

FLUXOGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE BOCAS DE LOBO SEM DEPRESSÃO

KHAUAN MOREIRA GUIRRA¹, VALDETE SANTOS DE ARAÚJO², CARLA SOUZA CALHEIROS³

¹Graduando em Engenharia Civil, Bolsista FAPEAM/PAIC, UEA, Manaus - Am, khauanmoreira@gmail.com;

²Dra. em Engenharia Civil, Prof.^a Associada, UEA, Manaus - Am, vsaraujo@uea.edu.br;

³Dra. em Engenharia Civil, Prof.^a Associada, UEA, Manaus - Am, ccalheiros@uea.edu.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
07 a 10 de outubro de 2024

RESUMO: Este estudo teve como objetivo criar um fluxograma para o dimensionamento de bocas de lobo sem depressão, utilizando as equações da *Federal Highway Administration* (FHWA) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). A metodologia envolveu três etapas principais: a revisão das equações disponíveis, a análise dos parâmetros necessários e a criação do fluxograma com um passo a passo detalhado. O desenvolvimento do fluxograma foi baseado nas equações específicas e nos critérios estabelecidos pelos órgãos reguladores, visando proporcionar uma ferramenta eficaz e otimizada para o dimensionamento dessas estruturas. Os resultados obtidos incluíram a criação de um fluxograma que facilita o cálculo correto e eficiente das bocas de lobo, contribuindo para a melhoria dos sistemas de drenagem urbana e a mitigação de alagamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem urbana, bocas de lobo, dimensionamento, fluxograma.

FLOWCHART FOR DIMENSIONING STORM DRAIN INLETS WITHOUT DEPRESSIONS

ABSTRACT: This study aimed to create a flowchart for dimensioning storm drain inlets without depressions, using equations from the Federal Highway Administration (FHWA) and the National Department of Transport Infrastructure (DNIT). The methodology involved three main steps: reviewing the available equations, analyzing the necessary parameters, and developing the flowchart with a detailed step-by-step guide. The flowchart was developed based on specific equations and criteria established by regulatory agencies, with the goal of providing an effective and optimized tool for dimensioning these structures. The results included the creation of a flowchart that facilitates the correct and efficient calculation of storm drain inlets, contributing to the improvement of urban drainage systems and the mitigation of flooding.

KEYWORDS: Urban drainage, storm drain inlets, dimensioning, flowchart.

INTRODUÇÃO

Os alagamentos urbanos têm se intensificado devido ao aumento das chuvas e às mudanças climáticas, revelando deficiências nos sistemas de drenagem das cidades brasileiras. Atualmente, cerca de 3 em cada 4 brasileiros vivem em cidades com risco de alagamentos, inundações e deslizamentos de terra (PODER360, 2024). Muitas dessas cidades foram projetadas sem uma ênfase adequada na drenagem, resultando em problemas como a proliferação de doenças e acidentes de trânsito.

Componentes essenciais da microdrenagem urbana, como bocas de lobo e sarjetas, são fundamentais para o escoamento eficaz da água da chuva (WOLSKI et al., 2019). A NBR 17015:2023 da ABNT fornece diretrizes para projetos de infraestrutura linear, mas não detalha o dimensionamento específico desses dispositivos (ABNT, 2023). Para isso, os manuais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), como IPR-724 e IPR-715, oferecem parâmetros e métodos necessários para o dimensionamento de sistemas de drenagem (DNIT, 2006).

Dado que a variabilidade hidrológica no Brasil dificulta a aplicação universal de normas, muitos projetistas adotam métodos da *Federal Highway Administration* (FHWA) para dimensionar sistemas de microdrenagem (PINTO; JUNIOR, 2017; FHWA, 1996). Este estudo desenvolveu um

fluxograma baseado nesses métodos para otimizar o dimensionamento de bocas de lobo e melhorar a eficiência dos sistemas de drenagem urbana.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o dimensionamento e validação dos dispositivos de drenagem urbana, foram utilizados diversos manuais e normas técnicas. A análise e os cálculos foram baseados no Manual do DNIT IPR-724:2006, que estabelece diretrizes para o dimensionamento de sistemas de drenagem de rodovias (DNIT, 2006), e no Manual do DNIT IPR-715:2005, que aborda fundamentos hidrológicos e métodos para determinar índices pluviométricos (DNIT, 2005). Também foi consultado o Manual da FHWA: *Urban Drainage Design Manual* (FHWA, 1996), que fornece métodos e fórmulas para o design de sistemas de drenagem urbana, e a ABNT NBR 10844:1989, que orienta as instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989), esta é utilizada para a retirada do índice pluviométrico conforme a região do projeto. Além disso, o Manual do DAEE/CETESB sobre drenagem urbana forneceu diretrizes específicas para o projeto de sistemas de drenagem (DAEE/CETESB, 2000).

Segundo o DNIT (2006) para a determinação da vazão que será necessário drenar utiliza-se o método racional, onde é necessário multiplicar a área de precipitação pelo coeficiente de “*Runn off*” definido como o indicador da porcentagem de água que escoará por determinado material (também encontrado como o valor ao qual se soma ao coeficiente de rugosidade de *Manning* para se obter 1) e o índice pluviométrico daquela região retirado da NBR 10844:1989.

Um dos principais parâmetros para o dimensionamento das bocas de lobo está relacionado ao equipamento que a antecede, a altura de lâmina d’água na sarjeta determinará o método de escoamento da boca de lobo, este valor pode ser obtido por meio da equação 1.

$$Y = 1,445 \times \frac{1}{Z^{2/8}} \times \left(\frac{Q_0}{1^{1/2}/n} \right)^{3/8} \quad \text{(Equação 1)}$$

Para o dimensionamento das bocas de lobo, foi necessário calcular diferentes parâmetros conforme definidos por Tomaz (2015). Para bocas de lobo simples, foram considerados a altura e o comprimento. Para bocas de lobo com grelha, foram determinados o comprimento da grelha, a área efetiva necessária, a largura da grelha e a quantidade de grelhas necessárias. As equações fornecidas pelo DNIT (2006) foram adaptadas para cada tipo de boca de lobo.

Conforme DNIT (2006), bocas de lobo simples podem atuar como vertedouros quando a altura da lâmina d’água está abaixo da altura da abertura ou como orifício quando a altura da água é superior ao dobro da abertura. A FHWA (1996) define o limite para atuação como orifício como sendo superior a 1,4 vezes a altura da abertura. Bocas de lobo simples são recomendadas para inclinações de até 5% (DAEE, 1980).

Para bocas de lobo simples, quando a lâmina d’água é menor ou igual à altura da abertura, a FHWA (1996) utiliza a equação 1, enquanto o DNIT (2006) usa a equação 2:

$$Q = 1,60 \cdot L \cdot y^{1,5} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$Q = 1,703 \cdot L \cdot y^{1,5} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

Q é a vazão de engolimento em m³/s, L é o comprimento da abertura e y é a altura de água próxima da guia.

Para o cálculo da boca de lobo simples quando a altura da lâmina d’água é maior que o estipulado pelos órgãos, têm-se o método da FHWA (1996) adjunto com o de Nicklow (2001) onde quando a altura da lâmina d’água é superior a 1,4 vezes utiliza-se a equação 3.

$$Q = 0,67 \cdot Ag \left[2g \left(di - \frac{h}{2} \right) \right]^{0,5} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde os termos diferentes das equações anteriores:

Ag é a área efetiva da boca de lobo, g é a aceleração da gravidade sendo 9,81m/s², di é definido como a altura do nível d’água, h é igual a altura da abertura da boca de lobo.

Pelo método do DNIT (2006) quando a altura é superior ao dobro da abertura da boca de lobo utiliza-se as equações 4 e 5.

$$\frac{Q}{L} = 3,101 \cdot h^{\frac{3}{2}} \left(\frac{y'}{h} \right)^{1/2} \quad \text{(Equação 5)}$$

$$y' = y - h/2 \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

y' é a carga no centro da abertura do meio fio podendo ser encontrada pela equação 5.

Quando a altura do fluxo está entre os valores mencionados, o funcionamento da boca de lobo é indefinido (DNIT,2006).

Para o dimensionamento das bocas de lobo com grelha segundo o DNIT (2006) pode-se utilizar as equações 6 e 7, que se diferem de forma semelhante as bocas de lobo simples, pela altura da lâmina d'água podem atuar como vertedouros (lâmina inferior a 12 cm) ou orifícios (lâmina superior a 42 cm).

$$\frac{Q}{P} = 1,655 \cdot y^{1,5}, \text{ onde } y \leq 12 \text{ cm} \quad \text{(Equação 7)}$$

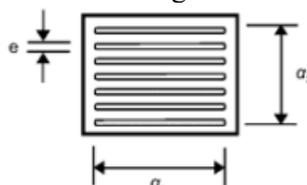
$$\frac{Q}{A} = 2,91 \cdot y^{0,5}, \text{ onde } y \geq 42 \text{ cm} \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

$\frac{Q}{P}$ é a vazão por metro linear de perímetro da boca de lobo e $\frac{Q}{A}$ é a vazão por metro quadrado de área de abertura de grelha, excluído as áreas ocupadas pelas barras.

Para o cálculo da área e do perímetro da grelha, pode utilizar a Figura 1 que apresenta a seção da grelha da boca de lobo.

Figura 1 – Dimensões da grelha da boca de lobo



Fonte: DNIT (2006) adaptado pelo autor (2024).

Para o cálculo do P utiliza-se a equação 8 e para o cálculo da A utiliza-se a equação 9.

$$P = 2 \cdot (a_1 + a_2) \quad \text{(Equação 9)}$$

$$A = n \cdot a_1 \cdot e \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde n é definido como o número de espaçamentos.

Para a validação dos procedimentos utiliza-se problemas dispostos na literatura para que se possa elaborar um passo a passo de resolução, assim é possível identificar um padrão para solução, deste modo tendo uma base de 30 problemas para cada tipo, estes encontrados em literaturas como a de Tomaz (2015), quanto elaborados pelos próprios autores.

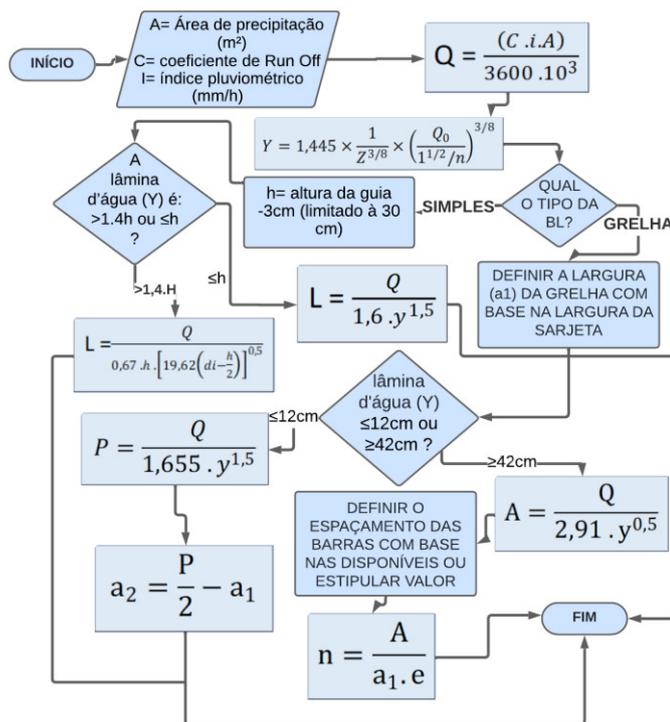
Para a elaboração do fluxograma então foi definido as equações a serem utilizadas e realiza-se a criação de um modelo utilizando uma ferramenta de design gráfico.

Por fim escolheu-se realizar a aplicação do fluxograma nas turmas de sistemas de drenagem assim como engenheiros graduados, a fim da realização das possíveis correções para melhor funcionamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise dos procedimentos para resolução de problemas em sistemas de drenagem com diversas sequências lógicas, foi possível criar o fluxograma para dimensionamento de bocas de lobo simples e com grelha, que simplifica o processo (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma para dimensionamento de bocas de lobo simples e com grelha sem depressão.



De acordo com o procedimento obtido, mesmo as equações do DNIT (2006) sendo mais atuais, para as bocas de lobo simples, tanto atuando como vertedouro ou como orifício, as equações disponibilizadas pela FHWA (1996) apresentam resultados mais preciso e em prol da segurança, tendo em vista que o intervalo de indeterminação do fluxo é menor que o do DNIT.

Já para as equações da boca de lobo com gelha, para o cálculo manual, nota-se que as equações fornecidas pelo DNIT (2006) possuem uma simplicidade de aplicação, sendo estas então mais utilizadas em problemas reais para este tipo, logo estas foram as predominantes na solução de problemas.

O fluxo de cálculo inicia-se com a determinação de alguns parâmetros da região como a área de precipitação (A), o coeficiente *Run Off*, este que pode ser encontrado no manual de drenagem de rodovias do DNIT e por fim o índice pluviométrico, a partir daí calcula-se a vazão a ser escoada e a altura da lâmina d'água em função das dimensões da sarjeta triangular.

Em seguida faz-se necessário a escolha do tipo da boca de lobo, que levará a dois procedimentos de cálculo diferentes.

As equações foram adaptadas a fim de se obter os parâmetros necessários para a escolha das dimensões das bocas de lobo, as equações das bocas de lobo simples retiradas da FHWA (1996) foram modificadas a fim de se obter o comprimento (L) da boca de lobo, pois no projeto os outros parâmetros são determinados pelo projetista.

Para a grelha foram modificadas as equações do DNIT (2006) tanto para atuação como orifício, quanto para vertedouro, a fim de se encontrar a área efetiva da boca de lobo (A) ou o perímetro efetivo da boca de lobo (P), pois desta forma é possível a determinação do número de espaçamentos (n) ou do comprimento necessário para a grelha (a2), respectivamente.

O teste do fluxograma se deu por meio de problemas dados por Tomaz (2015), sendo realizados em quantidade suficiente para escolher um procedimento padrão que não necessite de alterações para um dimensionamento otimizado.

Ao final realizou-se testes com duas turmas de sistemas de drenagem do curso de engenharia civil da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST/UEA), tendo uma base de 20 alunos, além dos professores da instituição.

Os testes demonstraram que o fluxograma facilita a determinação das fórmulas otimizando o tempo de dimensionamento e organizando o passo a passo para resolução, antes da aplicação da

ferramenta, os alunos demoraram em média uma aula de 50 minutos para cálculo de um trecho simples com duas bocas de lobo, após a aplicação a média deste tempo reduziu para 15 minutos, assim tendo uma redução de 35 minutos (cerca de 70%) do tempo necessário para projeto destes sistemas, obtendo resultados dentro do nível de segurança e com variação baixa entre os valores.

Este trabalho evidencia que o fluxograma elaborado otimiza o processo de desenvolvimento de bocas de lobo, assim minimizando os erros para este processo, criando então uma ferramenta útil para diversos projetistas na área de drenagem urbana.

CONCLUSÃO

O fluxograma desenvolvido para o dimensionamento de bocas de lobo simplifica e acelera significativamente o processo, reduzindo o tempo de cálculo de 50 para 15 minutos, representando uma redução de 70%.

As equações da FHWA (1996) mostraram-se mais precisas para bocas de lobo simples, enquanto as do DNIT (2006) são preferidas para bocas de lobo com grelha devido à sua simplicidade.

A aplicação do fluxograma demonstrou sua eficácia em otimizar o dimensionamento e minimizar erros, destacando sua utilidade para projetistas na área de drenagem urbana.

AGRADECIMENTOS

À FAPEAM pela concessão de bolsa de PAIC ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT.NBR 17015: Execução de obras lineares para transporte de água bruta e tratada, esgoto sanitário e drenagem urbana, utilizando tubos rígidos, semirrígidos e flexíveis. Rio de Janeiro, 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). MINISTERIO DOS TRANSPORTES (MIT). Manual de drenagem de rodovias. Rio de Janeiro, 2006. Publicação IPR-724.

DNIT. Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem, IPR- 715. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Urban Drainage Design Manual. November 1996. HEC 22, Metric Version.

PODER360. 3 em cada 4 brasileiros vivem em cidades com risco de desastres. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/governo/3-em-cada-4-brasileiros-vivem-em-cidades-com-risco-de-desastres/>. Acesso em: 22 jul. 2024.

TOMAZ, Plínio. Curso de Manejo de Águas Pluviais: Capítulo 5 - Microdrenagem. 15 de março de 2015. Disponível em: pliniotomaz@uol.com.br. Acesso em: 25/04/2024.