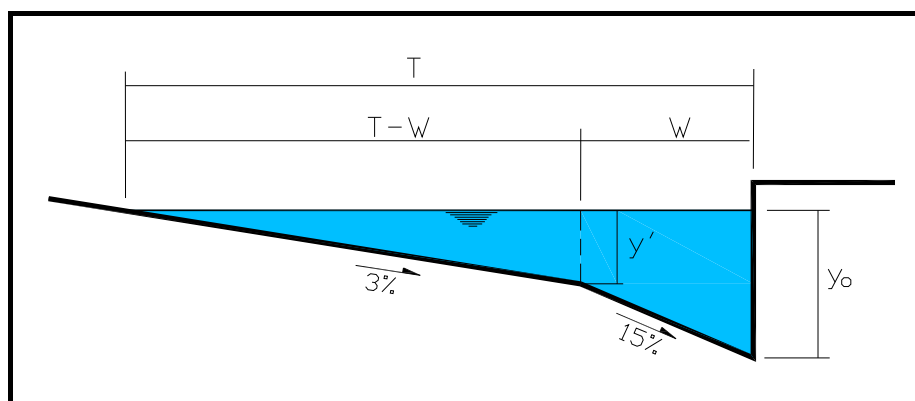


Figura 5.15 – seção transversal tipo da sarjeta do modelo

$$y' = (T - W).0,03 \quad (5.24)$$

$$y_0 = y' + (W. 0,15) \quad (5.25)$$

$$A_0 = \left(\frac{y' + y_0}{2} \right).W + 0,5.(T - W).y' \quad (5.26)$$

$$U_0 = \frac{Q_0}{A_0} \quad (5.27)$$

6. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados. Primeiramente serão tratados os dados referentes à calibração da rugosidade do modelo após os diversos tipos de revestimento aplicados em sua superfície. Serão também analisados os dados referentes à capacidade da sarjeta padrão SUDECAP. Finalmente, serão apresentados e analisados os gráficos com os resultados dos testes realizados com os diversos tipos de bocas-de-lobo pesquisados, com ênfase a aqueles padronizados pela SUDECAP. As planilhas com os dados referentes a estes gráficos estão apresentadas como apêndices.

6.1 Calibração da rugosidade do modelo

As alterações processadas na superfície através de mudanças no seu revestimento conforme descrito no item 5.3.1.3 foram seguidas de testes para a determinação dos coeficientes de rugosidade de Manning e também do valor da rugosidade equivalente. Estes testes mostraram um aumento gradativo nos valores destes coeficientes como mostra a Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Valores médios de rugosidade para os vários revestimentos do modelo

| Revestimento da superfície do modelo | Rugosidade de Manning <i>n</i> | Rugosidade equivalente <i>k</i> |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|
| Superfície lisa com revestimento de fibra de vidro e pintura(Fig. 5.3). | 0,0083 | 0,00008 |
| Superfície revestida com argamassa e areia graduada (Fig. 5.9 e 5.10). | 0,0093 | 0,00016 |
| Superfície revestida com pedras sobre a base de argamassa (Fig. 5.9 e 5.10). | 0,0118 | 0,00067 |

A Tabela 6.2 mostra, por sua vez, os resultados dos cálculos feitos para averiguar a rugosidade da superfície com o revestimento de pedra. Os testes com as vazões constantes da primeira coluna da tabela foram realizados com o modelo posicionado para a declividade longitudinal de 8%. Os resultados obtidos estão representados no Diagrama de Rouse mostrado na Figura 6.1 da qual pode-se observar que os pares de valores plotados, ($Re \sqrt{f} x f$) ficaram bem próximos da região que representa o escoamento turbulento rugoso, sendo válido admitir o atendimento ao Critério de Rouse.

Tabela 6.2 – Cálculos da calibração da rugosidade da sarjeta

| Vazão | Lâmina d'água | Raio hidráulico | Velocidade | Coef. de rugosidade | Rugosidade equivalente | Fator de atrito | No. de Reynolds | No. de Rouse | Crítério de Rouse |
|-------|---------------|-----------------|------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------------|
| (l/s) | (m) | (m) | (m/s) | n | k | f | Re | $Re\sqrt{f}$ | |
| 6,6 | 0,51 | 0,010026 | 1,16 | 0,011 | 0,00058 | 0,046 | 47036 | 10119 | 144 |
| 5,9 | 0,49 | 0,01007 | 1,12 | 0,012 | 0,00067 | 0,049 | 44528 | 9869 | 164 |
| 5,4 | 0,47 | 0,00991 | 1,07 | 0,012 | 0,00081 | 0,053 | 42055 | 9702 | 198 |
| 4,9 | 0,44 | 0,00965 | 1,07 | 0,012 | 0,00074 | 0,052 | 40792 | 9298 | 179 |
| 4,3 | 0,39 | 0,00935 | 1,10 | 0,011 | 0,00056 | 0,047 | 40578 | 8816 | 132 |
| 3,8 | 0,35 | 0,009195 | 1,08 | 0,012 | 0,00058 | 0,048 | 39214 | 8604 | 136 |
| 3,3 | 0,32 | 0,00913 | 1,02 | 0,012 | 0,00076 | 0,054 | 37027 | 8583 | 179 |

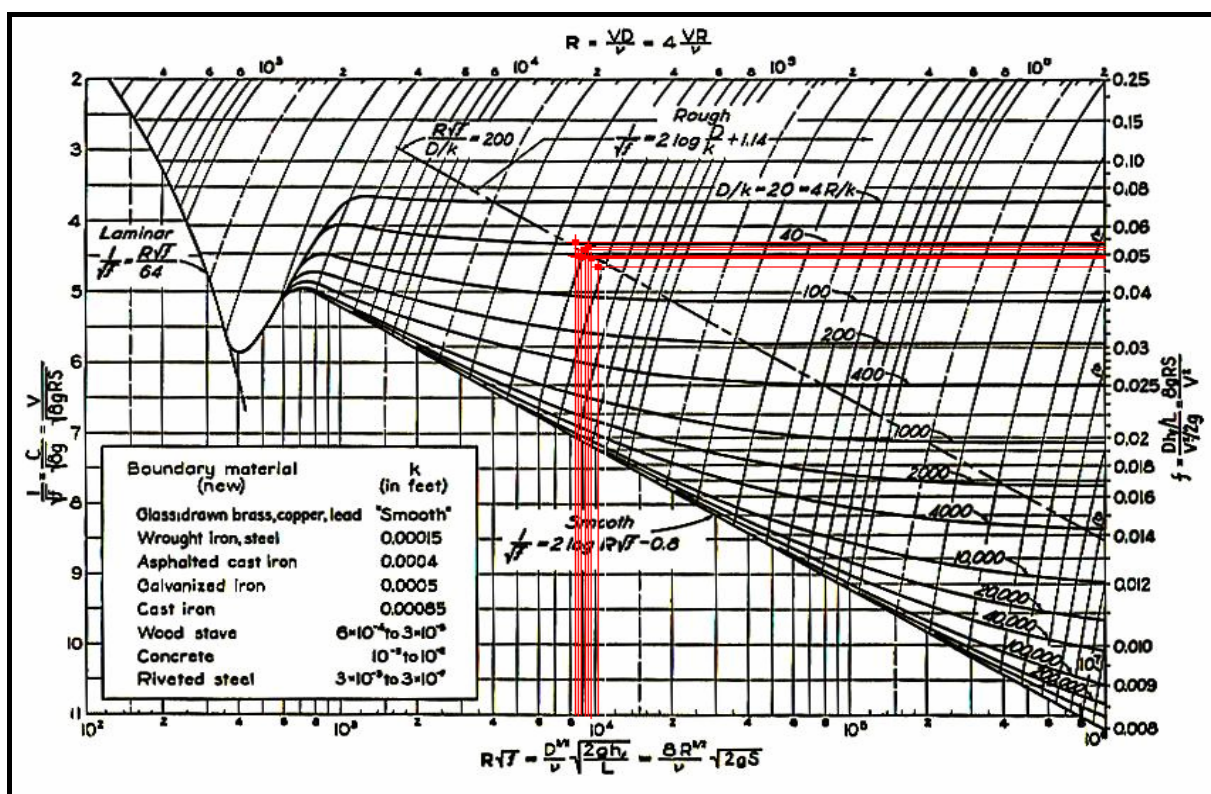


Figura 6.1 – Diagrama de Rouse – dados da nova rugosidade do modelo

Fonte : Rouse (1978)

Admitindo-se para o modelo o escoamento turbulento rugoso pode-se desconsiderar os efeitos da viscosidade sobre o mesmo e considerar o critério de semelhança dinâmica baseado na igualdade dos números de Froude entre modelo e protótipo. Assim, as razões de escala Lr podem ser obtidas com o emprego das equações 5.6 a 5.8, desde que preservadas as mesmas condições de temperatura e pressão, tanto no modelo quanto no protótipo.

6.2 Verificação da capacidade da sarjeta

A Tabela 4.2 revelou a existência de uma diferença entre os valores de capacidade da sarjeta padrão B da SUDECAP obtidos através da equação de Izzard (4.13) e a equação de Manning (5.18). Os valores de vazões e velocidades obtidos através da equação de Izzard e conforme o processo descrito em (4.3.3.4) são consideravelmente superiores aos valores obtidos com o emprego da equação de Manning. A Tabela 6.3, apresentada a seguir faz a comparação entre os valores médios obtidos pelos dois métodos citados e acrescenta os valores médios de velocidades medidos no modelo, os quais se apresentam bem próximos daqueles calculados pela equação de Manning.

Deve-se ressaltar que os valores constantes da Tabela 6.3 referem-se à sarjeta padrão B da SUDECAP, que em Belo Horizonte é empregada nas vias cuja faixa de declividade longitudinal varia de 0,5% a 16%, com o coeficiente de rugosidade de Manning admitido de 0,015, aplicável a toda superfície do perímetro molhado e tendo 1,67m como faixa de alagamento máxima.

Tabela 6.3 – Valores de vazões e velocidades, calculadas e testadas no modelo

| Declividade | Capacidade da sarjeta | | Capacidade da sarjeta | | Velocidade medida | |
|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------------|-------------|
| | Equação de Izzard | | Equação de Manning | | Modelo | Protótipo |
| I (m/m) | Qo (l/s) | Uo (m/s) | Qo (l/s) | Uo (m/s) | Qo (l/s) | Uo (m/s) |
| 0,005 | 39,04 | 0,69 | 27,08 | 0,48 | 0,28 | 0,46 |
| 0,050 | 123,47 | 2,17 | 85,62 | 1,51 | 0,92 | 1,51 |
| 0,080 | 156,17 | 2,75 | 108,30 | 1,91 | 1,14 | 1,87 |
| 0,110 | 183,13 | 3,22 | 126,99 | 2,23 | 1,38 | 2,26 |
| 0,140 | 206,60 | 3,64 | 143,27 | 2,52 | 1,43 | 2,34 |

Esta situação leva a crer que o padrão de sarjeta aqui focado e empregado em grande parte dos sistemas de drenagem implantados em Belo Horizonte e cidades vizinhas está subdimensionado, sendo solicitado com vazões superiores à sua real capacidade, se considerada a faixa de alagamento admitida de 1,67m. A solução deste problema requer adoção de comprimentos úteis menores para a sarjeta e conseqüentemente a implantação de um maior número de bocas-de-lobo.

A Figura 6.2 mostra um gráfico com os valores de velocidade obtidos pelas três formas citadas e confirma a proximidade existente entre os valores obtidos pela equação de Manning

com os valores medidos no modelo e transpostos para o protótipo através de semelhança hidráulica, já considerada a distorção havida entre os coeficiente de rugosidade n do modelo e do protótipo, que são 0,0118 e 0,015, respectivamente.

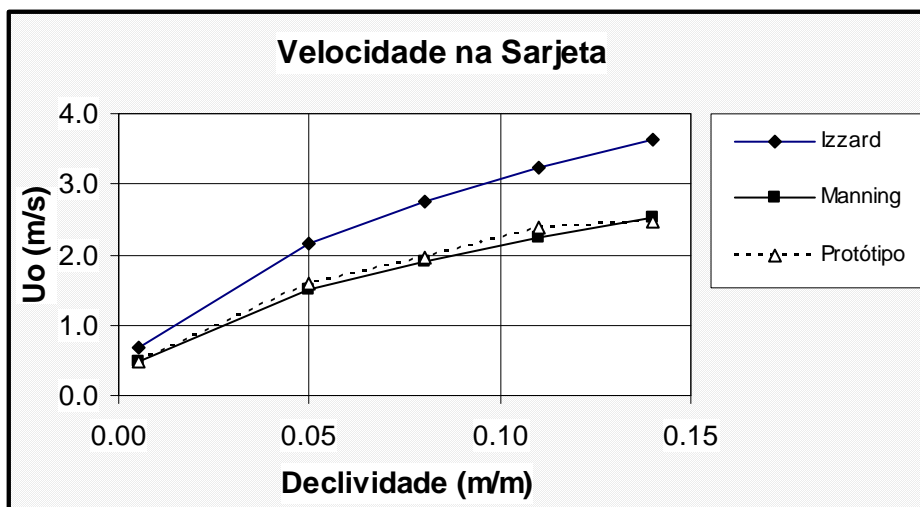


Figura 6.2 Valores de velocidades do escoamento na sarjeta Padrão B da SUDECAP

6.3 Verificação da capacidade de captação das bocas-de-lobo

Segundo Souza (1986) e Li *et al.* (1951), uma boca-de-lobo é, em última análise, um vertedouro de entrada lateral, cuja lei de captação é definida pela equação 4.1 e rerepresentada a seguir:

$$\frac{Q}{L} = k \cdot y_0^{1,5} \quad (6.1)$$

Q é a vazão captada na boca-de-lobo em m^3/s ;

L , a largura da abertura na guia em m;

y_0 , a profundidade imediatamente a montante da boca-de-lobo em m;

k , o fator que depende do coeficiente de descarga, da aceleração da gravidade e do ângulo da inclinação transversal θ da sarjeta e deverá ser determinado experimentalmente.

A hipótese de funcionamento como vertedouro será também utilizada para o cálculo da vazão captada na boca de lobo com grelha. Entretanto, neste caso será considerado um vertedor retangular de largura L , submetido à carga y_m , com a mesma lei dada em 6.1.

Para as bocas-de-lobo sem depressão e com grelha na sarjeta, a profundidade hidráulica é variável devido a inclinação transversal da sarjeta. Assim, a altura da lâmina d'água

considerada é y_m ($y_m = y_0 - 0,0125$), correspondente à média entre os valores y_0 (junto à guia) e a altura da lâmina d'água na outra extremidade, conforme a equação 6.2 mostrada abaixo.

$$\frac{Q}{L} = k \cdot y_m^{1,5} \quad (6.2)$$

6.3.1 Bocas-de-lobo padrão SUDECAP

A seguir são apresentados os gráficos com os resultados dos testes realizados com as bocas-de-lobo padronizadas pela SUDECAP a começar por aquelas sem depressão na sarjeta, com resultados mostrados nas Figuras 6.3, 6.5 e 6.6 Destaca-se ainda nestas figuras as equações relativas à vazão captada para as declividades estudadas de 5%, 8%, 11% e 14%. Para melhor esclarecimento é apresentada a seguir a identificação das bocas-de-lobo padronizadas pela SUDECAP, segundo a seqüência de testes feitas em laboratório:

- BL 1 boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, com abertura na guia e sem grelha
- BL 2 boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, com abertura na guia e com a grelha 1
- BL 3 boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, sem abertura na guia e com a grelha 1
- BL 4 boca-de-lobo com depressão na sarjeta, com abertura na guia e com a grelha 1
- BL 5 boca-de-lobo com depressão na sarjeta, sem abertura na guia e com a grelha 1

Embora tenham sido feitos testes com a declividade de 0,5% eles não serão objetos de análise devido ao fato de terem apresentado eficiência de 100% para todos os valores de vazão testados, dentro dos limites de alagamento pré estabelecidos. Dada a proximidade dos valores de k nas equações para as declividades entre 5% e 14% é possível admitir que a variação das declividades longitudinais tem pouca influência sobre a capacidade de captação das bocas-de-lobo. Por isso, é apresentada uma equação geral, utilizando o conjunto dos dados das equações apresentadas anteriormente.

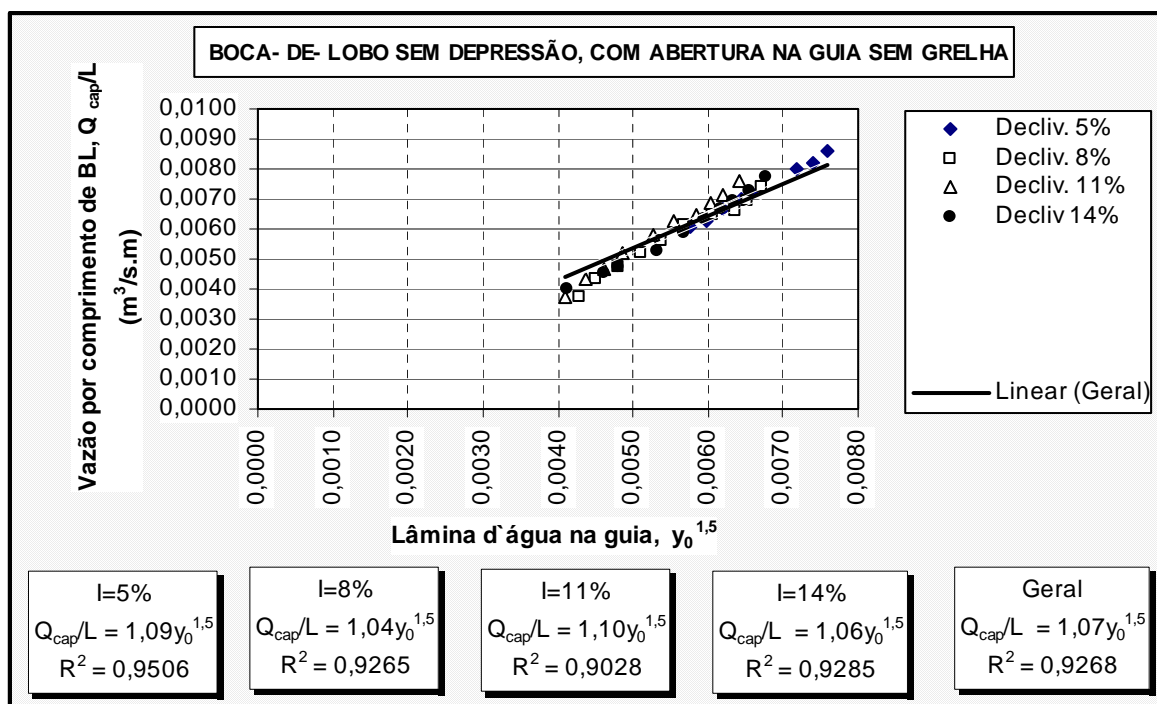


Figura 6.3 – Testes com boca-de-lobo sem depressão e abert. na guia – BL 1

Fazendo uma comparação dos resultados da BL 1 com um modelo semelhante pesquisado por Souza (1986), equivalente aos padrões de boca-de-lobo empregado na cidade de São Paulo observa-se que o modelo SUDECAP apresenta um coeficiente k superior em aproximadamente 62% ao modelo comparado, conforme mostra a Figura 6.4. Esta diferença pode ser creditada aos maiores valores da declividade transversal da sarjeta padrão SUDECAP e, também, à rugosidade da superfície do modelo aqui pesquisado.

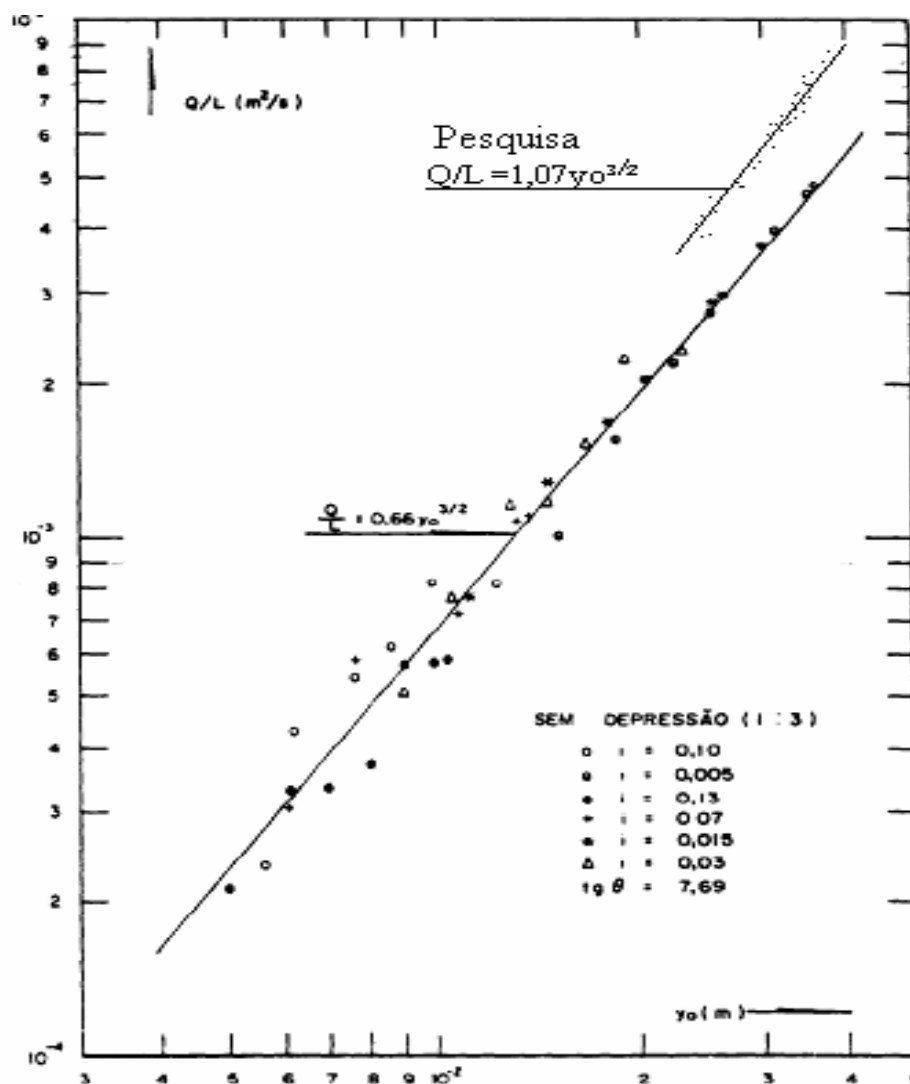


Figura 6.4 – Comparação entre o modelo SUDECAP e o modelo de Souza (1986)

Fonte: Adaptado de Souza (1986)

Os resultados dos testes feitos com a boca-de-lobo sem depressão, com abertura na guia e a grelha 1- BL 2, representados no gráfico da Figura 6.5, apresentaram um incremento na vazão da ordem de 150% com relação à boca-de-lobo com abertura na guia e sem grelha – BL 1, considerando-se a faixa de alagamento máxima.

Quando comparados os resultados da boca-de-lobo com abertura na guia e com a grelha 1- BL 2, com a boca-de-lobo sem abertura na guia e com a grelha 1- BL 3, confrontando-se os gráficos das Figura 6.5 e 6.6, observou-se nas equações mostradas pequena alteração nos valores do coeficiente (k). Este dado revela que a contribuição da abertura na guia na eficiência de uma boca-de-lobo combinada pode ser considerada desprezível. Isto está confirmado em CETESB (1986), onde se diz que em uma boca-de-lobo combinada, enquanto não houver obstrução na grelha, a abertura na guia pouco influi na sua capacidade.

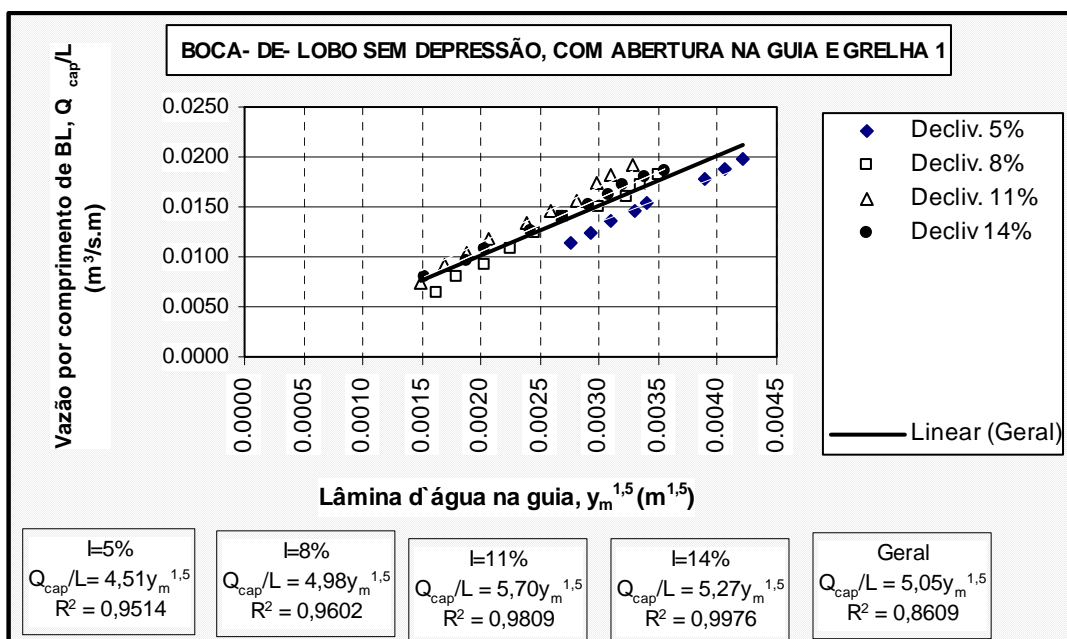


Figura 6.5– Testes com a boca de lobo s/ depressão c/ abertura na guia e grelha 1- BL 2

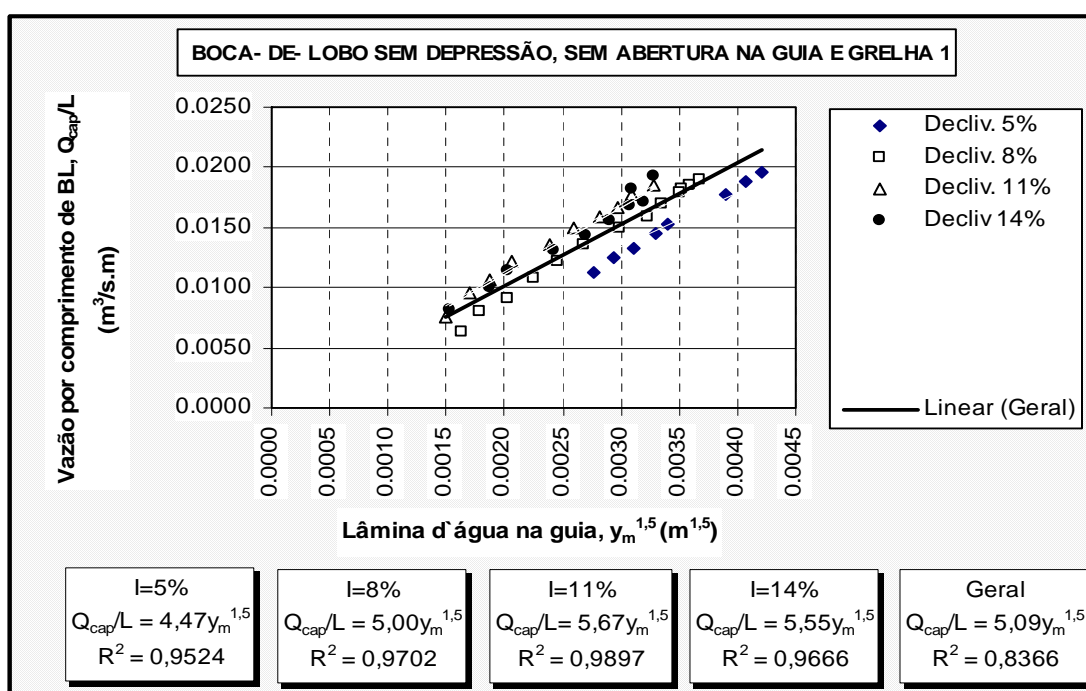


Figura 6.6 –Testes com a boca de lobo s/ depressão s/ abertura na guia e c/grelha 1- BL 3

Outro item pesquisado com relação aos padrões SUDECAP foi a influência da depressão na capacidade das bocas-de-lobo. Para tanto foram realizados testes com dois tipos de boca-de-lobo, começando pela boca-de-lobo combinada com a abertura na guia e a grelha 1 – BL 4, seguida pela boca-de-lobo sem abertura na guia e com a grelha 1 – BL 5, sendo ambas com depressão na sarjeta. Os testes realizados estão representados, respectivamente, nos gráficos das Figuras 6.7 e 6.8.

Para a boca-de-lobo combinada com depressão – BL 4 os testes mostraram um ganho máximo na capacidade de captação da ordem de 12% em relação à mesma boca-de-lobo porém sem a depressão na sarjeta – BL 2. Já na comparação entre as bocas-de-lobo, com depressão na sarjeta – BL 4 e BL 5 observa-se que a contribuição da abertura na guia na eficiência da boca-de-lobo combinada não chega a 2%.

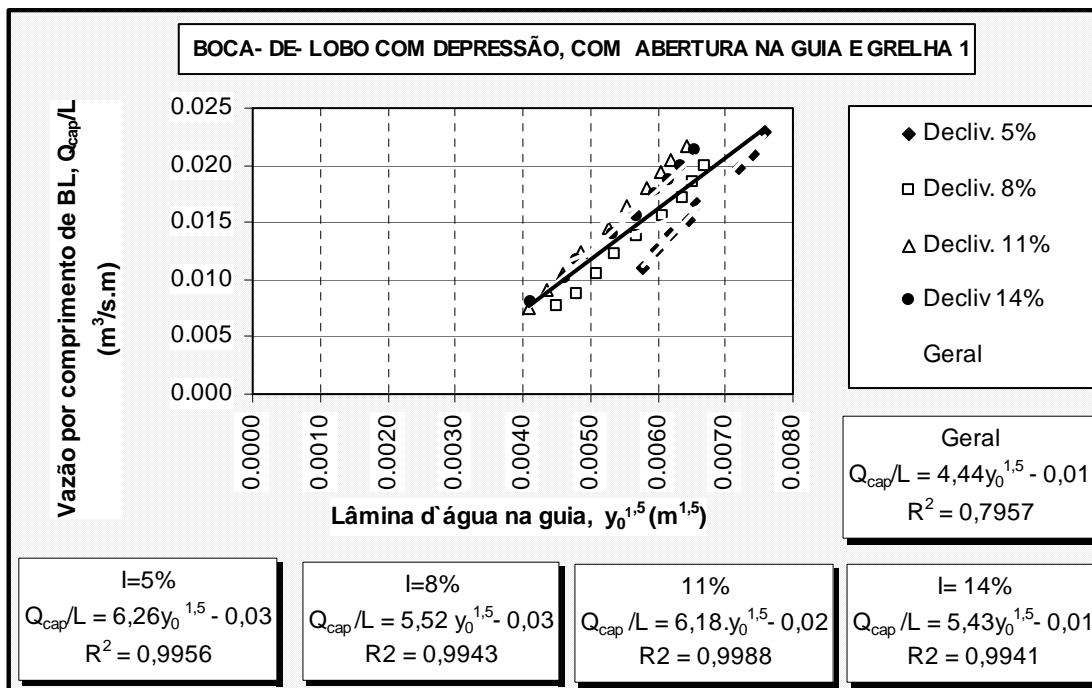


Figura 6.7 – Testes com boca-de-lobo c/ depressão, abertura na guia e grelha 1- BL 4

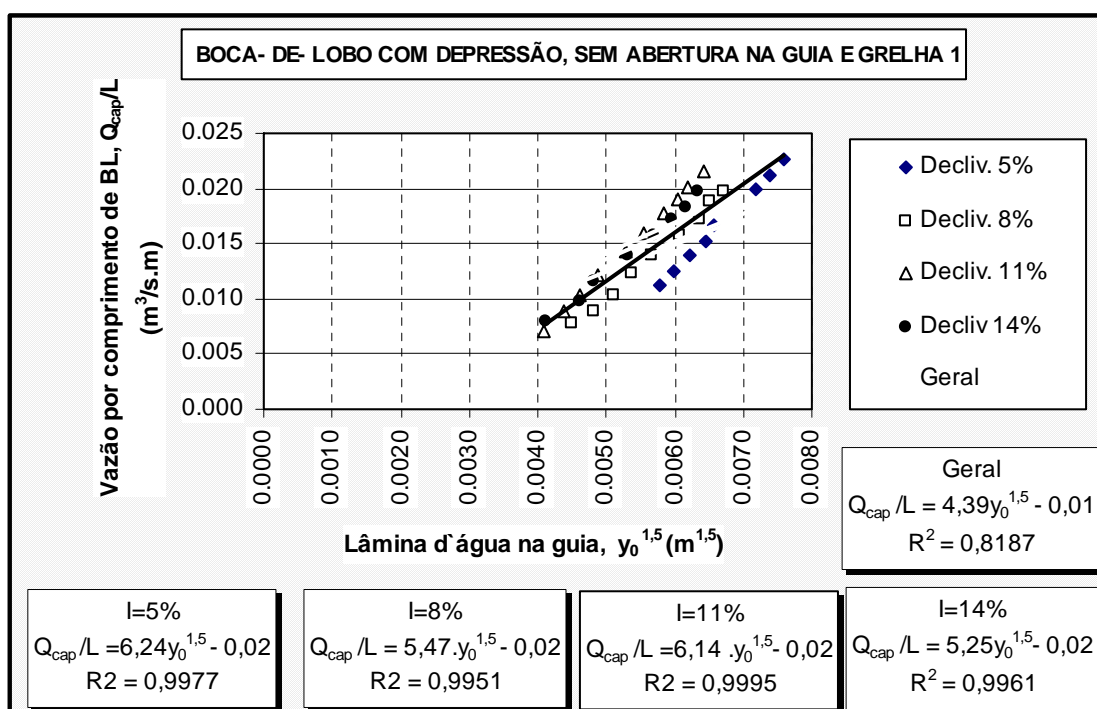


Figura 6.8 – Testes com a b. lobo c/ depressão s/ abertura na guia c/grelha 1- BL 5

6.3.2 Padrões de bocas-de-lobo propostas como alternativa de melhoria de eficiência

Como tentativa de obter melhoria no desempenho das bocas-de-lobo foram realizados testes com o emprego das grelhas 2 e 3 cujas configurações constam da Figura 6.9.

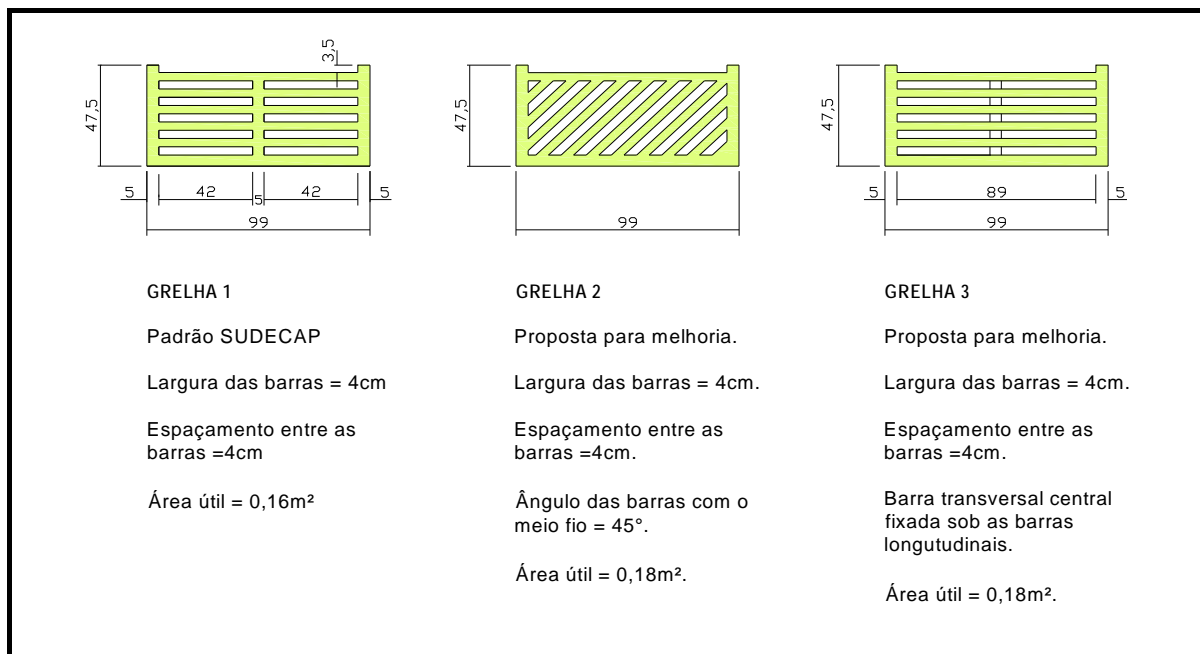


Figura 6.9 – Características geométricas das grelhas testadas

Fonte: própria

Para melhor esclarecimento é apresentada a seguir a identificação das bocas-de-lobo com grelhas alternativas segundo a seqüência de testes feitos em laboratório.

- BL 6 boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, com abertura na guia e com a grelha 2
- BL 7 boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, com abertura na guia e com a grelha 3
- BL 8 boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, sem abertura na guia e com a grelha 3
- BL 9 boca-de-lobo com depressão na sarjeta, com abertura na guia e com a grelha 3
- BL 10 boca-de-lobo com depressão na sarjeta, sem abertura na guia e com a grelha 3

A seqüência dos testes agora realizados começa com a boca-de-lobo sem depressão, com abertura na guia e a grelha 2 – BL 6, representada no gráfico da Figura 6.10. Os resultados desta boca-de-lobo quando, comparados com a boca-de-lobo semelhante, empregando a grelha 1 - BL 2, Figura 6.5, revelaram aumento praticamente nulo na capacidade de captação.

Já os resultados dos testes realizados com o emprego da grelha 3, sem depressão na sarjeta, com e sem abertura na guia – BL 7 e BL 8, respectivamente Figuras 6.11 e 6.12, quando

comparados com aqueles obtidos com o emprego da grelha 1- BL 2 e BL 3 ofereceram um ganho na capacidade de captação próximo de 10%. Comparando os resultados da boca-de-lobo com a grelha 3 com abertura na guia com a mesma boca-de-lobo sem abertura na guia e ambas sem depressão na sarjeta – BL 7 e BL 8 observa-se que, neste caso, a contribuição da abertura na guia na capacidade de captação não chega à casa dos 3%.

Finalmente, foram testadas as bocas-de-lobo com depressão na sarjeta, com e sem abertura na guia e o emprego da grelha 3 – BL 9 e BL 10 respectivamente, Figuras 6.13 e 6.14. Os testes para estes dois tipos de bocas-de-lobo mostraram um aumento na capacidade de captação da ordem de 10% com emprego da depressão. Já na boca-de-lobo combinada, a contribuição da abertura na guia ficou na faixa dos 5%.

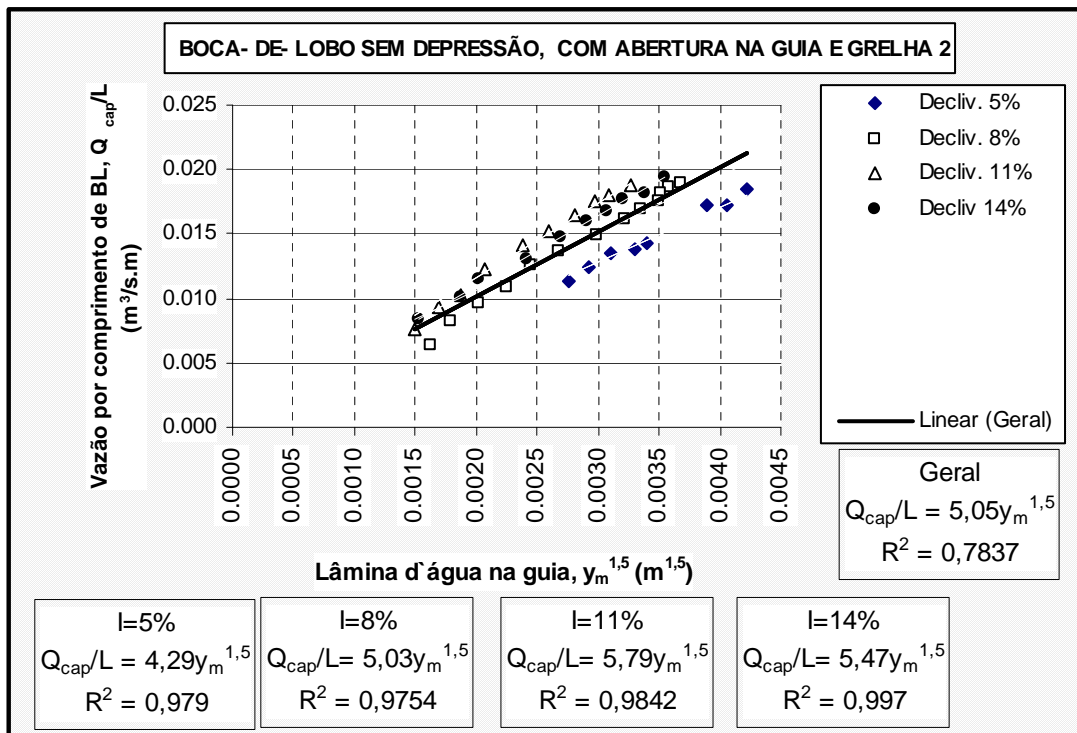


Figura 6.10 – Testes com b. lobo s/ depressão, c/ abertura na guia e grelha 2 – BL 6

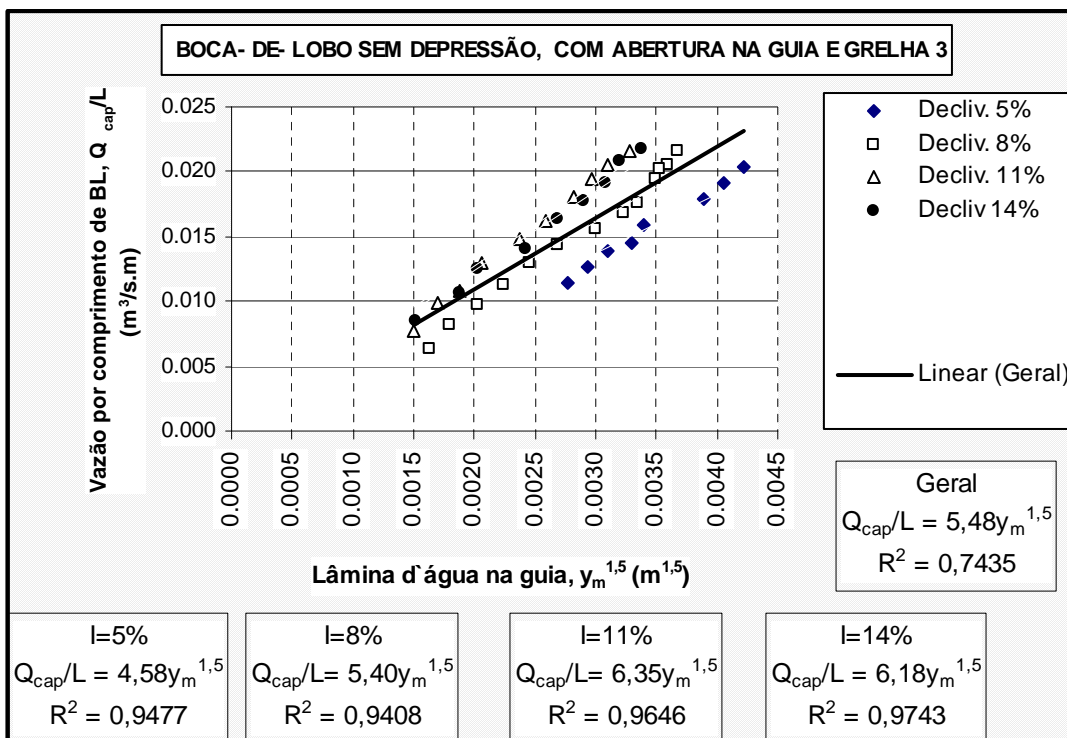


Figura 6.11– Testes com boca. lobo s/ depressão c/ abertura na guia e grelha 3 - BL 7

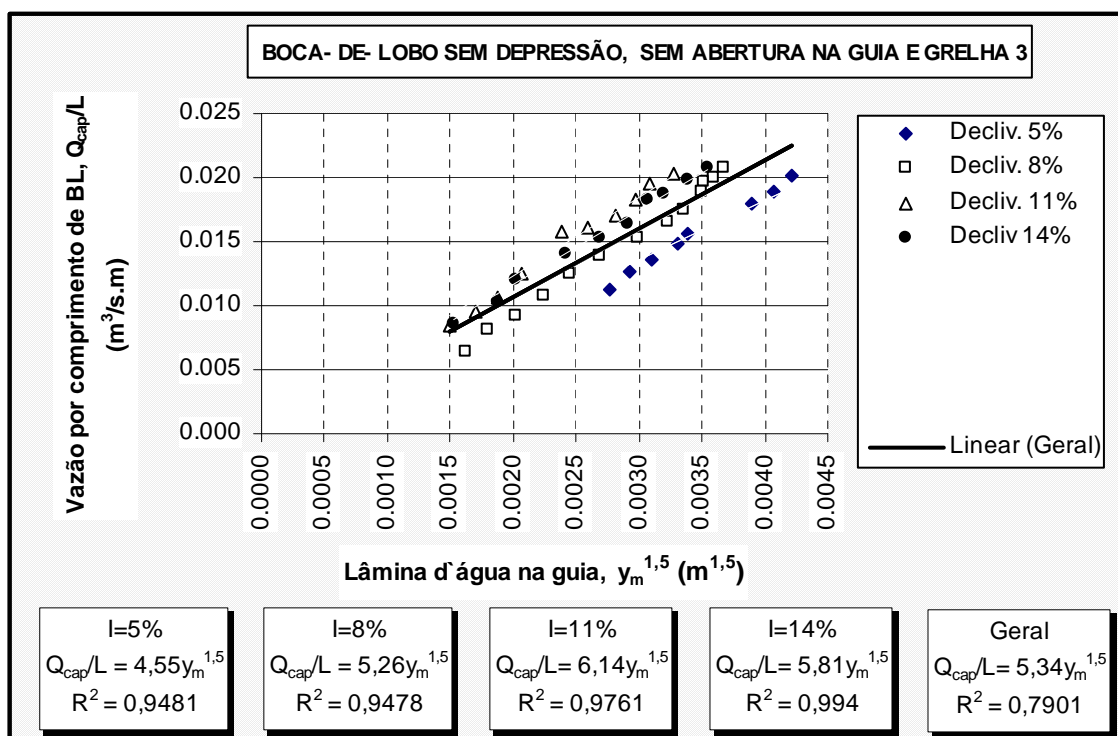


Figura 6.12– Testes com b. lobo s/ depressão, s/ abertura na guia e c/ grelha 3 – BL 8

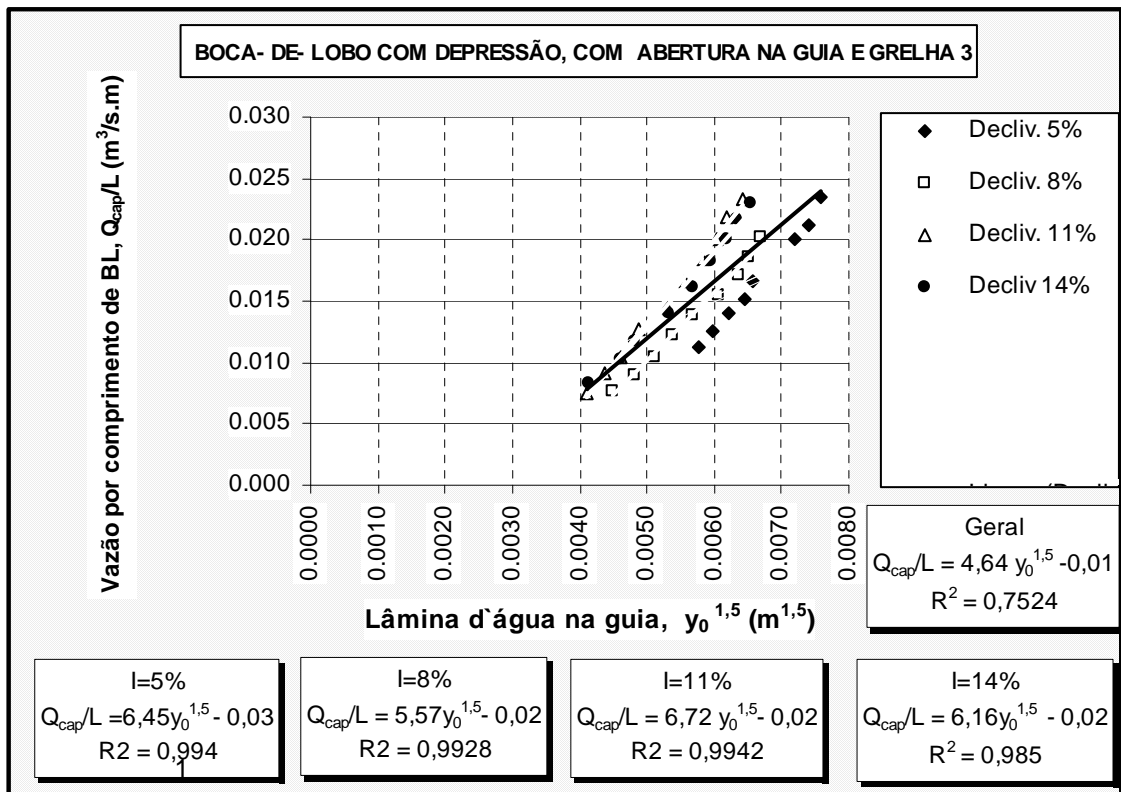


Figura 6.13– Testes com b. lobo c/ depressão, c/ abertura na guia e grelha 3 – BL 9

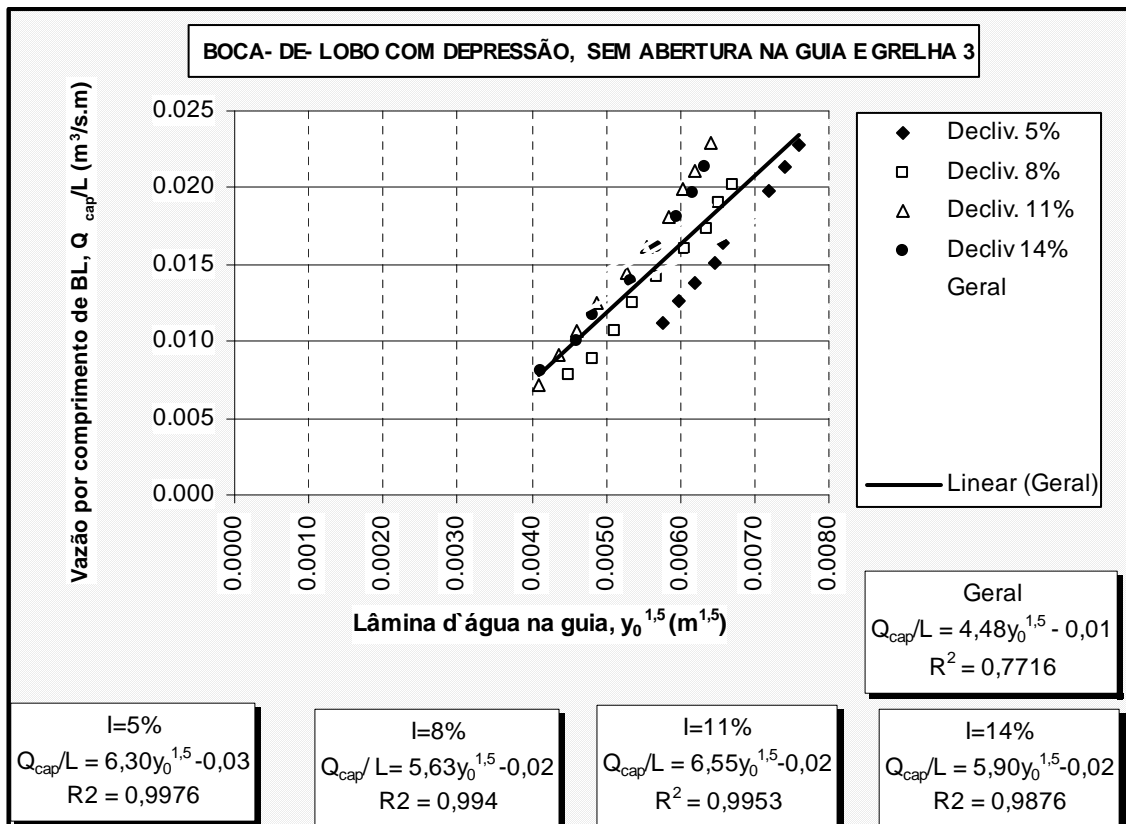


Figura 6.14– Testes com b. lobo c/ depressão, s/ abertura na guia e com grelha 3 – BL 10

A Tabela 6.4, mostrada a seguir, sintetiza os resultados encontrados nos testes de verificação da lei de captação das bocas-de-lobo testadas. Os coeficientes de determinação R^2 apresentados na faixa de 0,7524 e 0,9268 permitem concluir que a fração da variância de Q_{cap}/L é explicada por cerca de 75% a 93% dos valores de y_0 ou y_m ensaiados.

Tabela 6.4 – Resumo dos resultados dos testes realizados

| Depressão | Abertura na guia | Tipo de grelha | Equação | R^2 | Identificação da BL | Referência |
|-----------|------------------|----------------|--------------------------------|--------|---------------------|-------------|
| Não | sim | nenhuma | $Q_{cap}/L=1,07y_0^{1,5}$ | 0,9268 | BL 1 | Figura 6.3 |
| Não | sim | 1 | $Q_{cap}/L=5,05y_m^{1,5}$ | 0,8609 | BL 2 | Figura 6.5 |
| Não | não | 1 | $Q_{cap}/L=5,09y_m^{1,5}$ | 0,8366 | BL 3 | Figura 6.6 |
| Sim | sim | 1 | $Q_{cap}/L=4,44y_0^{1,5}-0,01$ | 0,7957 | BL 4 | Figura 6.7 |
| Sim | não | 1 | $Q_{cap}/L=4,39y_0^{1,5}-0,01$ | 0,8187 | BL 5 | Figura 6.8 |
| Não | sim | 2 | $Q_{cap}/L=5,05y_m^{1,5}$ | 0,7837 | BL 6 | Figura 6.10 |
| Não | sim | 3 | $Q_{cap}/L=5,48y_m^{1,5}$ | 0,7435 | BL 7 | Figura 6.11 |
| Não | não | 3 | $Q_{cap}/L=5,34y_m^{1,5}$ | 0,7901 | BL 8 | Figura 6.12 |
| Sim | sim | 3 | $Q_{cap}/L=4,64y_0^{1,5}-0,01$ | 0,7524 | BL 9 | Figura 6.13 |
| Sim | não | 3 | $Q_{cap}/L=4,48y_0^{1,5}-0,01$ | 0,7716 | BL 10 | Figura 6.14 |

Como um resumo é válido afirmar que:

- A depressão na sarjeta padrão SUDECAP contribui com um incremento máximo na capacidade de captação da boca-de-lobo da ordem de 12%;
- O emprego da grelha 3 no lugar da grelha 1 proporciona um ganho de aproximadamente 10% na capacidade de captação da boca-de-lobo;
- Comparando na Tabela 6.4 a equação relativa à Figura 6.5 com as demais pode-se concluir que a abertura na guia pouco contribui na capacidade de captação das bocas-de-lobo combinadas. Ela é importante porém, segundo a literatura, para os casos de obstrução das grelhas por resíduos sólidos.

6.4 Verificação da eficiência das bocas-de-lobo

A eficiência de uma boca-de-lobo é obtida pela relação entre a vazão captada Q e a vazão afluente, Q_0 , oriunda da sarjeta. As vazões captadas, para cada uma das situações estudadas, foram determinadas experimentalmente e estão representadas pela equação geral mostrada nas

Figuras 6.3 e 6.5 a 6.14. A vazão afluyente foi definida anteriormente pela conjunção da equação 5.14 com a equação da continuidade. As representações das eficiências das bocas-de-lobo padrão SUDECAP em função da relação L/y_0 , e da relação $\sqrt{I/f}$, estão apresentadas nas Figuras 6.15 a 6.19 que mostram também as eficiências obtidas em laboratório para testes com as declividades longitudinais de 5, 8, 11 e 14%. Considerando que o modelo físico estudado apresentou 1,4 como valor médio para o adimensional $\sqrt{I/f}$, observa-se que é possível fazer uma determinação gráfica e aproximada da eficiência das bocas-de-lobo com base nos valores de L/y_0 e os respectivos pares na curva $\sqrt{I/f} = 1,4$. Observando nos gráficos os pontos relativos aos resultados dos testes feitos com as declividades de 5 a 14% pode-se afirmar que os valores de eficiência determinados pela curva de $\sqrt{I/f} = 1,4$ são mais precisos para as declividades superiores a 8%, enquanto que para declividades inferiores a 8% estes valores são conservadores, ficando abaixo dos valores testados.

A seguir são apresentadas as Figuras 6.15 a 6.19:

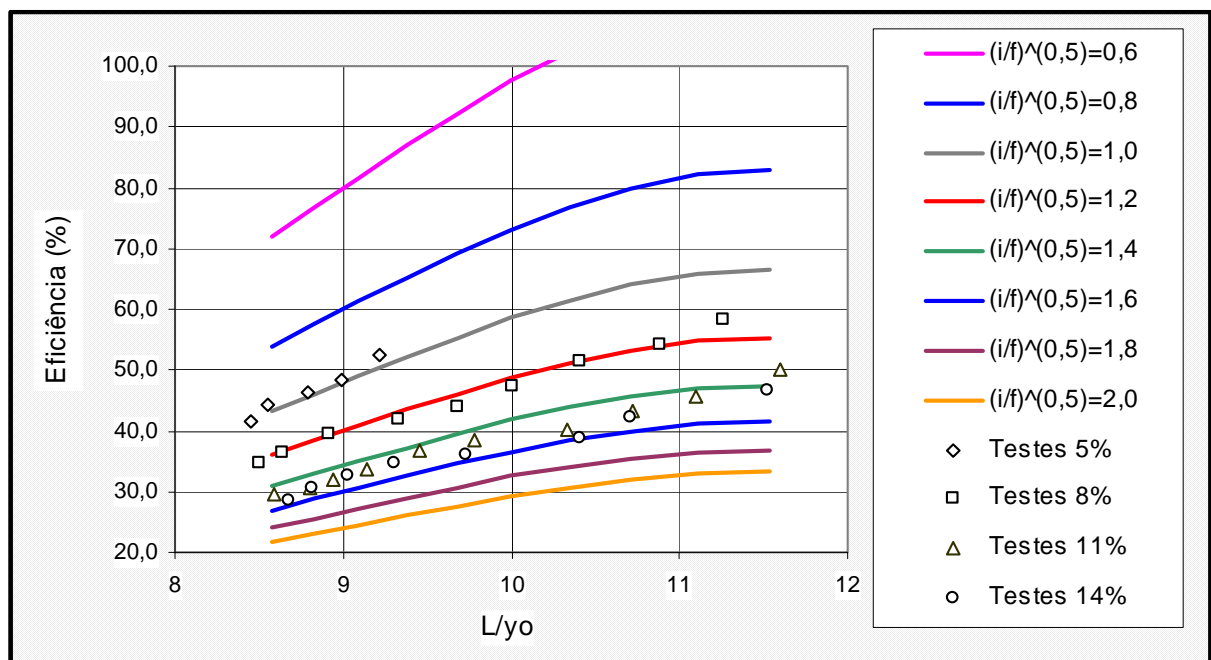


Figura 6.15 – Eficiências das bocas-de-lobo sem depressão, com abertura na guia e sem grelha – BL 1

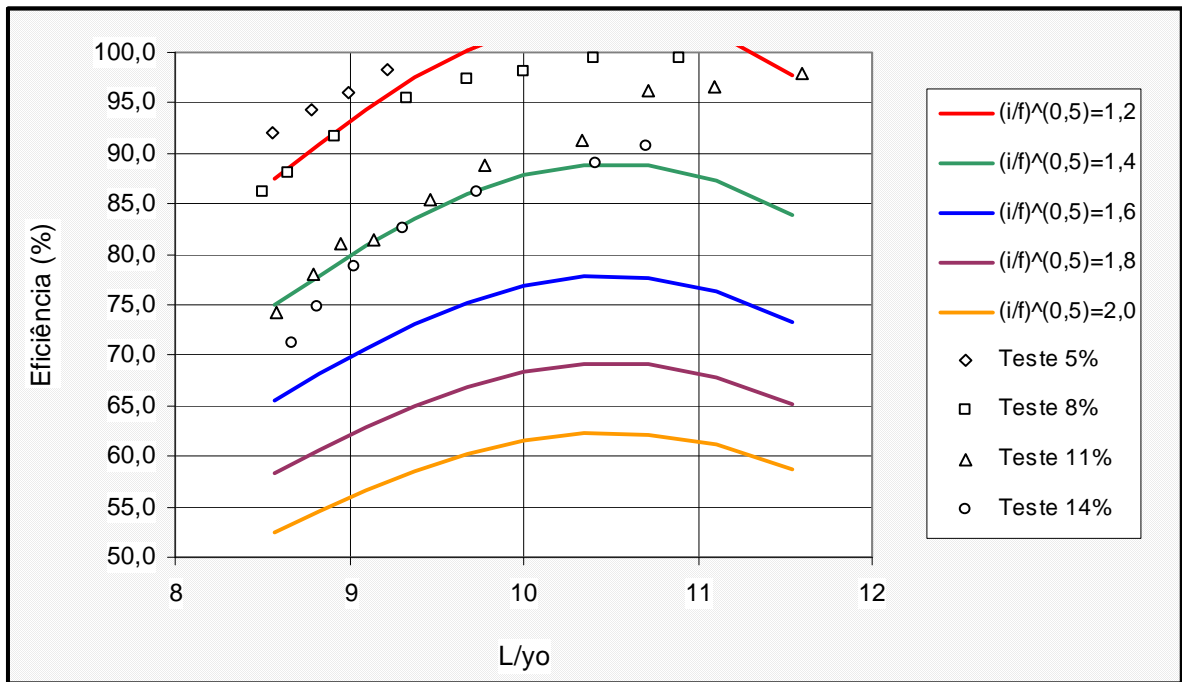


Figura 6.16 – Eficiências das bocas-de-lobo sem depressão, com abertura na guia e com a grelha 1 – BL 2

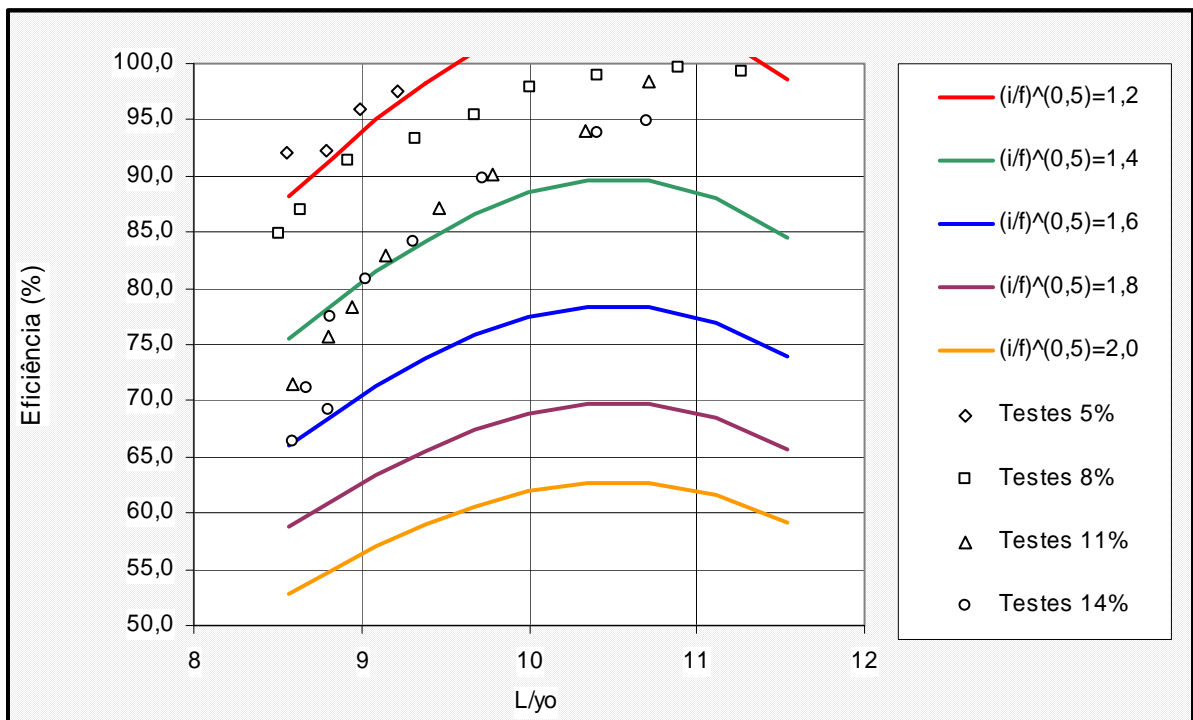


Figura 6.17 – Eficiências das bocas-de-lobo sem depressão, sem abertura na guia e com a grelha 1 – BL 3

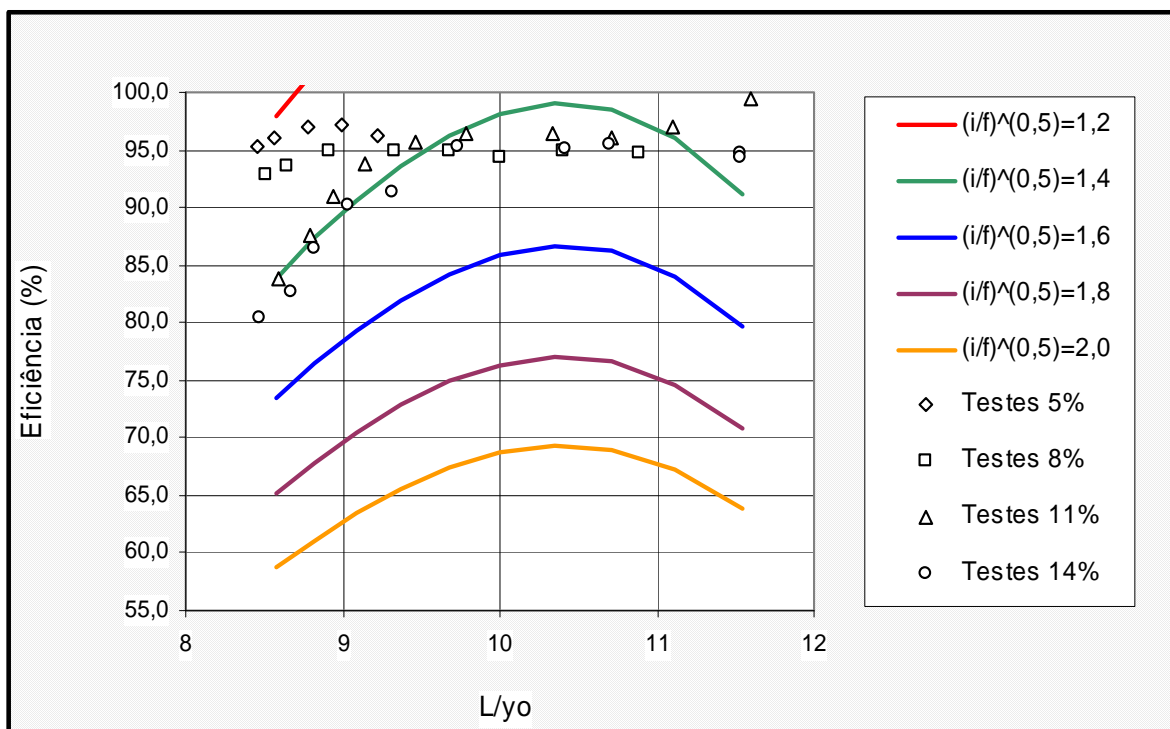


Figura 6.18 – Eficiências das bocas-de-lobo com depressão, com abertura na guia e com a grelha 1 - BL 4

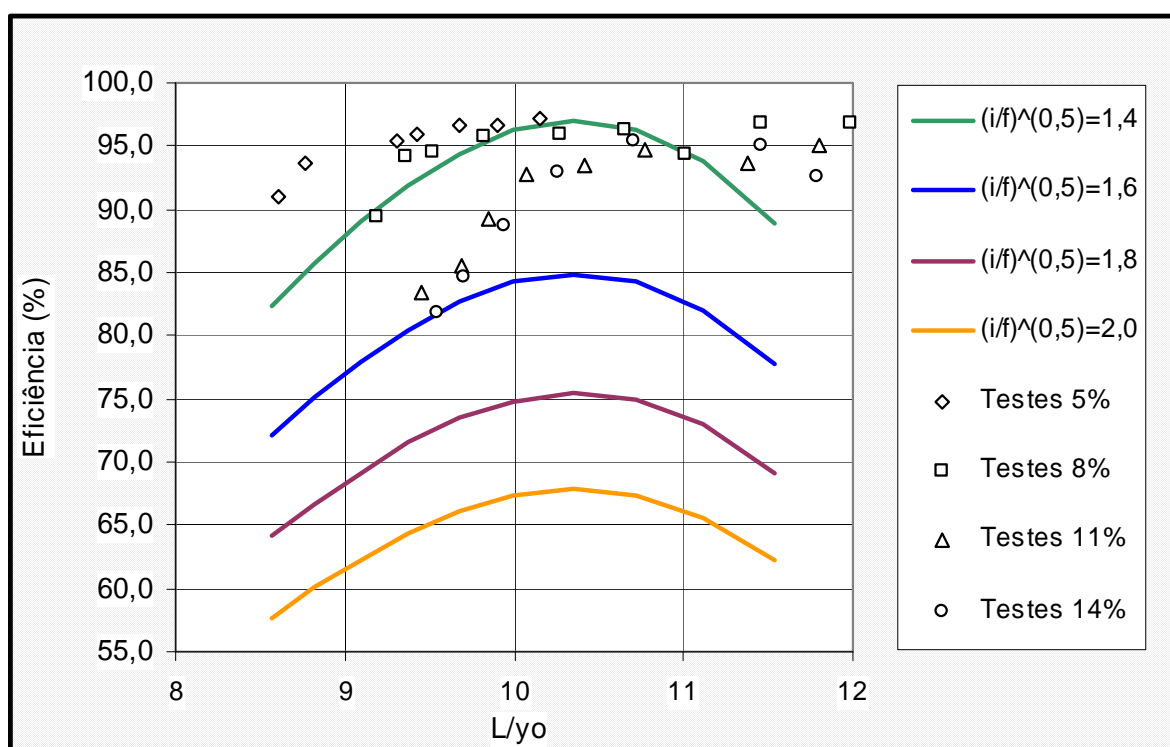


Figura 6.19 – Eficiências das bocas-de-lobo com depressão, sem abertura na guia e com a grelha 1 – BL 5

A Tabela 6.5 apresentada a seguir mostra um resumo dos valores de eficiências das cinco bocas-de-lobo padrão SUDECAP obtidas dos experimentos com o modelo reduzido e, também, através das leis de captação deduzidas dos gráficos específicos de captação. As diferenças observadas entre valores obtidos de forma experimental e teórica varia com os valores dos coeficientes de determinação R^2 das leis de captação geral de cada tipo de boca-de-lobo. Desta forma, as diferenças mínimas ocorrem para a BL 1, cuja equação geral de captação tem o maior coeficiente de determinação.

Para os valores de eficiência obtidos dos dados experimentais foram considerados apenas os testes com a faixa de alagamento máxima. Nestes casos, o y_0 atinge o seu valor máximo, enquanto que o parâmetro L/y_0 atinge o seu mínimo por ser inversamente proporcional a y_0 .

Tabela 6.5 –Valores em (%) das eficiências das bocas-de-lobo padrão SUDECAP

| Identidade | BL 1 | | BL 2 | | BL3 | | BL 4 | | BL 5 | |
|--|-------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-------------|------------|-------------|------------|
| Abertura na guia | sim | | sim | | não | | sim | | não | |
| Abertura na sarjeta | não | | Grelha 1 | | Grelha 1 | | Grelha 1 | | Grelha 1 | |
| Depressão na sarjeta | não | | não | | não | | sim | | sim | |
| Eficiência (fonte) \Rightarrow | teste | teór. | teste | teór. | teste | teór. | teste | teór. | teste | teór. |
| Delividade long. (%) | | | | | | | | | | |
| \Downarrow | | | | | | | | | | |
| 5 | 41 | 40 | 89 | 99 | 88 | 99 | 95 | 100 | 95 | 100 |
| 8 | 35 | 35 | 86 | 86 | 85 | 87 | 93 | 96 | 94 | 95 |
| 11 | 29 | 27 | 74 | 66 | 72 | 67 | 84 | 74 | 83 | 73 |
| 14 | 27 | 27 | 68 | 65 | 66 | 59 | 80 | 73 | 82 | 73 |

- A eficiência para a boca-de-lobo com depressão na sarjeta e com grelha, BL 4 esteve entre os valores de 80% a 95%, com base nos dados experimentais e considerando a largura de alagamento máxima, ou seja: L/y_0 mínimo;
- A eficiência para a boca-de-lobo sem depressão e com grelha, BL 2 esteve entre os valores de 68% e 89%, com base nos dados experimentais e considerando a largura de alagamento máxima, ou seja; L/y_0 mínimo;
- Comparando-se a Figura 6.19 com a 6.18 e a Figura 6.17 com a 6.16 pode-se dizer que a influência da abertura na guia na eficiência da boca-de-lobo combinada pode ser considerada desprezível;

- Com base nos dados experimentais e considerando a faixa de alagamento máxima, L/y_0 mínimo a boca-de-lobo com abertura na guia, sem grelha e sem depressão – BL 1, apresentou eficiência entre 27 e 41%.
- O ganho de eficiência obtido com a depressão diminui à medida que se diminui a declividade longitudinal da sarjeta.;
- Nas bocas-de-lobo com grelha há um valor de L/y_0 de 10,4, aproximadamente, em que a eficiência deste tipo de boca-de-lobo atinge seu valor máximo, voltando a diminuir para valores acima de 10,4. Isto sugere a idéia de que, para estes casos, há uma largura ótima para a largura da lâmina d'água a ser adotada. Para os casos das BLs padrão SUDECAP o valor da largura ótima fica em torno de 0,90m, considerando-se o protótipo.
- Nas bocas-de-lobo com grelha e depressão na sarjeta, no ponto em que L/y_0 se aproxima de 10,4 tendem a diminuir as diferenças observadas entre as eficiências obtidas nos testes com as diversas declividades longitudinais;

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusões

Para atender os objetivos deste trabalho, foi realizado inicialmente uma ampla pesquisa bibliográfica sobre o tema boca-de-lobo, na qual ficou evidenciado a utilização de critérios de cálculo baseados nas grelhas testadas na Universidade Johns Hopkins, cujo padrão diverge quanto à forma e material das barras da grelha e quanto a configuração da depressão utilizada na maioria das bocas-de-lobo adotadas nas cidades brasileiras. Devido a estas divergências, os sistemas de drenagem podem não estar funcionando conforme o planejado pelos projetistas, mostrando-se relevante uma pesquisa em laboratório.

Para tanto, foi utilizado neste trabalho um modelo reduzido de boca-de-lobo em escala 1:3, semelhante aos padrões atualmente utilizados em Belo Horizonte e cidades vizinhas. A calibração do modelo permitiu um escoamento turbulento rugoso e assim foi possível considerar somente a semelhança de Froude. Pontos relevantes verificados:

- A boca-de-lobo com depressão na sarjeta capta mais 12%, aproximadamente, que a boca-de-lobo sem depressão na sarjeta.
- Na boca-de-lobo combinada com ou sem depressão na sarjeta, a contribuição da abertura da guia na capacidade de captação da mesma variou de 1% (para grelha 1) a 5% (para grelha 3).
- É possível um ganho na capacidade de captação na boca-de-lobo com grelha na sarjeta fazendo alterações na configuração da mesma como no exemplo da grelha 3. Esta grelha é uma adaptação da grelha 1, com a barra transversal posicionada sob as barras longitudinais, o que proporcionou um ganho de aproximadamente 10% na capacidade de captação da boca-de-lobo.
- A grelha 2 com barras diagonais, testada nesta pesquisa não apresentou ganho na capacidade de captação da boca de lobo, quando comparada com a boca-de-lobo semelhante com o emprego da grelha 1.

A Tabela 7.1 mostra uma comparação da capacidade de captação de boca-de-lobo obtida segundo a metodologia SUDECAP e também segundo às leis de captação propostas nesta pesquisa para a BL 4, considerando a faixa máxima de alagamento admitida. Os resultados

apresentados demonstram que para declividades longitudinais das sarjetas inferiores a 8% o critério SUDECAP está subdimensionando o sistema de drenagem.

Tabela 7.1 – Comparação de valores de capacidades para a boca-de-lobo combinada

| Declividade m/m | Vazão (l/s) | | |
|--------------------|-------------|------------------------------------|--------------------------|
| | SUDECAP | Pesquisa | |
| | | Lei de captação por declividade | Lei de captação geral |
| 0,05 | 102,2 | 90,06 | 101,48 |
| 0,08 | 127,9 | 95,91 | 101,48 |
| 0,11 | 77,6 | 116,46 | 101,48 |
| 0,14 | | 110,49 | 101,48 |

7.2 Recomendações

É imprescindível que a implantação de todo sistema de drenagem urbana, seja acompanhada de um plano de manutenção rotineira com ações regulares de limpeza e operações de desobstrução do sistema previstas para dois meses antes de cada período chuvoso. Este plano reduzirá a carga de poluição difusa nos corpos receptores da drenagem e garantirá que os dispositivos de drenagem implantados funcionarão conforme os modelos adotados na concepção do projeto.

Um bom sistema de drenagem parte da determinação correta do comprimento útil da sarjeta o que possibilita distribuir racionalmente as bocas-de-lobo na área a ser drenada pelo sistema. Para tanto, recomenda-se que a capacidade das sarjetas seja determinada pela equação de Manning.

Apesar da pouca contribuição da abertura na guia na capacidade de uma boca-de-lobo combinada é recomendável a sua manutenção sobretudo nos locais de baixa declividade longitudinal ou em pontos baixos de grade onde é maior o risco de obstrução das grelhas por resíduos sólidos.

Neste sentido é recomendável, a título de experiência, a implantação de algumas bocas-de-lobo combinadas porém, com abertura na guia localizada imediatamente à montante da grelha o que garantiria funcionamento do sistema em caso de obstrução desta.

Como forma de melhoria na capacidade de captação de uma boca-de-lobo com grelha é recomendável o emprego da grelha 3 em substituição da grelha 1.

A eficiência para a boca-de-lobo com depressão (80% a 95%) foi pouco superior a eficiência da boca-de-lobo sem depressão (68% e 89%), não demonstrando muita vantagem em utilizá-la, principalmente para declividades longitudinais da sarjeta inferiores a 5%, tendo em vista o desconforto e os riscos que este recurso inflige aos condutores de veículos e aos pedestres.

7.3 Perspectivas

As dificuldades surgidas ao longo deste trabalho impuseram um gradual ajuste nas metas e objetivos originalmente propostos. Por outro lado a revisão bibliográfica revelou experiências feitas com outras alternativas de bocas-de-lobo cujas características poderiam também ser objeto desta pesquisa, caso fosse possível. O presente trabalho com as suas modestas revelações pode ser considerado o marco inicial de uma pesquisa mais ampla que pode e deve ser implementada, possibilitando novas descobertas a respeito deste dispositivo de drenagem. Como sugestões para a continuidade da pesquisa podem ser citadas:

- Pesquisas com bocas-de-lobo com defletores na sarjeta e a continuidade da pesquisa de Dalfré (2004), que estudou um tipo de boca-de-lobo com rasgo adicional na guia. Estas duas experiências podem constituir em boas alternativas para uma possível substituição das depressões nas sarjetas.
- Pesquisas de novas configurações de bocas-de-lobo;
- Pesquisa de bocas-de-lobo em pontos baixos de greide, pois para esta condição de funcionamento de boca-de-lobo existem poucas experiências.
- Pesquisas com boca-de-lobo dupla;
- Pesquisa sobre a capacidade hidráulica dos ramais de boca-de-lobo, uma vez que pouquíssimas referências são feitas a eles na bibliografia estudada.
- Pesquisa sobre a influência dos resíduos sólidos no funcionamento das bocas-de-lobo, devendo esta pesquisa abranger os aspectos hidráulicos, ambientais e a interface com os planos municipais de limpeza pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M. Drenagem e controle da erosão urbana. Educa- Editora Universitária Champagnat – Universidade Católica do Paraná, Capítulo 4: Drenagem Urbana, 1984. 395p.
2. AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. Manual de Hidráulica. São Paulo: 5ª ed. Edgar Blucher, 1970. Vol. II, 692p.
3. BAPTISTA, M.B. Modelos Físicos e Matemáticos em Hidrologia e Hidráulica – apostila. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, 1997. 84p.
4. BAPTISTA, M.B; COELHO, M.M.L.P. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. Belo Horizonte: 2ª Ed. Revista, Editora UFMG, Capítulo 9: escoamento Uniforme, 2003. 440p.
5. BARROS, R.T.V. Resíduos Sólidos. - apostila. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental – UFMG, 1998. 62p.
6. BOTELHO, M. H. C. Águas de Chuva - Engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1988. 236p.
7. CARDOSO, C. H. A.; GENOVEZ, A. I. B.; GENOVEZ, A. M. Eficiência de captação de águas pluviais com defletores. Em: 1º CONGRESSO DA ÁGUA, 2004, Campinas. São Paulo, 2004.
8. COELHO, M. M. L. P. Comportamento hidráulico em confluência de canais: uma abordagem conceitual e experimental. /Tese// de Doutorado apresentada à USP/, 2003, 273 p.
9. DALFRÉ P.M.O.; GENOVEZ A.I.B. Eficiência de captação em boca de lobo com depressão e rasgo adicional. Em: XXI CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, 2004, São Pedro. São Paulo, 2004.
10. DRENAGEM URBANA – Manual de Projeto. São Paulo: 3ª Edição, CETESB, 1986, 452p,
11. EASTWOOD, W. Theory of overland flow and its application to the design of drain inlet on roads. *The Surveyor* . 105 Aug. 1946 pp 651-5, citado por SOUZA, P.A., Eficiência Hidráulica da Boca de Lobo. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.
12. FORBES, H.J.C. Capacity of lateral storm water inlets. *Die Sivile Ingenieur in Suid-Áfrika*, Sep. 1976, citado SOUZA, P.A., Eficiência Hidráulica da Boca de Lobo. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.
13. GUO, J.C.Y. Street Hydraulics and Inlet Sizing. Water Resources Publications, LLC, 1997.103p.
14. HWANG, N.H.C. Fundamentos de Sistemas de Engenharia Hidráulica; traduzido por MACINTYRE, A.J- Rio de Janeiro: Prentice – Hall do Brasil, 1984.
15. IZZARD, C.F. Hydraulics of runoff from developed surfaces. Proceedings of the 26th annual meeting of the Highway Research Board, WASHINGTON, 26: 129-146, 1946, citado por WILKEN, P.S., Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo: CETESB, Capítulo 4: Estruturas Hidráulicas Singulares, 1978. 477p.
16. KRIGUER, E.K.; CONTRERAS, R.C. Plataforma de pendientes variables para la experimentación de sumideros de aguas lluvias. Em: XXI CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, 2004, São Pedro. São Paulo, 2004.

17. LI, WH; GEYER, J,C; BENTON, G,S. Flow into gutter inlets in a straight gutter without depression, reimpresso de Sewage and Industrial Wastes, v. 23 n. 1, January,1951 e publicado em The Design of Storm-Water Inlets.
18. LI, W.H.; GEYER, J.C.; SORTEBERG, K.K, Flow into Curb_Openning Inlets, reimpresso Sewage and Industrial Wastes, vol. 23, n. 6 June, 1951 e publicado em The Design of Storm-Water Inlets.
19. LI, W.H.; GOODELL, B,C.; GEYER, J.C. 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.
20. LI, W.H.; GOODELL, B.C.; GEYER, J.C. Flow Into Depressed Combination Inlets, reimpresso Sewage and Industrial Wastes, vol. 26, n. 8, August, 1954 e Publicado em The Design of Storm-Water Inlets.
21. LI, W.H. Hydraulic Theory for Design of Storm-Water Inlets, reimpresso de Proceedings of Thirty-third Annual Meeting of the Highway Research Board, U.S.A, January, 1954 e publicado em The Design of Storm-Water Inlets.
22. LINSLEY, R.K; FRANZINI, J.B. Engenharia de recursos Hídricos, São Paulo: Editora Mc Graw-Hill do Brasil Ltda, capítulo 17: Drenagem, 1978. 798p.
23. POMPÊO, C.A. Sistemas Urbanos de Micro Drenagem – Notas de Aula, Florianópolis, 2001, 17p.
24. PORTO, R; KAMEL, Z.F; TUCCI,C.E.M; BIDONE, F. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: 3ª Edição, Editora da UFRGS / ABRH, Capítulo 21: Drenagem Urbana, 2002. 943p.
25. ROUSE, H. Elementary Mechanics of Fluids, Pan American International Conventions, Dover Publications, Inc. New York, 1978. 376p.
26. RUSSAM, K. The Hidraulic efficiency and Spacing of British Standard Road Gulleys. Water Research Laboratory. Report LR 277, 1969, citado por SOUZA, P.A., Eficiência Hidráulica da Boca de Lobo. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.
27. SOUZA, P.A. Eficiência Hidráulica da Boca-de-lobo. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.
28. SOUZA, P.A; MARTINS, J.R.S. Curso sobre Semelhança e Modelação Física em Hidráulica – apostila. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica da E.E.U.F.M.G, Tópico 1: Análise Dimensional e Semelhança, Modelos e Instrumentação, 1989. 197p.
29. SUDECAP. Caderno de Encargos de Infra-estrutura Urbana. Belo Horizonte, 1985.
30. SUDECAP. Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana. Belo Horizonte, 53 p., 2004.
31. SUDECAP. Procedimento Padrão para Contratação e Elaboração de Projetos de Infra-Estrutura. Belo Horizonte: 4ª Ed, 116p., 2006.
32. TAPLEY, G. S., Velocity distribution in a street or similar channel. Proceedings of the, 34th Annual Meeting of the Highway Research Board, Washington, 1955, citado por WILKEN, P.S., Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo: CETESB, Capítulo 4: Estruturas Hidráulicas Singulares, 1978. 477p.
33. TUCCI,C.E.M; BIDONE, F.R.A. Drenagem Urbana. Porto Alegre: 1ª Edição, Editora da UFRGS / ABRH, Capítulo 3: Microdrenagem, 1995. 428p.

34. VAZ FILHO, P. *Sistemas de microdrenagem urbana: análise de aspectos de funcionamento para elaboração de um plano geral*. 2000 181 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000, citado por DALFRÉ P.M.O.; GENOVEZ A.I.B. Eficiência de captação em boca de lobo com depressão e rasgo adicional. Em: XXI CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, 2004, São Pedro. São Paulo, 2004.
35. WILKEN, P.S., Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo: CETESB, Capítulo 4: Estruturas Hidráulicas Singulares, 1978. 477p.
36. YONG, K.C. Hydraulic Model Investigation of Kerb-Opening Inlets. Water Research Laboratory, The University of New South Wales. Report N° 79, Austrália 1965, citado por SOUZA, P.A., Eficiência Hidráulica da Boca de Lobo. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.
37. ZWAMBORN, J.A. Stormwater inlet design. In: ANNUAL MUNICIPAL CONFERENCE, 1966, Johannesburg, may, 1966, citado por SOUZA, P.A., Eficiência Hidráulica da Boca de Lobo. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.

APÊNDICE
DADOS EXPERIMENTAIS

PLANILHA DE TESTES - BL 1

| SEM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | COM ABERTURA NA GUIA | | SEM GRELHA NA SARJETA | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d' água | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Q _{cap} /L | y _o ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1144 | 2,59 | 5,10 | 34 | 0,62 | 0,0386 | 0,0086 | 0,0076 |
| | 7,00 | 0,1120 | 2,46 | 4,54 | 35 | 0,60 | 0,0380 | 0,0082 | 0,0074 |
| | 6,40 | 0,1110 | 2,40 | 4,00 | 38 | 0,58 | 0,0373 | 0,0080 | 0,0072 |
| | 5,22 | 0,1064 | 2,16 | 3,06 | 41 | 0,50 | 0,0351 | 0,0072 | 0,0066 |
| | 4,74 | 0,1051 | 2,09 | 2,65 | 44 | 0,49 | 0,0347 | 0,0070 | 0,0065 |
| | 4,31 | 0,1032 | 2,00 | 2,31 | 46 | 0,46 | 0,0338 | 0,0067 | 0,0062 |
| | 3,89 | 0,1008 | 1,89 | 2,00 | 49 | 0,43 | 0,0330 | 0,0063 | 0,0060 |
| | 3,46 | 0,0992 | 1,81 | 1,65 | 52 | 0,41 | 0,0322 | 0,0060 | 0,0058 |
| 8,00 | 6,6 | 0,1074 | 2,21 | 4,39 | 34 | 0,52 | 0,0356 | 0,0074 | 0,0067 |
| | 5,99 | 0,1047 | 2,08 | 3,91 | 35 | 0,50 | 0,0349 | 0,0069 | 0,0065 |
| | 5,46 | 0,1028 | 1,98 | 3,48 | 36 | 0,48 | 0,0343 | 0,0066 | 0,0064 |
| | 4,92 | 0,1019 | 1,94 | 2,98 | 39 | 0,44 | 0,0333 | 0,0065 | 0,0061 |
| | 4,38 | 0,0998 | 1,84 | 2,54 | 42 | 0,39 | 0,0318 | 0,0061 | 0,0057 |
| | 3,84 | 0,0964 | 1,69 | 2,15 | 44 | 0,36 | 0,0307 | 0,0056 | 0,0054 |
| | 3,31 | 0,0935 | 1,56 | 1,75 | 47 | 0,32 | 0,0297 | 0,0052 | 0,0051 |
| | 2,77 | 0,0900 | 1,42 | 1,35 | 51 | 0,28 | 0,0285 | 0,0047 | 0,0048 |
| | 2,41 | 0,0869 | 1,30 | 1,11 | 54 | 0,24 | 0,0272 | 0,0043 | 0,0045 |
| | 1,93 | 0,0820 | 1,13 | 0,80 | 58 | 0,21 | 0,0263 | 0,0038 | 0,0043 |
| 11,00 | 7,75 | 0,1087 | 2,28 | 5,47 | 29 | 0,49 | 0,0346 | 0,0076 | 0,0064 |
| | 7,03 | 0,1061 | 2,15 | 4,88 | 31 | 0,46 | 0,0337 | 0,0072 | 0,0062 |
| | 6,40 | 0,1042 | 2,05 | 4,35 | 32 | 0,44 | 0,0332 | 0,0068 | 0,0060 |
| | 5,77 | 0,1019 | 1,94 | 3,83 | 34 | 0,41 | 0,0324 | 0,0065 | 0,0058 |
| | 5,14 | 0,1008 | 1,89 | 3,25 | 37 | 0,38 | 0,0314 | 0,0063 | 0,0056 |
| | 4,51 | 0,0974 | 1,73 | 2,78 | 38 | 0,34 | 0,0303 | 0,0058 | 0,0053 |
| | 3,88 | 0,0934 | 1,56 | 2,32 | 40 | 0,29 | 0,0287 | 0,0052 | 0,0049 |
| | 3,25 | 0,0895 | 1,40 | 1,85 | 43 | 0,26 | 0,0277 | 0,0047 | 0,0046 |
| | 2,83 | 0,0866 | 1,29 | 1,54 | 46 | 0,22 | 0,0267 | 0,0043 | 0,0044 |
| | 2,26 | 0,0821 | 1,13 | 1,13 | 50 | 0,19 | 0,0256 | 0,0038 | 0,0041 |
| 14,00 | 8,74 | 0,1094 | 2,32 | 6,42 | 26 | 0,53 | 0,0358 | 0,0077 | 0,0068 |
| | 7,93 | 0,1068 | 2,18 | 5,75 | 27 | 0,50 | 0,0350 | 0,0073 | 0,0066 |
| | 7,22 | 0,1046 | 2,07 | 5,15 | 29 | 0,47 | 0,0342 | 0,0069 | 0,0063 |
| | 6,51 | 0,1030 | 1,99 | 4,52 | 31 | 0,46 | 0,0337 | 0,0066 | 0,0062 |
| | 5,8 | 0,1010 | 1,90 | 3,90 | 33 | 0,43 | 0,0329 | 0,0063 | 0,0060 |
| | 5,09 | 0,0982 | 1,77 | 3,32 | 35 | 0,40 | 0,0319 | 0,0059 | 0,0057 |
| | 4,38 | 0,0940 | 1,58 | 2,80 | 36 | 0,35 | 0,0305 | 0,0053 | 0,0053 |
| | 3,67 | 0,0902 | 1,43 | 2,24 | 39 | 0,28 | 0,0285 | 0,0048 | 0,0048 |
| | 3,19 | 0,0882 | 1,35 | 1,84 | 42 | 0,26 | 0,0277 | 0,0045 | 0,0046 |
| | 2,55 | 0,0839 | 1,19 | 1,36 | 47 | 0,19 | 0,0257 | 0,0040 | 0,0041 |

PLANILHA DE TESTES - BL 2

| SEM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | COM ABERTURA NA GUIA | | COM GRELHA NA SARJETA | | | | GRELHA Nº 1 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade e interna | Profundidade de externa | Q _{cap} /L | y _m ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1597 | 5,96 | 1,73 | 78 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,0199 | 0,0042 |
| | 7,00 | 0,1564 | 5,66 | 1,34 | 81 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,0189 | 0,0041 |
| | 6,40 | 0,1530 | 5,36 | 1,04 | 84 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,0179 | 0,0039 |
| | 5,22 | 0,1444 | 4,64 | 0,58 | 89 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,0155 | 0,0034 |
| | 4,74 | 0,1409 | 4,36 | 0,38 | 92 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,0145 | 0,0033 |
| | 4,31 | 0,1370 | 4,06 | 0,25 | 94 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,0135 | 0,0031 |
| | 3,89 | 0,1325 | 3,74 | 0,15 | 96 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,0125 | 0,0029 |
| | 3,46 | 0,1276 | 3,40 | 0,06 | 98 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,0113 | 0,0028 |
| 8,00 | 6,6 | 0,1543 | 5,47 | 1,13 | 83 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,0182 | 0,0035 |
| | 5,99 | 0,1507 | 5,16 | 0,83 | 86 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,0172 | 0,0033 |
| | 5,46 | 0,1465 | 4,81 | 0,65 | 88 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,0160 | 0,0032 |
| | 4,92 | 0,1428 | 4,51 | 0,41 | 92 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,0150 | 0,0030 |
| | 4,38 | 0,1386 | 4,18 | 0,20 | 96 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,0139 | 0,0027 |
| | 3,84 | 0,1325 | 3,74 | 0,10 | 97 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,0125 | 0,0024 |
| | 3,31 | 0,1252 | 3,24 | 0,07 | 98 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,0108 | 0,0022 |
| | 2,77 | 0,1173 | 2,76 | 0,01 | 100 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,0092 | 0,0020 |
| | 2,41 | 0,1109 | 2,40 | 0,01 | 99 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,0080 | 0,0018 |
| 1,93 | 0,1020 | 1,94 | -0,01 | 101 | 0,21 | 0,0263 | 0,0013 | 0,0065 | 0,0016 | |
| 11,00 | 7,75 | 0,1575 | 5,76 | 1,99 | 74 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,0192 | 0,0033 |
| | 7,03 | 0,1544 | 5,48 | 1,55 | 78 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,0183 | 0,0031 |
| | 6,40 | 0,1511 | 5,19 | 1,21 | 81 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,0173 | 0,0030 |
| | 5,77 | 0,1452 | 4,70 | 1,07 | 81 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,0157 | 0,0028 |
| | 5,14 | 0,1413 | 4,39 | 0,75 | 85 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,0146 | 0,0026 |
| | 4,51 | 0,1362 | 4,00 | 0,51 | 89 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,0133 | 0,0024 |
| | 3,88 | 0,1297 | 3,54 | 0,34 | 91 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,0118 | 0,0021 |
| | 3,25 | 0,1234 | 3,13 | 0,12 | 96 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,0104 | 0,0019 |
| | 2,83 | 0,1169 | 2,73 | 0,10 | 97 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,0091 | 0,0017 |
| | 2,26 | 0,1074 | 2,21 | 0,05 | 98 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,0074 | 0,0015 |
| 14,00 | 8,74 | 0,1555 | 5,58 | 3,16 | 64 | 0,53 | 0,0358 | 0,0108 | 0,0186 | 0,0036 |
| | 7,93 | 0,1533 | 5,38 | 2,55 | 68 | 0,50 | 0,0350 | 0,0100 | 0,0179 | 0,0034 |
| | 7,22 | 0,1505 | 5,14 | 2,08 | 71 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,0171 | 0,0032 |
| | 6,51 | 0,1473 | 4,87 | 1,64 | 75 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,0162 | 0,0031 |
| | 5,8 | 0,1436 | 4,57 | 1,23 | 79 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,0152 | 0,0029 |
| | 5,09 | 0,1388 | 4,20 | 0,89 | 82 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,0140 | 0,0027 |
| | 4,38 | 0,1330 | 3,77 | 0,61 | 86 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,0126 | 0,0024 |
| | 3,67 | 0,1255 | 3,26 | 0,41 | 89 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,0109 | 0,0020 |
| | 3,19 | 0,1196 | 2,89 | 0,30 | 91 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,0096 | 0,0019 |
| | 2,55 | 0,1111 | 2,41 | 0,14 | 94 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,0080 | 0,0015 |

PLANILHA DE TESTES - BL 3

| SEM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | SEM ABERTURA NA GUIA | | COM GRELHA NA SARJETA | | | | GRELHA Nº 1 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y _m ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1588 | 5,88 | 1,81 | 76 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,0196 | 0,0042 |
| | 7,00 | 0,1561 | 5,63 | 1,37 | 80 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,0188 | 0,0041 |
| | 6,40 | 0,1527 | 5,33 | 1,07 | 83 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,0178 | 0,0039 |
| | 5,22 | 0,1439 | 4,60 | 0,62 | 88 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,0153 | 0,0034 |
| | 4,74 | 0,1410 | 4,37 | 0,37 | 92 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,0146 | 0,0033 |
| | 4,31 | 0,1358 | 3,98 | 0,33 | 92 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,0133 | 0,0031 |
| | 3,89 | 0,1324 | 3,73 | 0,16 | 96 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,0124 | 0,0029 |
| | 3,46 | 0,1272 | 3,38 | 0,08 | 98 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,0113 | 0,0028 |
| | 3,04 | 0,1208 | 2,97 | 0,07 | 98 | 35,70 | 1,0910 | 1,0660 | 0,0099 | 1,1200 |
| 2,61 | 0,1119 | 2,45 | 0,16 | 94 | 31,75 | 0,9725 | 0,9475 | 0,0082 | 0,9406 | |
| 8,00 | 7,75 | 0,1570 | 5,71 | 2,04 | 74 | 0,54 | 0,0363 | 0,0113 | 0,0190 | 0,0037 |
| | 7,22 | 0,1550 | 5,53 | 1,69 | 77 | 0,53 | 0,0359 | 0,0109 | 0,0184 | 0,0036 |
| | 7,03 | 0,1544 | 5,48 | 1,55 | 78 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,0183 | 0,0035 |
| | 6,6 | 0,1530 | 5,36 | 1,24 | 81 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,0179 | 0,0035 |
| | 5,99 | 0,1498 | 5,08 | 0,91 | 85 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,0169 | 0,0033 |
| | 5,46 | 0,1458 | 4,75 | 0,71 | 87 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,0158 | 0,0032 |
| | 4,92 | 0,1426 | 4,49 | 0,43 | 91 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,0150 | 0,0030 |
| | 4,38 | 0,1373 | 4,09 | 0,29 | 93 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,0136 | 0,0027 |
| | 3,84 | 0,1314 | 3,66 | 0,18 | 95 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,0122 | 0,0024 |
| | 3,31 | 0,1251 | 3,24 | 0,07 | 98 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,0108 | 0,0022 |
| | 2,77 | 0,1170 | 2,74 | 0,03 | 99 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,0091 | 0,0020 |
| | 2,41 | 0,1110 | 2,40 | 0,01 | 100 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,0080 | 0,0018 |
| 1,93 | 0,1014 | 1,92 | 0,01 | 99 | 0,21 | 0,0263 | 0,0013 | 0,0064 | 0,0016 | |
| 11,00 | 7,75 | 0,1551 | 5,54 | 2,21 | 72 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,0185 | 0,0033 |
| | 7,03 | 0,1526 | 5,32 | 1,71 | 76 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,0177 | 0,0031 |
| | 6,40 | 0,1490 | 5,01 | 1,39 | 78 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,0167 | 0,0030 |
| | 5,77 | 0,1462 | 4,78 | 0,99 | 83 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,0159 | 0,0028 |
| | 5,14 | 0,1424 | 4,48 | 0,66 | 87 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,0149 | 0,0026 |
| | 4,51 | 0,1370 | 4,06 | 0,45 | 90 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,0135 | 0,0024 |
| | 3,88 | 0,1312 | 3,65 | 0,23 | 94 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,0122 | 0,0021 |
| | 3,25 | 0,1245 | 3,20 | 0,05 | 98 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,0107 | 0,0019 |
| | 2,83 | 0,1190 | 2,86 | -0,03 | 101 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,0095 | 0,0017 |
| 2,26 | 0,1083 | 2,26 | 0,00 | 100 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,0075 | 0,0015 | |
| 14,00 | 8,74 | 0,1579 | 5,80 | 2,94 | 66 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,0193 | 0,0033 |
| | 7,93 | 0,1544 | 5,48 | 2,45 | 69 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,0183 | 0,0031 |
| | 7,22 | 0,1505 | 5,14 | 2,08 | 71 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,0171 | 0,0032 |
| | 6,51 | 0,1493 | 5,04 | 1,47 | 77 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,0168 | 0,0031 |
| | 5,8 | 0,1450 | 4,68 | 1,12 | 81 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,0156 | 0,0029 |
| | 5,09 | 0,1399 | 4,28 | 0,81 | 84 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,0143 | 0,0027 |
| | 4,38 | 0,1352 | 3,93 | 0,45 | 90 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,0131 | 0,0024 |
| | 3,67 | 0,1282 | 3,44 | 0,23 | 94 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,0115 | 0,0020 |
| | 3,19 | 0,1218 | 3,03 | 0,16 | 95 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,0101 | 0,0019 |
| | 2,55 | 0,1117 | 2,44 | 0,11 | 96 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,0081 | 0,0015 |

PLANILHA DE TESTES - BL 4

| COM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | COM ABERTURA NA GUIA | | COM GRELHA NA SARJETA | | | | GRELHA Nº 1 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y ₀ ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1690 | 6,87 | 0,82 | 89 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,023 | 0,0076 |
| | 7,00 | 0,1633 | 6,30 | 0,70 | 90 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,021 | 0,0074 |
| | 6,40 | 0,1595 | 5,94 | 0,46 | 93 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,020 | 0,0072 |
| | 5,22 | 0,1485 | 4,97 | 0,25 | 95 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,017 | 0,0066 |
| | 4,74 | 0,1434 | 4,56 | 0,18 | 96 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,015 | 0,0065 |
| | 4,31 | 0,1385 | 4,18 | 0,13 | 97 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,014 | 0,0062 |
| | 3,89 | 0,1331 | 3,78 | 0,11 | 97 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,013 | 0,0060 |
| | 3,46 | 0,1265 | 3,33 | 0,13 | 96 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,011 | 0,0058 |
| 8,00 | 6,6 | 0,1598 | 5,97 | 0,63 | 90 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,020 | 0,0067 |
| | 5,99 | 0,1553 | 5,56 | 0,43 | 93 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,019 | 0,0065 |
| | 5,46 | 0,1502 | 5,11 | 0,35 | 94 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,017 | 0,0064 |
| | 4,92 | 0,1448 | 4,67 | 0,25 | 95 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,016 | 0,0061 |
| | 4,38 | 0,1382 | 4,15 | 0,23 | 95 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,014 | 0,0057 |
| | 3,84 | 0,1312 | 3,65 | 0,19 | 95 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,012 | 0,0054 |
| | 3,31 | 0,1233 | 3,12 | 0,19 | 94 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,010 | 0,0051 |
| | 2,77 | 0,1151 | 2,63 | 0,14 | 95 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,009 | 0,0048 |
| 2,41 | 0,1088 | 2,28 | 0,13 | 95 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,008 | 0,0045 | |
| 11,00 | 7,75 | 0,1652 | 6,49 | 1,26 | 84 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,022 | 0,0064 |
| | 7,03 | 0,1617 | 6,15 | 0,88 | 87 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,021 | 0,0062 |
| | 6,40 | 0,1582 | 5,82 | 0,58 | 91 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,019 | 0,0060 |
| | 5,77 | 0,1536 | 5,41 | 0,36 | 94 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,018 | 0,0058 |
| | 5,14 | 0,1478 | 4,91 | 0,23 | 96 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,016 | 0,0056 |
| | 4,51 | 0,1408 | 4,35 | 0,16 | 96 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,015 | 0,0053 |
| | 3,88 | 0,1325 | 3,74 | 0,14 | 96 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,012 | 0,0049 |
| | 3,25 | 0,1233 | 3,12 | 0,13 | 96 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | 2,83 | 0,1171 | 2,75 | 0,08 | 97 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,009 | 0,0044 |
| | 2,26 | 0,1081 | 2,25 | 0,01 | 99 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,007 | 0,0041 |
| 14,00 | 7,93 | 0,1641 | 6,38 | 1,55 | 80 | 0,50 | 0,0350 | 0,0100 | 0,021 | 0,0066 |
| | 7,22 | 0,1598 | 5,97 | 1,25 | 83 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,020 | 0,0063 |
| | 6,51 | 0,1561 | 5,63 | 0,88 | 87 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,019 | 0,0062 |
| | 5,8 | 0,1516 | 5,23 | 0,57 | 90 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,017 | 0,0060 |
| | 5,09 | 0,1446 | 4,65 | 0,44 | 91 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,016 | 0,0057 |
| | 4,38 | 0,1385 | 4,18 | 0,20 | 95 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,014 | 0,0053 |
| | 3,67 | 0,1289 | 3,49 | 0,18 | 95 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,012 | 0,0048 |
| | 3,19 | 0,1221 | 3,05 | 0,14 | 96 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | 2,55 | 0,1113 | 2,42 | 0,13 | 95 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,008 | 0,0041 |

PLANILHA DE TESTES - BL 5

| COM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | SEM ABERTURA NA GUIA | | COM GRELHA NA SARJETA | | | | GRELHA Nº 1 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d' água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y ₀ ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1680 | 6,77 | 0,92 | 88 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,023 | 0,0076 |
| | 7,00 | 0,1640 | 6,37 | 0,63 | 91 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,021 | 0,0074 |
| | 6,40 | 0,1600 | 5,99 | 0,41 | 94 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,020 | 0,0072 |
| | 5,22 | 0,1486 | 4,98 | 0,24 | 95 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,017 | 0,0066 |
| | 4,74 | 0,1433 | 4,55 | 0,19 | 96 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,015 | 0,0065 |
| | 4,31 | 0,1384 | 4,17 | 0,14 | 97 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,014 | 0,0062 |
| | 3,89 | 0,1328 | 3,76 | 0,13 | 97 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,013 | 0,0060 |
| | 3,46 | 0,1270 | 3,36 | 0,10 | 97 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,011 | 0,0058 |
| 8,00 | 6,6 | 0,1590 | 5,90 | 0,70 | 89 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,020 | 0,0067 |
| | 5,99 | 0,1562 | 5,64 | 0,35 | 94 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,019 | 0,0065 |
| | 5,46 | 0,1508 | 5,17 | 0,29 | 95 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,017 | 0,0064 |
| | 4,92 | 0,1453 | 4,71 | 0,21 | 96 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,016 | 0,0061 |
| | 4,38 | 0,1388 | 4,20 | 0,18 | 96 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,014 | 0,0057 |
| | 3,84 | 0,1319 | 3,70 | 0,14 | 96 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,012 | 0,0054 |
| | 3,31 | 0,1233 | 3,12 | 0,19 | 94 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,010 | 0,0051 |
| | 2,77 | 0,1160 | 2,68 | 0,09 | 97 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,009 | 0,0048 |
| | 2,41 | 0,1097 | 2,33 | 0,08 | 97 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,008 | 0,0045 |
| 11,00 | 7,75 | 0,1650 | 6,47 | 1,28 | 83 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,022 | 0,0064 |
| | 7,03 | 0,1602 | 6,01 | 1,02 | 85 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,020 | 0,0062 |
| | 6,40 | 0,1570 | 5,71 | 0,69 | 89 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,019 | 0,0060 |
| | 5,77 | 0,1529 | 5,35 | 0,42 | 93 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,018 | 0,0058 |
| | 5,14 | 0,1465 | 4,81 | 0,33 | 93 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,016 | 0,0056 |
| | 4,51 | 0,1398 | 4,27 | 0,24 | 95 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,014 | 0,0053 |
| | 3,88 | 0,1310 | 3,63 | 0,25 | 94 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,012 | 0,0049 |
| | 3,25 | 0,1228 | 3,09 | 0,16 | 95 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | 2,83 | 0,1154 | 2,65 | 0,18 | 94 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,009 | 0,0044 |
| | 2,26 | 0,1057 | 2,12 | 0,14 | 94 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,007 | 0,0041 |
| 14,00 | 7,22 | 0,1591 | 5,91 | 1,31 | 82 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,020 | 0,0063 |
| | 6,51 | 0,1548 | 5,52 | 0,99 | 85 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,018 | 0,0062 |
| | 5,8 | 0,1506 | 5,15 | 0,65 | 89 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,017 | 0,0060 |
| | 5,09 | 0,1456 | 4,73 | 0,36 | 93 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,016 | 0,0057 |
| | 4,38 | 0,1385 | 4,18 | 0,20 | 95 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,014 | 0,0053 |
| | 3,67 | 0,1289 | 3,49 | 0,18 | 95 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,012 | 0,0048 |
| | 3,19 | 0,1206 | 2,95 | 0,24 | 93 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | | 2,55 | 0,1110 | 2,40 | 0,15 | 94 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,008 |

PLANILHA DE TESTES - BL 6

| SEM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | COM ABERTURA NA GUIA | | COM GRELHA NA SARJETA | | | | GRELHA Nº 2 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y _m ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1552 | 5,55 | 2,14 | 72 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,019 | 0,0042 |
| | 7,00 | 0,1510 | 5,18 | 1,82 | 74 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,017 | 0,0041 |
| | 6,40 | 0,1507 | 5,16 | 1,24 | 81 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,017 | 0,0039 |
| | 5,22 | 0,1400 | 4,29 | 0,93 | 82 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,014 | 0,0034 |
| | 4,74 | 0,1381 | 4,15 | 0,59 | 87 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,014 | 0,0033 |
| | 4,31 | 0,1367 | 4,04 | 0,27 | 94 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,013 | 0,0031 |
| | 3,89 | 0,1322 | 3,72 | 0,17 | 96 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,012 | 0,0029 |
| | 3,46 | 0,1274 | 3,39 | 0,07 | 98 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,011 | 0,0028 |
| 8,00 | 7,75 | 0,1567 | 5,69 | 2,06 | 73 | 0,54 | 0,0363 | 0,0113 | 0,019 | 0,0037 |
| | 7,22 | 0,1554 | 5,57 | 1,65 | 77 | 0,53 | 0,0359 | 0,0109 | 0,019 | 0,0036 |
| | 7,03 | 0,1543 | 5,47 | 1,56 | 78 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,018 | 0,0035 |
| | 6,6 | 0,1522 | 5,29 | 1,31 | 80 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,018 | 0,0035 |
| | 5,99 | 0,1498 | 5,08 | 0,91 | 85 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,017 | 0,0033 |
| | 5,46 | 0,1468 | 4,83 | 0,63 | 88 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,016 | 0,0032 |
| | 4,92 | 0,1422 | 4,46 | 0,46 | 91 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,015 | 0,0030 |
| | 4,38 | 0,1375 | 4,10 | 0,28 | 94 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,014 | 0,0027 |
| | 3,84 | 0,1330 | 3,77 | 0,07 | 98 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,013 | 0,0024 |
| | 3,31 | 0,1257 | 3,28 | 0,03 | 99 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,011 | 0,0022 |
| | 2,77 | 0,1195 | 2,89 | -0,12 | 104 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,010 | 0,0020 |
| 2,41 | 0,1120 | 2,46 | -0,05 | 102 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,008 | 0,0018 | |
| 1,93 | 0,1016 | 1,92 | 0,01 | 100 | 0,21 | 0,0263 | 0,0013 | 0,006 | 0,0016 | |
| 11,00 | 7,75 | 0,1559 | 5,61 | 2,14 | 72 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,019 | 0,0033 |
| | 7,03 | 0,1538 | 5,43 | 1,60 | 77 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,018 | 0,0031 |
| | 6,40 | 0,1517 | 5,24 | 1,16 | 82 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,017 | 0,0030 |
| | 5,77 | 0,1483 | 4,95 | 0,82 | 86 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,017 | 0,0028 |
| | 5,14 | 0,1438 | 4,59 | 0,55 | 89 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,015 | 0,0026 |
| | 4,51 | 0,1392 | 4,23 | 0,28 | 94 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,014 | 0,0024 |
| | 3,88 | 0,1320 | 3,70 | 0,18 | 95 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,012 | 0,0021 |
| | 3,25 | 0,1226 | 3,08 | 0,17 | 95 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0019 |
| | 2,83 | 0,1183 | 2,82 | 0,01 | 100 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,009 | 0,0017 |
| 2,26 | 0,1088 | 2,28 | -0,02 | 101 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,008 | 0,0015 | |
| 14,00 | 8,74 | 0,1580 | 5,80 | 2,94 | 66 | 0,53 | 0,0358 | 0,0108 | 0,019 | 0,0036 |
| | 7,93 | 0,1543 | 5,47 | 2,46 | 69 | 0,50 | 0,0350 | 0,0100 | 0,018 | 0,0034 |
| | 7,22 | 0,1527 | 5,33 | 1,89 | 74 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,018 | 0,0032 |
| | 6,51 | 0,1494 | 5,05 | 1,46 | 78 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,017 | 0,0031 |
| | 5,8 | 0,1465 | 4,81 | 0,99 | 83 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,016 | 0,0029 |
| | 5,09 | 0,1415 | 4,41 | 0,68 | 87 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,015 | 0,0027 |
| | 4,38 | 0,1351 | 3,92 | 0,46 | 90 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,013 | 0,0024 |
| | 3,67 | 0,1281 | 3,44 | 0,23 | 94 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,011 | 0,0020 |
| | 3,19 | 0,1216 | 3,02 | 0,17 | 95 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0019 |
| 2,55 | 0,1131 | 2,52 | 0,03 | 99 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,008 | 0,0015 | |

PLANILHA DE TESTES - BL 7

| SEM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | COM ABERTURA NA GUIA | | COM GRELHA NA SARJETA | | | | GRELHA Nº 3 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y _m ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1611 | 6,09 | 1,60 | 79 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,020 | 0,0042 |
| | 7,00 | 0,1571 | 5,72 | 1,28 | 82 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,019 | 0,0041 |
| | 6,40 | 0,1532 | 5,37 | 1,03 | 84 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,018 | 0,0039 |
| | 5,22 | 0,1459 | 4,76 | 0,46 | 91 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,016 | 0,0034 |
| | 4,74 | 0,1411 | 4,37 | 0,37 | 92 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,015 | 0,0033 |
| | 4,31 | 0,1386 | 4,18 | 0,13 | 97 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,014 | 0,0031 |
| | 3,89 | 0,1336 | 3,82 | 0,07 | 98 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,013 | 0,0029 |
| | 3,46 | 0,1281 | 3,44 | 0,02 | 99 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,011 | 0,0028 |
| 8,00 | 7,75 | 0,1650 | 6,47 | 1,28 | 83 | 0,54 | 0,0363 | 0,0113 | 0,022 | 0,0037 |
| | 7,22 | 0,1619 | 6,17 | 1,05 | 85 | 0,53 | 0,0359 | 0,0109 | 0,021 | 0,0036 |
| | 7,03 | 0,1610 | 6,08 | 0,95 | 87 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,020 | 0,0035 |
| | 6,6 | 0,1584 | 5,84 | 0,76 | 89 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,019 | 0,0035 |
| | 5,99 | 0,1520 | 5,27 | 0,72 | 88 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,018 | 0,0033 |
| | 5,46 | 0,1495 | 5,06 | 0,40 | 93 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,017 | 0,0032 |
| | 4,92 | 0,1449 | 4,68 | 0,24 | 95 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,016 | 0,0030 |
| | 4,38 | 0,1400 | 4,29 | 0,09 | 98 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,014 | 0,0027 |
| | 3,84 | 0,1347 | 3,90 | -0,06 | 101 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,013 | 0,0024 |
| | 3,31 | 0,1270 | 3,36 | -0,05 | 102 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,011 | 0,0022 |
| | 2,77 | 0,1200 | 2,92 | -0,15 | 105 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,010 | 0,0020 |
| | 2,41 | 0,1118 | 2,44 | -0,03 | 101 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,008 | 0,0018 |
| | 1,93 | 0,1015 | 1,92 | 0,01 | 99 | 0,21 | 0,0263 | 0,0013 | 0,006 | 0,0016 |
| 11,00 | 7,75 | 0,1650 | 6,47 | 1,28 | 83 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,022 | 0,0033 |
| | 7,03 | 0,1620 | 6,18 | 0,85 | 88 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,021 | 0,0031 |
| | 6,40 | 0,1584 | 5,84 | 0,56 | 91 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,019 | 0,0030 |
| | 5,77 | 0,1539 | 5,44 | 0,33 | 94 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,018 | 0,0028 |
| | 5,14 | 0,1471 | 4,85 | 0,29 | 94 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,016 | 0,0026 |
| | 4,51 | 0,1422 | 4,46 | 0,05 | 99 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,015 | 0,0024 |
| | 3,88 | 0,1348 | 3,90 | -0,02 | 101 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,013 | 0,0021 |
| | 3,25 | 0,1253 | 3,25 | 0,00 | 100 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,011 | 0,0019 |
| | 2,83 | 0,1204 | 2,94 | -0,11 | 104 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,010 | 0,0017 |
| | 2,26 | 0,1094 | 2,32 | -0,06 | 102 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,008 | 0,0015 |
| 14,00 | 7,93 | 0,1657 | 6,54 | 1,39 | 82 | 0,50 | 0,0350 | 0,0100 | 0,022 | 0,0034 |
| | 7,22 | 0,1625 | 6,23 | 0,99 | 86 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,021 | 0,0032 |
| | 6,51 | 0,1573 | 5,74 | 0,77 | 88 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,019 | 0,0031 |
| | 5,8 | 0,1525 | 5,31 | 0,49 | 92 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,018 | 0,0029 |
| | 5,09 | 0,1476 | 4,90 | 0,19 | 96 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,016 | 0,0027 |
| | 4,38 | 0,1390 | 4,21 | 0,17 | 96 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,014 | 0,0024 |
| | 3,67 | 0,1327 | 3,75 | -0,08 | 102 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,013 | 0,0020 |
| | 3,19 | 0,1246 | 3,21 | -0,02 | 100 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,011 | 0,0019 |
| | 2,55 | 0,1140 | 2,57 | -0,02 | 101 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,009 | 0,0015 |

PLANILHA DE TESTES - BL 8

| SEM DEPRESSÃO NA SARJETA | | COM ABERTURA NA GUIA | | COM GRELHA NA SARJETA | | | GRELHA Nº 3 | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y ₀ ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,00 | 0,1640 | 6,37 | 0,63 | 91 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,021 | 0,0074 |
| | 6,40 | 0,1601 | 6,00 | 0,40 | 94 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,020 | 0,0072 |
| | 5,22 | 0,1487 | 4,99 | 0,23 | 96 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,017 | 0,0066 |
| | 4,74 | 0,1435 | 4,56 | 0,18 | 96 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,015 | 0,0065 |
| | 4,31 | 0,1387 | 4,19 | 0,12 | 97 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,014 | 0,0062 |
| | 3,89 | 0,1330 | 3,77 | 0,12 | 97 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,013 | 0,0060 |
| | 3,46 | 0,1273 | 3,38 | 0,08 | 98 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,011 | 0,0058 |
| 8,00 | 6,6 | 0,1607 | 6,06 | 0,54 | 92 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,020 | 0,0067 |
| | 5,99 | 0,1557 | 5,60 | 0,39 | 93 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,019 | 0,0065 |
| | 5,46 | 0,1505 | 5,14 | 0,32 | 94 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,017 | 0,0064 |
| | 4,92 | 0,1446 | 4,65 | 0,27 | 95 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,016 | 0,0061 |
| | 4,38 | 0,1384 | 4,17 | 0,21 | 95 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,014 | 0,0057 |
| | 3,84 | 0,1312 | 3,65 | 0,19 | 95 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,012 | 0,0054 |
| | 3,31 | 0,1236 | 3,14 | 0,17 | 95 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,010 | 0,0051 |
| | 2,77 | 0,1160 | 2,68 | 0,09 | 97 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,009 | 0,0048 |
| | 2,41 | 0,1088 | 2,28 | 0,13 | 95 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,008 | 0,0045 |
| | 7,75 | 0,1700 | 6,97 | 0,78 | 90 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,023 | 0,0064 |
| 11,00 | 7,03 | 0,1661 | 6,58 | 0,45 | 94 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,022 | 0,0062 |
| | 6,40 | 0,1605 | 6,04 | 0,36 | 94 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,020 | 0,0060 |
| | 5,77 | 0,1552 | 5,55 | 0,22 | 96 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,019 | 0,0058 |
| | 5,14 | 0,1487 | 4,99 | 0,15 | 97 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,017 | 0,0056 |
| | 4,51 | 0,1410 | 4,37 | 0,14 | 97 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,015 | 0,0053 |
| | 3,88 | 0,1334 | 3,80 | 0,08 | 98 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,013 | 0,0049 |
| | 3,25 | 0,1235 | 3,14 | 0,11 | 96 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | 2,83 | 0,1172 | 2,75 | 0,08 | 97 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,009 | 0,0044 |
| | 2,26 | 0,1084 | 2,26 | 0,00 | 100 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,008 | 0,0041 |
| | 7,93 | 0,1695 | 6,92 | 1,01 | 87 | 0,50 | 0,0350 | 0,0100 | 0,023 | 0,0066 |
| 14,00 | 7,22 | 0,1653 | 6,50 | 0,72 | 90 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,022 | 0,0063 |
| | 6,51 | 0,1605 | 6,04 | 0,47 | 93 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,020 | 0,0062 |
| | 5,8 | 0,1542 | 5,46 | 0,34 | 94 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,018 | 0,0060 |
| | 5,09 | 0,1471 | 4,85 | 0,24 | 95 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,016 | 0,0057 |
| | 4,38 | 0,1388 | 4,20 | 0,18 | 96 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,014 | 0,0053 |
| | 3,67 | 0,1293 | 3,52 | 0,15 | 96 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,012 | 0,0048 |
| | 3,19 | 0,1228 | 3,09 | 0,10 | 97 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | 2,55 | 0,1124 | 2,48 | 0,07 | 97 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,008 | 0,0041 |

PLANILHA DE TESTES - BL 9

| COM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | COM ABERTURA NA GUIA | | | COM GRELHA NA SARJETA | | | GRELHA Nº 3 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y ₀ ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1685 | 6,82 | 0,87 | 89 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,023 | 0,0076 |
| | 7,00 | 0,1645 | 6,42 | 0,58 | 92 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,021 | 0,0074 |
| | 6,40 | 0,1595 | 5,94 | 0,46 | 93 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,020 | 0,0072 |
| | 5,22 | 0,1481 | 4,94 | 0,28 | 95 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,016 | 0,0066 |
| | 4,74 | 0,1431 | 4,53 | 0,21 | 96 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,015 | 0,0065 |
| | 4,31 | 0,1382 | 4,15 | 0,16 | 96 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,014 | 0,0062 |
| | 3,89 | 0,1330 | 3,77 | 0,12 | 97 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,013 | 0,0060 |
| 8,00 | 3,46 | 0,1270 | 3,36 | 0,10 | 97 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,011 | 0,0058 |
| | 6,6 | 0,1608 | 6,07 | 0,53 | 92 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,020 | 0,0067 |
| | 5,99 | 0,1571 | 5,72 | 0,27 | 96 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,019 | 0,0065 |
| | 5,46 | 0,1513 | 5,21 | 0,25 | 95 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,017 | 0,0064 |
| | 4,92 | 0,1465 | 4,81 | 0,11 | 98 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,016 | 0,0061 |
| | 4,38 | 0,1398 | 4,27 | 0,11 | 98 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,014 | 0,0057 |
| | 3,84 | 0,1329 | 3,77 | 0,07 | 98 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,013 | 0,0054 |
| | 3,31 | 0,1246 | 3,21 | 0,10 | 97 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,011 | 0,0051 |
| 11,00 | 2,77 | 0,1158 | 2,67 | 0,10 | 96 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,009 | 0,0048 |
| | 2,41 | 0,1099 | 2,34 | 0,07 | 97 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,008 | 0,0045 |
| | 7,75 | 0,1690 | 6,87 | 0,88 | 89 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,023 | 0,0064 |
| | 7,03 | 0,1636 | 6,33 | 0,70 | 90 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,021 | 0,0062 |
| | 6,40 | 0,1600 | 5,99 | 0,41 | 94 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,020 | 0,0060 |
| | 5,77 | 0,1539 | 5,44 | 0,33 | 94 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,018 | 0,0058 |
| | 5,14 | 0,1472 | 4,86 | 0,28 | 95 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,016 | 0,0056 |
| | 4,51 | 0,1404 | 4,32 | 0,19 | 96 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,014 | 0,0053 |
| | 3,88 | 0,1325 | 3,74 | 0,14 | 96 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,012 | 0,0049 |
| 14,00 | 3,25 | 0,1247 | 3,21 | 0,04 | 99 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,011 | 0,0046 |
| | 2,83 | 0,1167 | 2,72 | 0,11 | 96 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,009 | 0,0044 |
| | 2,26 | 0,1064 | 2,16 | 0,10 | 96 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,007 | 0,0041 |
| | 7,22 | 0,1643 | 6,40 | 0,82 | 89 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,021 | 0,0063 |
| | 6,51 | 0,1590 | 5,90 | 0,61 | 91 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,020 | 0,0062 |
| | 5,8 | 0,1540 | 5,44 | 0,36 | 94 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,018 | 0,0060 |
| | 5,09 | 0,1468 | 4,83 | 0,26 | 95 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,016 | 0,0057 |
| | 4,38 | 0,1388 | 4,20 | 0,18 | 96 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,014 | 0,0053 |
| 3,67 | 0,1295 | 3,53 | 0,14 | 96 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,012 | 0,0048 | |
| 14,00 | 3,19 | 0,1217 | 3,02 | 0,17 | 95 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | 2,55 | 0,1115 | 2,43 | 0,12 | 95 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,008 | 0,0041 |

PLANILHA DE TESTES - BL 10

| COM DEPRESSÃO NA SARJETA | | | SEM ABERTURA NA GUIA | | | COM GRELHA NA SARJETA | | | GRELHA Nº 3 | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| Inclin. Long. | Vazão de entrada | Lâmina no vertedouro | vazão captada | Vazão passante | Eficiência | Lâmina d'água | | | Dados para gráfico | |
| | | | | | | largura na sarjeta | Profundidade interna | Profundidade externa | Q _{cap} /L | y ₀ ^{1,5} |
| I (%) | Q ₀ (l/s) | H (m) | Q (l/s) | q (l/s) | (%) | T (m) | y ₀ (m) | y' | (l/s.m) | |
| 5,00 | 7,69 | 0,1685 | 6,82 | 0,87 | 89 | 0,62 | 0,0386 | 0,0136 | 0,023 | 0,0076 |
| | 7,00 | 0,1645 | 6,42 | 0,58 | 92 | 0,60 | 0,0380 | 0,0130 | 0,021 | 0,0074 |
| | 6,40 | 0,1595 | 5,94 | 0,46 | 93 | 0,58 | 0,0373 | 0,0123 | 0,020 | 0,0072 |
| | 5,22 | 0,1481 | 4,94 | 0,28 | 95 | 0,50 | 0,0351 | 0,0101 | 0,016 | 0,0066 |
| | 4,74 | 0,1431 | 4,53 | 0,21 | 96 | 0,49 | 0,0347 | 0,0097 | 0,015 | 0,0065 |
| | 4,31 | 0,1382 | 4,15 | 0,16 | 96 | 0,46 | 0,0338 | 0,0088 | 0,014 | 0,0062 |
| | 3,89 | 0,1330 | 3,77 | 0,12 | 97 | 0,43 | 0,0330 | 0,0080 | 0,013 | 0,0060 |
| | 3,46 | 0,1270 | 3,36 | 0,10 | 97 | 0,41 | 0,0322 | 0,0072 | 0,011 | 0,0058 |
| 8,00 | 6,6 | 0,1608 | 6,07 | 0,53 | 92 | 0,52 | 0,0356 | 0,0106 | 0,020 | 0,0067 |
| | 5,99 | 0,1571 | 5,72 | 0,27 | 96 | 0,50 | 0,0349 | 0,0099 | 0,019 | 0,0065 |
| | 5,46 | 0,1513 | 5,21 | 0,25 | 95 | 0,48 | 0,0343 | 0,0093 | 0,017 | 0,0064 |
| | 4,92 | 0,1465 | 4,81 | 0,11 | 98 | 0,44 | 0,0333 | 0,0083 | 0,016 | 0,0061 |
| | 4,38 | 0,1398 | 4,27 | 0,11 | 98 | 0,39 | 0,0318 | 0,0068 | 0,014 | 0,0057 |
| | 3,84 | 0,1329 | 3,77 | 0,07 | 98 | 0,36 | 0,0307 | 0,0057 | 0,013 | 0,0054 |
| | 3,31 | 0,1246 | 3,21 | 0,10 | 97 | 0,32 | 0,0297 | 0,0047 | 0,011 | 0,0051 |
| | 2,77 | 0,1158 | 2,67 | 0,10 | 96 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,009 | 0,0048 |
| 2,41 | 0,1099 | 2,34 | 0,07 | 97 | 0,24 | 0,0272 | 0,0022 | 0,008 | 0,0045 | |
| 11,00 | 7,75 | 0,1690 | 6,87 | 0,88 | 89 | 0,49 | 0,0346 | 0,0096 | 0,023 | 0,0064 |
| | 7,03 | 0,1636 | 6,33 | 0,70 | 90 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,021 | 0,0062 |
| | 6,40 | 0,1600 | 5,99 | 0,41 | 94 | 0,44 | 0,0332 | 0,0082 | 0,020 | 0,0060 |
| | 5,77 | 0,1539 | 5,44 | 0,33 | 94 | 0,41 | 0,0324 | 0,0074 | 0,018 | 0,0058 |
| | 5,14 | 0,1472 | 4,86 | 0,28 | 95 | 0,38 | 0,0314 | 0,0064 | 0,016 | 0,0056 |
| | 4,51 | 0,1404 | 4,32 | 0,19 | 96 | 0,34 | 0,0303 | 0,0053 | 0,014 | 0,0053 |
| | 3,88 | 0,1325 | 3,74 | 0,14 | 96 | 0,29 | 0,0287 | 0,0037 | 0,012 | 0,0049 |
| | 3,25 | 0,1247 | 3,21 | 0,04 | 99 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,011 | 0,0046 |
| | 2,83 | 0,1167 | 2,72 | 0,11 | 96 | 0,22 | 0,0267 | 0,0017 | 0,009 | 0,0044 |
| 2,26 | 0,1064 | 2,16 | 0,10 | 96 | 0,19 | 0,0256 | 0,0006 | 0,007 | 0,0041 | |
| 1 | 7,22 | 0,1643 | 6,40 | 0,82 | 89 | 0,47 | 0,0342 | 0,0092 | 0,021 | 0,0063 |
| | 6,51 | 0,1590 | 5,90 | 0,61 | 91 | 0,46 | 0,0337 | 0,0087 | 0,020 | 0,0062 |
| | 5,8 | 0,1540 | 5,44 | 0,36 | 94 | 0,43 | 0,0329 | 0,0079 | 0,018 | 0,0060 |
| | 5,09 | 0,1468 | 4,83 | 0,26 | 95 | 0,40 | 0,0319 | 0,0069 | 0,016 | 0,0057 |
| | 4,38 | 0,1388 | 4,20 | 0,18 | 96 | 0,35 | 0,0305 | 0,0055 | 0,014 | 0,0053 |
| | 3,67 | 0,1295 | 3,53 | 0,14 | 96 | 0,28 | 0,0285 | 0,0035 | 0,012 | 0,0048 |
| | 3,19 | 0,1217 | 3,02 | 0,17 | 95 | 0,26 | 0,0277 | 0,0027 | 0,010 | 0,0046 |
| | 2,55 | 0,1115 | 2,43 | 0,12 | 95 | 0,19 | 0,0257 | 0,0007 | 0,008 | 0,0041 |