

IX-039 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO DE BOCAS DE LOBO EM INTERSEÇÕES VERTICAIS DE GREIDES DE VIAS ASSOCIADO AO RESSALTO HIDRÁULICO PROMOVIDO PELAS INTERSEÇÕES: RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISA EXPERIMENTAL

Maria da Glória Braz⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Professora da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC e Consultora e Diretora da EH2 - Estudos Hidrológicos e Hidráulicos Ltda.

Maria Elizabeth Monteiro Vidal Ferreira⁽²⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Professora da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. É consultora na área de Engenharia Civil, com ênfase em Hidráulica, atuando principalmente em projetos de instalações prediais, saneamento, meio ambiente e drenagem urbana.

Endereço⁽¹⁾: Rua Cobre, 200 - Cruzeiro - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.310-190- Brasil - Tel: (31) 3228-3000- Cel: (31) 8838-9493 - e-mail: gloriabraz@fumec.br

RESUMO

O projeto de um sistema de drenagem deve ser elaborado para que o escoamento das águas pluviais seja captado e esgotado dos arruamentos, através das sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias e estruturas acessórias, convenientemente localizadas.

O elemento captador essencial à eficácia do sistema de drenagem é a boca de lobo, e a sua eficiência se relaciona com a capacidade de engolimento, que é função da altura da lâmina d'água no trecho da sarjeta, imediatamente à montante da mesma, tipo, dimensões e ponto de localização.

No caso da altura da lâmina d'água e da localização das bocas de lobo, é importante ressaltar que podem ser aproveitados os pontos de interseção vertical dos greides das ruas, para aumentar o engolimento, utilizando-se do ressalto hidráulico resultante da mudança dessa declividade.

As variáveis hidráulicas básicas definidoras do ressalto hidráulico são as alturas conjugadas, sendo a altura da lâmina d'água na região torrencial (y_1) e a altura da lâmina d'água na região fluvial (y_2), sendo o comprimento do ressalto denominado L_r .

Hidraulicamente, não existem, ainda, discussões sobre o aproveitamento da interseção de greides de vias para o aumento da capacidade de absorção das bocas de lobo, ressaltando-se que a relação das alturas conjugadas do ressalto hidráulico com a sua extensão e a capacidade de absorção e localização das bocas de lobo em interseções de greides, não é lembrada nos projetos de drenagem urbana, especialmente no que diz respeito à desejável altura de água e acomodação do fluxo sobre a grelha, no intuito de promover melhor engolimento.

Este trabalho propõe a realização de estudos experimentais em laboratório, através de protótipos que simulem as condições hidráulicas e topográficas dos arruamentos urbanos para que se consiga prever o melhor desempenho das bocas de lobo nos sistemas de drenagem.

PALAVRAS-CHAVE: Ressalto Hidráulico, Bocas de Lobo, Interseção de Vias, Capacidade de Engolimento.

INTRODUÇÃO

O bom desempenho dos sistemas de drenagem urbana é essencial para o conforto da população, uma vez que a sua função é protegê-la contra os danos que possam resultar da ação do escoamento das águas pluviais.

Dessa forma, o projeto desse sistema deve ser elaborado para que o escoamento das águas pluviais seja captado e esgotado das ruas, através das sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias e estruturas acessórias, projetados com o objetivo de captar e conduzir as águas de chuva até o ponto de despejo convenientemente localizado.

O elemento captador essencial à eficácia do sistema de drenagem é a boca de lobo, e a sua eficiência se relaciona com a capacidade de engolimento, que é função da altura da lâmina d'água no trecho da sarjeta imediatamente à montante da mesma, tipo, dimensões e ponto de localização.

No caso da altura da lâmina d'água e da localização das bocas de lobo, é importante ressaltar que podem aproveitados os pontos de interseção vertical e, conseqüentemente, o desenvolvimento da parábola vertical dos greides das ruas, para aumentar o engolimento, utilizando-se do ressalto hidráulico resultante da mudança de declividade dos greides.

O RESSALTO HIDRÁULICO

O ressalto hidráulico ocorre em escoamentos com superfície livre e na transição de um escoamento em regime supercrítico para um escoamento em regime subcrítico, sendo caracterizado pela elevação brusca no nível d'água, a uma curta distância, com grande turbulência e conseqüente perda de energia.

O ressalto hidráulico pode ser classificado, segundo CHOW (1959) em função do número de Froude, que é a razão entre forças inerciais e de campo gravitacional, na seção de escoamento torrencial, denominado como F_1 , conforme a seguir:

- Se $1 < F_1 < 1,7$: ressalto hidráulico ondulado. Neste caso não se tem o ressalto propriamente dito, mas sim a formação de ondas que se propagam para jusante. A dissipação de energia é muito pequena e, dessa forma, o ressalto não é empregado como dissipador;
- Se $1,7 < F_1 < 2,5$: ressalto hidráulico fraco. Pouca energia é dissipada. Há a formação de uma série de pequenos vórtices sob a superfície livre na porção do ressalto e a região a jusante do mesmo continua aproximadamente uniforme e lisa;
- Se $2,5 < F_1 < 4,5$: ressalto oscilante. Neste intervalo, o ressalto exibe uma superfície livre com ondulações, ocorrendo a formação de ondas que se propagam para jusante, podendo alcançar longa distância;
- Se $4,5 < F_1 < 9,0$: ressalto estável. É muito utilizado como dissipador de energia em bacias de dissipação, sendo que grande parte da energia total a montante do ressalto é dissipada ao longo de sua extensão;
- Se $F_1 > 9,0$: ressalto forte. Este tipo de ressalto não é empregado como dissipador de energia, pois acarreta sérios problemas nas estruturas em função da magnitude elevada da sua turbulência.

A Figura 1, abaixo, auxilia no entendimento da classificação, acima referida.

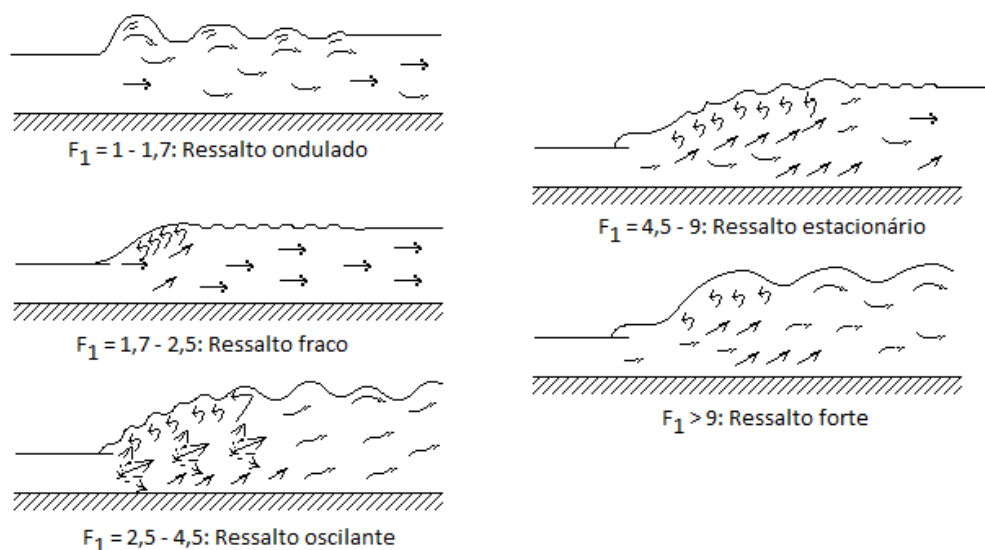


Fig. 1 - Tipos de ressalto hidráulico e respectivos intervalos quanto ao número de Froude.

Fonte: Chow, 1959

Características do Ressalto

As variáveis hidráulicas básicas definidoras do ressalto hidráulico são as alturas conjugadas y_1 (altura da lâmina d'água na região torrencial) e y_2 (altura da lâmina d'água na região fluvial), a altura do ressalto que é a diferença entre as alturas conjugadas e o comprimento do ressalto, denominado L_r .

No caso de canais retangulares, existe a possibilidade de se calcular uma relação explícita entre y_2/y_1 e F_1 , ou o contrário, y_1/y_2 e F_2 , segundo BAPTISTA E COELHO (2006) utilizando-se o teorema da quantidade de movimento linear e o princípio de conservação de massa.

$$y_1/y_2 = [\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1] \quad \text{equação (1)}$$

$$y_2/y_1 = [\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1] \quad \text{equação (2)}$$

Pode-se, através desses princípios físicos, obter relações entre estas variáveis e até mesmo outras variáveis geométricas, para outras formas de canais, encontradas em LENCASTRE (1983) e PORTO (2006).

Todavia, o comprimento do ressalto não pode ser determinado por expressões teóricas, e por esta razão, recorre-se a resultados experimentais, quando se pretende calculá-lo. Existem diversas formulações que possibilitam estimar o comprimento do ressalto, sendo a expressão sugerida pelo U.S. Bureau of Reclamation (BAPTISTA e COELHO, 2006), a mais utilizada no meio técnico.

$$L_r = 6,9 (y_2 - y_1) \quad \text{equação (3)}$$

Ressalto em Canais com Geometria Não-retangular

Para canais prismáticos, não-retangulares, não existem expressões diretas, tais como as obtidas para canais de geometria retangular, tendo-se que lançar mão da equação da conservação da quantidade de movimento e ajustá-la, conforme a seguir:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 = \rho Q (\vec{U}_2 - \vec{U}_1) \quad \text{equação (4)}$$

Tendo-se:

\vec{R} como a resultante das forças atuantes no sistema;

\vec{F}_1 e \vec{F}_2 como as forças hidrostáticas atuantes nas seções 1 e 2;

\vec{U}_1 e \vec{U}_2 como as velocidades nas respectivas seções.

$$\frac{\rho Q}{g} (U_2 - U_1) = \gamma A_1 h_{01} - \gamma A_2 h_{02} \quad \text{equação (5)}$$

Sendo h_0 , a extensão da superfície até o centro de gravidade da seção molhada e A , as áreas molhadas nas referentes seções. Aplicando-se a equação da continuidade, chega-se à seguinte expressão:

$$\frac{Q^2}{gA_1} + A_1 h_{01} = \frac{Q^2}{gA_2} + A_2 h_{02} \quad \text{equação (6)}$$

Há que se considerar, na utilização da equação (6), relativa dificuldade de aplicação, tendo em vista que deve ser resolvida iterativamente. No entanto, segundo FRENCH (1986), algumas expressões e gráficos semi-empíricos são encontrados na literatura, podendo facilitar a avaliação do ressalto em seções não-retangulares.

Ressalto em Canais com Greides Sequentes e Diferentes Declividades

Em canais com greides sequentes e diferentes declividades, o peso do volume de controle relativo ao ressalto hidráulico é componente importante na avaliação das profundidades conjugadas e comprimento do ressalto,

haja vista que o gradiente da declividade é diretamente proporcional à velocidade do escoamento. Dessa forma, torna-se bastante complexa a avaliação e, consequentemente, o seu tratamento matemático.

CHOW (1959) descreve estudos teóricos e experimentais sobre o assunto, apresentando gráficos que permitem o tratamento da questão de forma mais prática.

Há que se salientar que o ressalto em canais de geometria não-retangular e greides sequentes pode adquirir formas e posicionamentos bem diferentes dos, até o momento, publicados no meio técnico, sendo necessário estudo mais aprofundado sobre o assunto.

SARJETAS

As sarjetas são canais, localizados nas laterais das ruas, mais precisamente entre o leito carroçável e o passeio, com o objetivo de captar e escoar as águas provenientes do escoamento superficial e transportá-las até às bocas de lobo. São limitadas verticalmente pela guia do passeio e acompanham o greide da rua onde estão implantadas.

No dimensionamento das sarjetas, considera-se uma margem de segurança na sua capacidade de condução, pois podem ocorrer problemas de ordem operacional, levando à diminuição da sua capacidade de escoamento ou acarretando danos materiais ou humanos através de excessivas velocidades.

Em pequenas declividades é comum o assoreamento e obstruções parciais da sarjeta, reduzindo a capacidade de escoamento. Nas declividades maiores, é importante a limitação da velocidade de escoamento, haja vista a proteção do pedestre e do próprio pavimento.

Para o caso dos greides admissíveis em projeto geométricos de arruamentos, MASCARÓ (2005) apresenta as declividades máximas referenciais recomendáveis para as vias urbanas, no intuito de se ter o bom trânsito de veículos. Essas declividades se encontram materializadas na tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Declividades Máximas Referenciais para Vias Urbanas

Tipo de Via	Declividades Máximas Recomendáveis (%)
Arterial	5
Coletoras	7
Locais	15
Interiores de Quarteirão	20

Fonte: MASCARÓ (2005)

Para as seções usuais de sarjetas em projetos urbanos, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte através da Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP (2004) indica as seções tipos A, B e C para as seguintes declividades, respectivamente, $I > 16\%$, $16\% \geq I \geq 0,50\%$, $I < 0,50\%$. As Figuras 2 a 4 mostram as seções e tipos das referidas sarjetas.

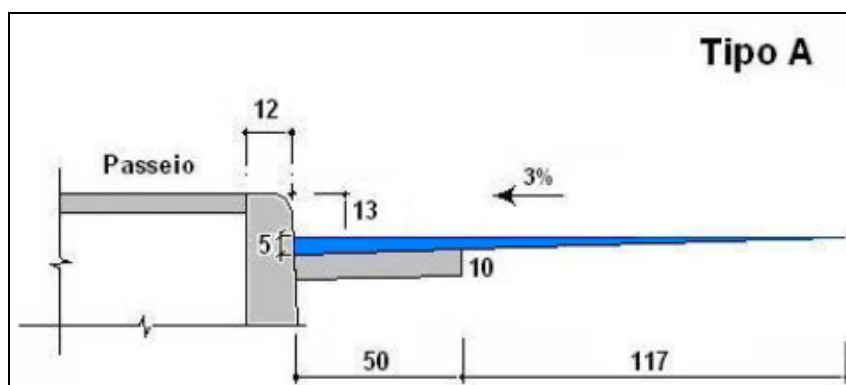


Fig. 2 - Sarjeta Tipo A - Padrão SUDECAP

Fonte: SUDECAP, 2004

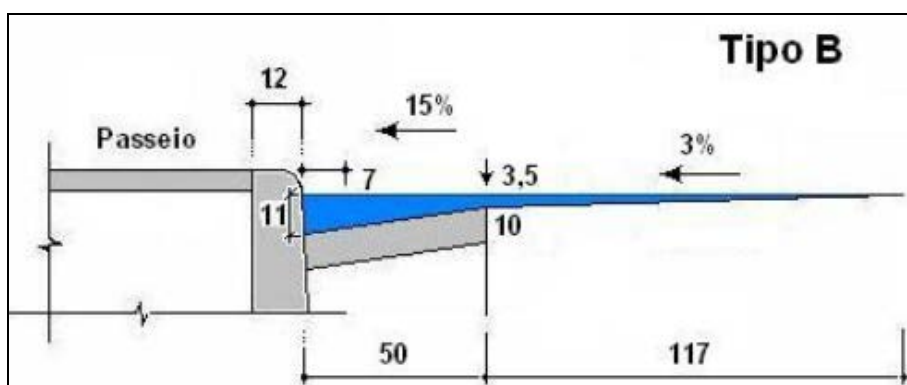


Fig. 3 - Sarjeta Tipo B - Padrão SUDECAP

Fonte: SUDECAP, 2004

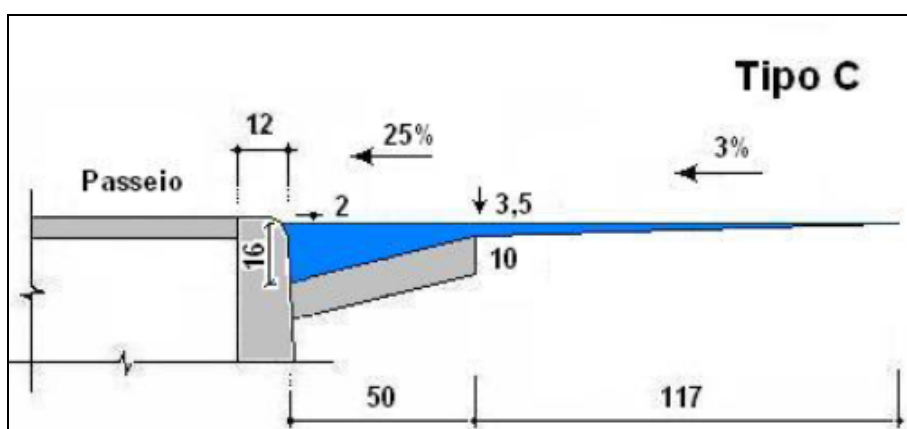


Fig. 4 - Sarjeta Tipo C - Padrão SUDECAP

Fonte: SUDECAP, 2004

Diante dos tipos de sarjetas apresentados, verifica-se que as sarjetas tipo A e B são as que possuem maior probabilidade de se aproveitar as profundidades conjugadas do ressalto hidráulico para o engolimento ótimo das bocas de lobo.

BOCAS DE LOBO

As bocas de lobo ou bocas coletoras são estruturas hidráulicas destinadas a interceptar as águas escoadas pela sarjeta e encaminhá-las às galerias pluviais. Dependendo da estrutura, localização ou funcionamento, as bocas de lobo podem ser agrupadas em:

- Quanto à estrutura: simples, combinada ou múltipla;
- Quanto à localização ao longo das sarjetas: intermediárias; de cruzamento ou de ponto baixo. As intermediárias são aquelas que se localizam ao longo das sarjetas, em pontos onde a capacidade de escoamento atinge o limite máximo admissível; as de cruzamento localizam-se a montante das seções das sarjetas, nas esquinas dos quarteirões e as bocas de lobo de pontos baixos que se encontram situadas nos pontos de inversão côncava da declividade de rua;
- Quanto ao funcionamento: livre ou afogada, sendo que se denomina livre, a que funciona como vertedouro e afogada, a que funciona como orifício, dependendo dessas condições hidráulicas, exclusivamente, da altura de água na sarjeta e da abertura da boca de lobo.

Ressalta-se, ainda, que no meio técnico se encontram disseminadas as seguintes indicações para a escolha do tipo da boca de lobo:

- a) Boca de lobo simples: em pontos intermediários de sarjetas com pequena declividade longitudinal ($I < 5\%$); na possibilidade de existir materiais obstrutivos nas sarjetas; em vias de tráfego intenso e a montante dos cruzamentos;
- b) Boca coletora com grelha: em sarjetas com limitação de depressão; na inexistência de materiais obstrutivos e em pontos intermediários das sarjetas localizadas em vias com declividade longitudinal ($I > 10\%$).
- c) Combinada: em pontos baixos de vias; em pontos intermediários da sarjeta com declividade média entre 5 e 10%; na existência de materiais obstrutivos;
- d) Múltipla: em pontos baixos das vias e na presença de sarjetas com grandes vazões.

Mesmo sendo elemento de grande importância na dinâmica do processo captação-escoamento nos sistemas de drenagem urbana, as pesquisas, até então, não possuem demasiada abrangência sobre todas as condições de projeto que envolvem as bocas de lobo.

SOUZA (1986) cita que um grupo de pesquisadores, pertencentes à Universidade de Johns Hopkins, desenvolveu estudos para averiguar problemas oriundos do comportamento hidráulico de diversos tipos de boca de lobo. Estes estudos, ainda são referências no dimensionamento dessas estruturas de drenagem. Em todos os estudos, verificou-se que a boca de lobo com depressão apresentou maior eficiência hidráulica.

Pesquisas de DALFRÉ E GENOVEZ (2004) avaliaram em laboratório, um modelo de boca de lobo simples, sem depressão e com uma abertura adicional na guia. Os resultados mostraram que houve grande acréscimo na eficiência hidráulica desse tipo de boca de lobo, tendo sido encontrados coeficientes de descarga superiores em até duas vezes aos coeficientes referidos em outras pesquisas elaboradas com bocas de lobo simples e sem abertura adicional na guia.

Baseados em modelo reduzido na escala 1:3, os estudos de CARDOSO *et al.* (2004) avaliaram os coeficientes de captação de uma boca de lobo com defletores instalados em frente à abertura na guia e no sentido perpendicular ao fluxo da sarjeta. Essa pesquisa mostrou que o coeficiente de descarga, nesse caso, é superior a duas vezes o coeficiente encontrado em outras pesquisas elaboradas com bocas de lobo sem defletores na sarjeta, em frente à abertura na guia.

LIMA (2007) e LIMA & COELHO (2007) elaboraram estudo detalhado das bocas de lobo situadas em sarjetas de greide contínuo, com base em modelo reduzido em escala 1:3 e admitiram a necessidade de se estudar as diferentes configurações das lâminas d'água, quando da mudança da declividade do greide da rua.

METODOLOGIA DOS ESTUDOS PROPOSTOS

Em nenhum estudo, até agora desenvolvido, pesquisou-se o emprego das alturas conjugadas de ressalto na verificação do melhor posicionamento da boca de lobo na via e sua localização, quando da deflexão do greide da rua em função do melhor desempenho hidráulico deste dispositivo.

Estudos já consagrados, visando o aumento da capacidade de engolimento das bocas de lobo indicam a adoção da chamada *depressão*, que nada mais é do que um rebaixamento executado na sarjeta junto à entrada da boca coletora, com a finalidade de majorar a capacidade de engolimento desse dispositivo.

Somente através da utilização de modelo físico, poderá se estabelecer a eficiência de captação da boca de lobo quando da deflexão do greide das vias. O modelo físico buscará reproduzir pequenos segmentos de vias com deflexões de greide, equipá-los com sarjeta e, na sua interseção, inserir boca de lobo, seguindo os padrões adotados nos sistemas de drenagem de Belo Horizonte (MG).

A escala básica para qualquer tipo de modelo hidráulico é a escala geométrica. A escolha dessa escala dependerá do sistema a ser estudado e do espaço físico disponível no laboratório. Após a escolha da escala geométrica, a semelhança dinâmica deve ser empregada para se definir as outras escalas necessárias para que as avaliações efetuadas no modelo possam ser utilizadas na determinação dos valores no protótipo.

As leis de semelhança mais adequadas para os modelos hidráulicos são as que consideram as forças gravitacionais e viscosas, sendo que as escalas definidas para a velocidade, comprimentos, tempos, etc, são pré-requisitos da semelhança dinâmica, tanto para a semelhança de Froude quanto para a semelhança de Reynolds.

Um sistema fluido que está submetido a um sistema complexo de forças, em muitos casos não se pode atender todos os critérios de semelhança, como é o caso de um modelo e um protótipo utilizando o mesmo fluido. Assim, deve-se construir um modelo fundamentado na seleção de escalas apropriadas em função da força dominante que, nesse caso específico, é a força gravitacional, sendo o escoamento modelado com base na semelhança de Froude.

Esse modelo físico será montado no laboratório do Curso de Mestrado em Construção Civil na Universidade FUMEC, sendo sua escala 1:3. Ele será instalado sobre o canal em concreto existente no local e o material utilizado na sua execução é o acrílico, cuja espessura da placa é de 8mm. Cabe lembrar, entretanto, que para se moldar o modelo, será necessária a utilização de placa MDF, para que os ajustes e medidas sejam tal e qual os protótipos escolhidos. Após a instalação do modelo, serão calibradas as semelhanças, no sentido de diminuir o efeito de escala.

Após, cada modelo de sarjeta (tipo x greide) ser elaborado e calibrado, se avaliará, em primeiro momento, as características hidráulicas do ressalto, impostas pelo escoamento, declividade e seção geométrica. Posteriormente, verificar-se-á a capacidade de absorção da boca de lobo, através de seu posicionamento em relação ao ressalto hidráulico promovido através dos experimentos de laboratório, conforme mostrado no esquema abaixo, materializado na figura 5.

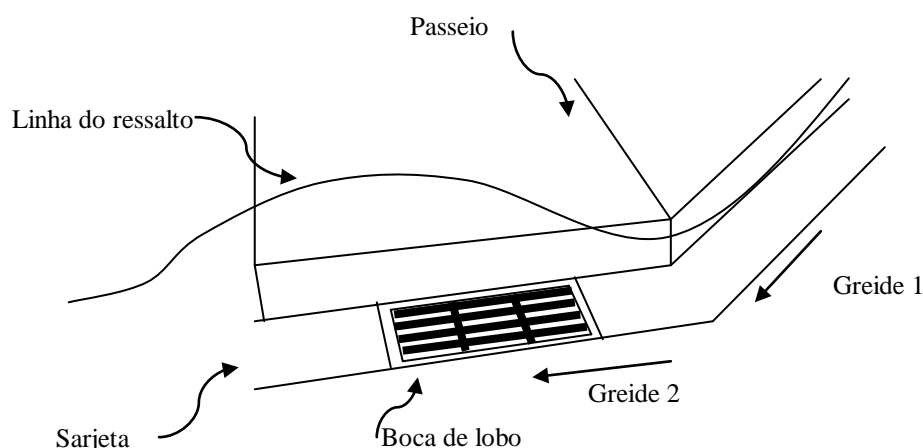


Fig. 5 – Esquema do posicionamento da boca de lobo na interseção do greide da via

Fonte: Desenho das autoras (2013)

Posteriormente, estudar-se-á a eficiência hidráulica para as bocas de lobo simples em vias com interseção de greides com declividades entre 5 e 14%, utilizados nos estudos de SOUZA (1986). Espera-se, assim, colaborar para os estudos de aferição da eficiência hidráulica das bocas de lobo em determinadas condições de funcionamento.

DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

Em vista de se possuir pouco espaço neste artigo, para se discutir todos os pormenores do assunto em pauta, há que se destacar a importância do estudo que se propõe, haja vista que, do ponto de vista hidráulico, não existem, ainda, discussões sobre o aproveitamento da interseção de greides de vias para o aumento da capacidade de absorção das bocas de lobo.

A relação das alturas conjugadas do ressalto hidráulico com a extensão do mesmo versus a capacidade de absorção e localização das bocas de lobo em interseções de greides, não é lembrada nos projetos de drenagem

urbana, especialmente no que diz respeito à desejável altura de água e acomodação do fluxo sobre a grelha, no intuito de promover melhor engolimento.

Deve-se, ainda, lembrar que os estudos sobre ressalto hidráulico em canais com geometria não retangular e em canais inclinados são objeto, até o momento, de tratamento prático através de gráficos. Dessa forma, é importante se implementar estudos e pesquisas com foco no assunto.

Com base na afirmação de que o sistema de microdrenagem existe para dar condições aceitáveis de circulação de veículos e pedestres nas áreas urbanas, quando da ocorrência de chuvas frequentes, e que é necessário se verificar o seu desempenho em eventos de grande magnitude, sob a ótica de possíveis danos às propriedades e riscos de perdas humanas, acredita-se que os estudos, ora apontados, são de grande importância para a ciência hidráulica e a engenharia hidráulica.

Recomenda-se, assim, a realização de estudos experimentais em laboratório, através de protótipos que simulem as condições hidráulicas e topográficas ótimas para que esses dispositivos hidráulicos funcionem satisfatoriamente nas condições, aqui sugeridas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAPTISTA, M.; COELHO, M.L., M. *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. Editora UFMG, 2ª ed. Belo Horizonte, 2006.
2. CARDOSO, C. H. A.; GENOVEZ, A. I. B.; GENOVEZ, A. M. *Eficiência de captação de águas pluviais com defletores*. in Anais do 1o Congresso da água, 2004, Campinas. São Paulo, 2004.
3. CHOW, V.T.. *Open-Channel Hydraulics*. McGrall-Hill Book Company, International Editions. 1959.
4. DALFRÉ P. M. O.; GENOVEZ A. I. B. *Eficiência de captação em boca de lobo com depressão e rasgo adicional* in Anais do XXI Congresso latino americano de hidráulica, São Pedro. São Paulo, 2004.
5. FRENCH, R.H. *Open-Channel Hydraulics*. Singapura. McGrall-Hill, 1986, 705p.
6. LIMA, J. G. A., COELHO, M. M. L. P. *Avaliação das capacidades das sarjetas e bocas de lobo* in Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, MG, 2007.
7. LIMA, J. G. A. *Investigações experimentais da eficiência hidráulica em bocas de lobo em greide contínuo*. 2007. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
8. MASCARÓ, J.L. *Loteamentos Urbanos*. Porto Alegre, R.S. Editora Masquatro, 2005, 2ª Edição, 210p.
9. SOUZA, P. A., *Eficiência Hidráulica da Boca de lobo*. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.
10. LENCASTRE, A. *Hidráulica Geral*; edição do autor, reimpressão, 1996.
11. PORTO, R.M *Hidráulica básica*. Projeto Reenge, EESC-USP, SP, 2006.
12. SUDECAP. *Sistema de Microdrenagem*. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2004.