

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR AUGUSTO MENEGON

**CRITÉRIO DE DETALHAMENTO PARA PROJETO DE  
DISSIPADOR DE ENERGIA DE UM EMISSÁRIO NO MUNICÍPIO  
DE CAMPO MOURÃO, PARANÁ**

CAMPO MOURÃO  
2018

VICTOR AUGUSTO MENEGON

**CRITÉRIO DE DETALHAMENTO PARA PROJETO DE  
DISSIPADOR DE ENERGIA DE UM EMISSÁRIO NO MUNICÍPIO  
DE CAMPO MOURÃO, PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Trabalho de Conclusão de Curso

CRITERIO DE DETALHAMENTO PARA PROJETO DE DISSIPADOR DE ENERGIA DE UM  
EMISSÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO, PARANÁ

por

**Victor Augusto Menegon**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 09h20min do dia 28 de junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Eudes José Arantes**

( UTFPR )

**Prof. Dr. Helton Rogerio Mazzer**

( UTFPR )

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paula Cristina de Souza**

( UTFPR )

**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Ronaldo Rigobello**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a minha família, minha mãe Maria Helena de Almeida Menegon, meu pai Júlio Cesar Menegon, por todo apoio e suporte que me deram durante esses anos de graduação, por toda a compreensão e aceitação nos momentos em que mais precisei.

Aos meus amigos que me acompanharam nesses últimos anos de curso Thiago, Guilherme, Gilberto, Fabrício. Agradecer também aos amigos que iniciaram comigo a faculdade, João, Victor, Álvaro, Dionísio, que me ajudaram e deram apoio em diversas situações que necessitei.

A todos amigos que conheci na faculdade e que estiveram comigo por esse tempo e essa página tão importante na minha vida.

Agradecer ao Renato da Engeo Consultoria que me auxiliou em questões técnicas do projeto e por dados fornecidos.

Agradecer também aos professores que compartilharam de seus conhecimentos e de diversas maneiras me instruíram e me ajudaram nesse período de crescimento profissional e pessoal. Dentre estes, agradeço especialmente a Professora Paula Cristina de Souza pela atenção e suporte na orientação deste trabalho de conclusão de curso.

## RESUMO

MENEGON, VICTOR A. **Critério de detalhamento para projeto de dissipador de energia de um emissário no município de Campo Mourão, Paraná.** 2018. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

Na atual conjuntura, a gestão de planos para controle de águas pluviais e de uma bem estruturada rede de drenagem é imprescindível à um município, sabendo que os problemas causados pelo mesmo, como inundações, erosão e desgaste das áreas urbanizadas, são realidade. Um correto dimensionamento do sistema de galerias de drenagem urbana tem como efeito direto na eficaz remoção das águas pluviais de centros urbanos, obtendo-se diminutos impactos ambientais e maior segurança à população. Visando tais informações, o presente trabalho tem como principal objetivo analisar a vazão de um emissário em Campo Mourão, Paraná, e mostrar a necessidade do uso de um dissipador de energia para o local. Através da vazão, determinar-se qual o tipo mais eficiente de dissipador à ser usado para o caso estudado. Foi observado que a rede de drenagem de águas pluviais da área de influência em questão não suporta a vazão que é direcionada, indicando problemas no projeto de dimensionamento inicial.

**Palavras chave:** Drenagem urbana, erosão, dissipador de energia.

## **ABSTRACT**

**MENEGON, VICTOR A. Detail criteria for an emissary's energy sink design in the municipality of Campo Mourão, Paraná.** 2018. f. Completion of course work (Bachelor of Civil Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

At the current juncture, the management of plans for storm water control and a well-structured drainage network is essential for a municipality, knowing that the problems caused by it, such as flooding, erosion and erosion of urbanized areas, are a reality. A correct sizing of the urban drainage tunnel system has a direct effect on the effective removal of rainwater from urban centers, resulting in reduced environmental impacts and greater safety for the population. Aiming at this information, the main objective of this work is to analyze the flow of an emissary in Campo Mourão, Paraná, and show the need to use an energy sink for the site. Through the flow, determine the most efficient type of energy sink to be used for the case studied. It was observed that the drainage network of rainwater of the area of influence in question does not support the flow that is directed, indicating problems in the design of the initial project.

**Keywords:** Urban drainage, erosion, energy sink

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	12
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	12
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	13
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>4.1 Drenagem Urbana</b> .....	14
<b>4.2 Plano Diretor de Drenagem Urbana</b> .....	15
<b>4.3 Plano Diretor de Drenagem no Município de Campo Mourão</b> .....	16
<b>4.4 Ciclo Hidrológico</b> .....	17
<b>4.5 Precipitação</b> .....	19
<b>4.6 Precipitação Média em um área</b> .....	20
<b>4.7 Precipitação Máxima</b> .....	21
<b>4.8 Impactos Ambientais</b> .....	21
<b>4.9 Erosão</b> .....	22
<b>4.10 Dissipador de Energia</b> .....	23
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
<b>5.1 Localização</b> .....	32
<b>5.2 Levantamento Teórico</b> .....	33
<b>5.3 Visita in loco</b> .....	33
<b>5.4 Análise dos impactos</b> .....	33
<b>5.5 Fatores para Dimensionamento de Galeria de Água Pluvial</b> .....	34
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	39
<b>6.1 Caracterização do local</b> .....	39
<b>6.2 Verificação do dimensionamento das galerias</b> .....	42
<b>6.3 Dimensionamento Dissipadores de Energia</b> .....	45
<b>6.3.1 Bloco de Impacto</b> .....	45
<b>6.3.2 Rampas dentadas</b> .....	47
<b>6.3.3 Degrau vertical</b> .....	49
<b>6.3.4 Escada hidráulica</b> .....	51
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	55
<b>8 REFERÊNCIAS</b> .....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo Hidrológico .....	18
Figura 2 – Bacia de dissipação tipo I .....	25
Figura 3 - Bacia de dissipação tipo II .....	25
Figura 4 - Bacia de dissipação tipo III .....	26
Figura 5 - Bacia de dissipação tipo IV .....	26
Figura 6 – Dissipador de jato .....	27
Figura 7 – Escada hidráulica .....	28
Figura 8 – Degrau vertical .....	28
Figura 9 – Rampa dentada .....	29
Figura 10 – Rampa dentada com dissipador de impacto associado.....	30
Figura 11 – Dissipador por bloco de impacto .....	31
Figura 12 – Fluxograma para dimensionamento de galeria de águas pluviais.....	32
Figura 13 – Localização do emissário analisado.....	38
Figura 14 - Erosão .....	39
Figura 15 – Rochas para dissipação de energia .....	40
Figura 16 - Rochas na área inferior a tubulação .....	41
Figura 17 – Área de influência .....	42
Figura 18 - Área de influência .....	43
Figura 19 – Critério para dimensionamento de dissipador tipo Bradley Peterka.....	45
Figura 20 - Dissipador tipo Bradley Peterka .....	46
Figura 21 - Dissipador tipo Bradley Peterka .....	46
Figura 22 – Dissipador por rampa dentada .....	48
Figura 23 – Degrau vertical .....	50



## 1 INTRODUÇÃO

A Hidráulica existe em função da necessidade essencial da água para a vida humana (Baptista e Lara, 2010). Sua condução e entendimento de como se porta é onde se baseia o estudo da Engenharia Hidráulica. A evolução do estudo é vista em como se otimizar tudo que envolve o controle da água.

Quanto à Engenharia de Recursos Hídricos, a Engenharia Hidráulica está presente em todos os tipos de empreendimentos, sejam sistemas hidráulicos de geração de energia, obras de infraestrutura, como canais, portos, hidrovias, eclusas etc. (Baptista e Lara, 2010). Segundo Azevedo Netto (1998), os fundamentos de hidráulica também estão presente nos âmbitos urbanos (abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem pluvial, canais), rural (drenagem, irrigação, água potável e esgotos), instalações prediais (industriais, comerciais, residenciais, públicas), lazer e paisagismo, estradas, defesa contra inundações, geração de energia, navegação e obras marítimas e fluviais.

As estruturas hidráulicas têm como função primordial tornarem o recurso natural, água, adequadamente controlado, contido ou transportado de acordo com a finalidade requerida. As obras que englobam a Engenharia Hidráulica são divididas a partir dos seus diferentes objetivos, seja armazenamento, contenção, transporte, compatibilização, controle de água, medição, captação, etc. (Baptista e Lara, 2010).

O crescimento urbano das cidades brasileiras tem provocado impactos significativos na população e no meio ambiente. Ocasionalmente o aumento da frequência e do nível das inundações, prejudicando a qualidade da água, e aumento da presença de materiais sólidos no escoamento pluvial. A falta de planejamento, controle do uso do solo, ocupação de áreas de risco e sistemas de drenagem inadequados são as causas para esses acontecimentos (Manual de Drenagem Urbana do Paraná, 2002).

Os projetos de drenagem urbana têm como filosofia o escoamento da água superficial o mais rápido possível para fora da área projetada (Manual de Drenagem Urbana do Paraná, 2002). A área de drenagem é uma superfície em projeção horizontal, delimitada pelos divisores de águas que confinam e definem a bacia, é computada diretamente a partir de cartas topográficas, sendo um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma bacia. A área da bacia multiplicada pela lâmina precipitada ao longo de um intervalo de tempo define o volume de água por ela recebido (Miguez, Veról e Rezende, 2016).

Segundo Miguez, Veróz e Rezende (2016), o plano de drenagem urbana consiste na vinculação, de forma simultânea, dos aspectos ligados ao manejo das águas pluviais com o projeto de ordenamento territorial, agregando soluções para os problemas relacionados às águas pluviais.

Através da delimitação das bacias hidrográficas é possível a determinação da vazão em pontos específicos. A vazão é caracterizada como o volume de água escoado na unidade de tempo em uma determinada seção do curso de água (Pinto, Holtz, Martins, Gomide, 1976).

Segundo Pinto, Holtz, Martins e Gomide (1976), a vazão específica é a denominação da relação entre a vazão em uma seção do curso de água e área da bacia hidrográfica relativa a essa seção.

A falta de um sistema de drenagem urbana ou a má execução e dimensionamento do mesmo, pode ocasionar diversos problemas, afetando o solo de uma região, comprometendo áreas rurais ou urbanas. Dentre os problemas, o Manual de Drenagem Urbana cita, aumento de vazões máximas devido à ampliação da capacidade de escoamento de condutos e canais gerados pela impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos; deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e contaminação de aquíferos; inundações.

Tendo em vista os impactos causados pela precariedade das redes de drenagem, o problema recorrente que será priorizado no estudo é o da erosão.

Conceitua-se a erosão como o processo de carreamento dos solos. Os agentes podem ser a água, os ventos ou outros. Em geral, os principais processos erosivos, nos centros urbanos, são causados pelas águas (Tucci, Porto, Barros, 1995).

A pluviosidade, mais um dos conceitos básicos no assunto abordado, é o estudo quanto ao ciclo hidrológico em determinada região. Característica influente e importante no estudo da rede de distribuição de água na área urbana, a chuva e seus índices totalmente dependentes da região, são quesito básico quando o assunto é adequação dos canais para um bom funcionamento. Sendo os canais, estrutura hidráulica que serve como condução até o lançamento.

Para evitar o problema da erosão causado pela falta ou má dimensionamento de uma rede de drenagem, em alguns casos, se faz necessário o dissipador de energia. O dissipador de energia, o foco do estudo, é destinado a determinar a

velocidade do escoamento com as características de resistência do meio físico a jusante (Baptista e Lara, 2010).

O local escolhido se encontra na Rua Ágata, próximo ao Colégio Estadual Ivone Soares Castanharo, no Jardim Tropical I, na cidade de Campo Mourão, Paraná e foi afetado diretamente pela falta de um dissipador de energia, que causou o problema conhecido como voçoroca, feições geomorfológicas resultantes da ação erosiva acelerada durante um tempo suficiente para a formação de incisões no solo que ultrapassam os 50cm de profundidade e largura, chegando à formação de crateras com até centenas de metros de comprimento e dezenas de metros de profundidade, apresentando inclusive paredes íngremes e fundo chato conectada ou não à rede de drenagem (Albuquerque, 2012).

O dimensionamento dessa estrutura tem como objetivo diminuir o impacto subsequente dos próximos anos e viabilizar o solo no perímetro, que é diretamente afetado pelo escoamento indevido no local.

O estudo prevê qual a vazão de água no ponto afetado, estimando a água corrente e os períodos de chuva em seus piores casos, determinando o dimensionamento para dias em que o escoamento se encontraria em seu máximo.

O dissipador de energia será escolhido conforme a maneira mais eficiente e barata para a necessidade do local, custo benefício quanto impactos ambientais na região e maximização do escoamento para o local.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Verificação da necessidade e apresentação dos critérios de detalhamento do projeto de um dissipador de energia de um emissário compreendidos na cidade de Campo Mourão, Paraná.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificação do emissário na cidade de Campo Mourão-PR;
- Identificação da vazão média do emissário;
- Verificação da drenagem no local.

### 3 JUSTIFICATIVA

O Estudo dessa área da Engenharia Hidráulica, a drenagem urbana, tem como embasamento os impactos ambientais causados pela sua má utilização como uma forma de controle da água. A drenagem urbana quando dimensionada de forma incorreta acarreta impactos que são vistos principalmente no solo, podendo se estender à enchentes, inundações e problemas que afetam a vida na região afetada.

Dentre os impactos, o previsto na área de estudo escolhida, são os impactos quanto ao solo.

Um dos principais problemas ambientais causados é o da erosão, do qual afeta de forma iminente à área da Engenharia Civil. O mal dimensionamento do escoamento de uma região, pode fazer com que se perca grandes áreas habitadas ou que poderiam ser habitadas e até usadas para algum outro benefício.

O deságue de uma vazão considerável de água, feito de maneira inapropriada ou errônea tem como consequência o solo não ser capaz de absorver a quantidade solicitada de líquido, a infiltração no solo é insuficiente e essa água acaba transbordando, ou seja, escoando de uma maneira que não é benéfica para as características mecânicas do solo. A solução pode ser prevista como ter uma vazão menor ou como aumentar a área em que a água é despejada.

Um exemplo que é visto em algumas regiões de uma erosão em nível avançado é o da voçoroca, problema do qual afeta toda a estrutura de fundação de uma região, e torna o local impossibilitado quanto à aproveitamento em qualquer área de benefício humano.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Drenagem Urbana

A drenagem urbana envolve a rede de coleta da água e resíduos sólidos, que se origina devido à precipitação sobre as superfícies urbanas. Faz parte desse sistema o tratamento e o deságue nos rios (TUCCI, 2005).

O foco principal da drenagem urbana é o de remover as águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível, evitando os problemas consequentes da chuva em grandes quantidades.

Pode também ser referido como um conjunto de medidas que tenham como objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir prejuízos causados por impactos e possibilitar o desenvolvimento.

Porto, Zahed, Tucci, Bidone, 2015, dizem que drenagem urbana já passou do campo restrito da engenharia e se tornou um problema com maior abrangência, se tornando um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos.

O sistema tradicional de drenagem urbana é composto por dois sistemas distintos que devem ser planejados e projetados sob critérios diferentes: o sistema de microdrenagem e o sistema de macrodrenagem. Ramos, Barros e Palos (1999) caracterizam a diferença e uso dos diferentes tipos de drenagem.

O sistema de microdrenagem é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões.

Esse sistema é dimensionado para o escoamento de vazões de 2 a 10 anos de período de retorno. Quando bem projetado, e com manutenção adequada, praticamente elimina as inconveniências ou as interrupções das atividades urbanas que advém das inundações e das interferências de enxurradas.

O sistema de macrodrenagem é constituído, em geral, por canais (abertos ou de contorno fechado) de maiores dimensões, projetados para vazões de 25 a 100 anos de período de retorno. Do seu funcionamento adequado depende a prevenção ou minimização dos danos a tudo que é ligado ao benefício do ser humano.

No caso estudado, o tipo de drenagem que ocorre é a macrodrenagem. A macrodrenagem envolve bacias geralmente com área superior a 2 km<sup>2</sup>, onde o escoamento é composto pela drenagem de áreas urbanizadas e não urbanizadas.

O planejamento da drenagem urbana na macrodrenagem envolve a definição de cenários, medidas de planejamento do controle de macrodrenagem e estudos de alternativas de projeto (TUCCI, 2005).

## **4.2 Plano Diretor de Drenagem Urbana**

Tucci (2005), acredita que a drenagem é parte essencial da infraestrutura, portanto, o Plano Diretor de Drenagem Urbana deve ser planejado em conjunto com os outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego (Manual de Drenagem do Rio Grande do Sul, 2005).

O planejamento, no seu sentido mais amplo, é a atividade que tem por objetivo resolver os problemas de uma comunidade.

O plano deve sempre atender às peculiaridades locais, físicas, econômicas, sociais e institucionais. O planejamento deve conduzir sempre ao projeto de um sistema de drenagem que seja exequível, técnica e economicamente eficiente, maximizando os benefícios e minimizando os custos, coerente com outros planos setoriais e atendendo aos anseios da coletividade.

A principal vantagem do planejamento, aplicado ao sistema de drenagem urbana, refere-se à obtenção simultânea de menores custos e melhores resultados. Planos bem elaborados devem ter as seguintes características:

- estudar a bacia de drenagem como um todo e, conseqüentemente, chegar a soluções de grande alcance no espaço e no tempo, evitando medidas de caráter restrito que não raro apenas deslocam e mesmo agravam as inundações em outros locais a jusante da área de intervenção;
- consolidar normas e critérios de dimensionamento uniformes para a bacia ou conjunto de bacias, tais como o período de retorno a ser adotado, borda-livre, coeficientes de rugosidade, gabaritos de pontes e travessias, etc;

- identificar áreas que possam ser preservadas ou adquiridas pelo poder público antes que sejam ocupadas ou seus preços tornem-se proibitivos;
- efetuar o zoneamento das várzeas de inundação;
- estabelecer o escalonamento da implantação das medidas necessárias de forma tecnicamente correta e de acordo com os recursos disponíveis;
- possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, pela articulação do plano de drenagem com outros planos setoriais da região ( planos viários, planos de abastecimento de água, planos de esgotos, etc);
- esclarecer a comunidade a respeito da natureza e magnitude dos problemas e formas de solução de propostas; fornecer respaldo técnico e político à solicitação de recursos;
- privilegiar a adoção de medidas preventivas de menor custo e maior alcance.

Em vez de considerá-lo como produto imediato, o plano diretor pode ser definido como um processo dinâmico, conduzido de forma sistemática e disciplinada. É importante reconhecer que o planejamento é um processo social.

A implementação das medidas recomendadas num plano diretor requer a consecução das outras fases de projeto até a elaboração final do projeto executivo, incluindo a obtenção das licenças necessárias e outros requisitos exigidos em projetos de obras públicas (Ramos, Barros e Palos, 1999).

#### **4.3 Plano Diretor de Drenagem no Município de Campo Mourão**

A cidade de Campo Mourão-PR, onde está sendo feito o estudo, tem composta uma diretriz referente à drenagem de águas pluviais, sendo ela formada por alguns passos.

São diretrizes do Plano Diretor Municipal de Campo Mourão referentes à Drenagem de Águas Pluviais:

- elaborar cadastro completo do sistema de drenagem;
- executar as obras de ampliação e readequação da rede de drenagem indicadas no Plano de Ação e Investimentos, parte integrante desta Lei;
- recuperar as áreas afetadas pela erosão provocada pela inadequação dos emissários de águas pluviais indicadas no Plano de Ação e Investimentos, parte integrante desta Lei;



- garantir equilíbrio entre absorção, retenção e escoamento das águas pluviais;
- evitar e controlar a excessiva impermeabilização do solo prevenindo a ocorrência de inundações e sobrecarga do sistema de drenagem de águas pluviais;
- combater a erosão urbana e rural associada à drenagem de águas pluviais em vias urbanas e estradas rurais;
- incentivar o aproveitamento das águas pluviais e o reuso da água.

#### **4.4 Ciclo Hidrológico**

Ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (Silveira, 2001).

Toda a água utilizável pelo homem provém da atmosfera, resultado do ciclo. Sendo encontrada em seus diferentes estados.

As gotículas de água, formadas por condensação, atingem determinada dimensão, precipitam-se em forma de chuva. Do volume que atinge o solo, parte nele se infiltra, parte se escoia sobre a superfície e parte se evapora, iniciando novamente o mesmo ciclo.

Tucci (1993), cita parte do ciclo hidrológico como constituído da circulação da água na própria superfície terrestre, ou seja, circulação de água no interior e na superfície dos solos e rochas, nos oceanos e nos seres vivos.

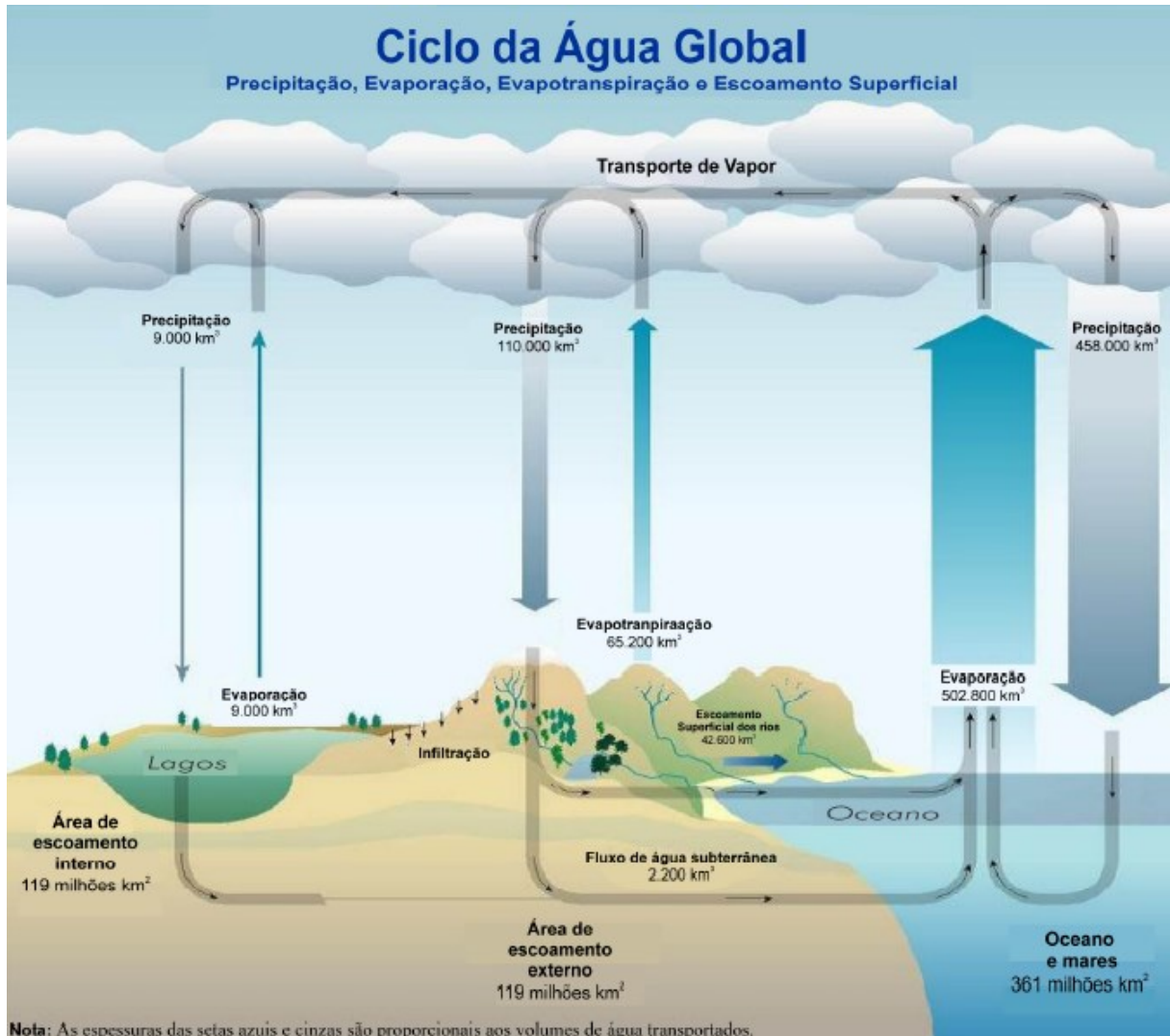


Figura 1 – Ciclo Hidrológico.

Fonte: Adaptado de Shiklomanov, 1999 apud WWC, 2007. (2010).

A infiltração, uma das etapas do ciclo, se trata do processo de penetração da água no solo (Pinto, Holtz, Martins, Gomide, 2011). Segundo Tucci (1993), há infiltração de toda a precipitação que chega ao solo, enquanto esta não se satura. O excesso não infiltrado da precipitação gera o escoamento superficial.

O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo (Tucci, 1993).

Garcez e Alvarez, 1988, citam dentre grandezas características do assunto, algumas das mais importantes, sendo elas:

Coeficiente de deflúvio: relação entre a quantidade total escoada pela seção e a quantidade total de água precipitada na bacia contribuinte. Pode referir-se a uma

precipitação determinada, ou a todas as precipitações ocorridas em um determinado intervalo de tempo.

Nível da água: altura atingida pela água na seção em relação a uma certa referência. Pode referir-se a valores instantâneos ou à média de períodos (dia, mês, ano etc.).

Vazão específica (ou contribuição unitária): relação entre a vazão e a área da bacia contribuinte. Mede-se em litros por segundo por metros quadrado (l/s m<sup>2</sup>).

O problema principal a ser abordado é encontrado no escoamento superficial. No caso, ocorre quando a intensidade de chuva ultrapassa a capacidade de infiltração.

Segundo a Normal Ambiental Valec nº 19, a estimativa da intensidade da chuva de projeto está relacionada com os maiores índices de precipitação pluviométrica de uma região. Pela metodologia geralmente utilizada, seleciona-se o posto mais próximo da área de estudo, ou os postos que a envolvem com as séries pluviométricas para a determinação da intensidade-duração-frequência e obtenção da equação de chuva intensa da região ou localidade.

#### **4.5 Precipitação**

A precipitação é entendida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (Bertoni e Tucci, 1993).

É a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre de qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho.

A importância da precipitação é vista como a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica, ou seja, fornece subsídios para a quantificação do abastecimento de água, irrigação, controle de inundações, erosão do solo etc., seu conhecimento é fundamental para o adequado dimensionamento de obras hidráulicas, entre outros (Collischon e Dornelles, 2015).

Dentre as características principais da precipitação estão: o seu total, duração e distribuições temporal e espacial. Os dados ligados à precipitação são em geral de forma estatística.

Algumas das grandezas características e unidades de medida importantes na precipitação são: altura pluviométrica (quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal), duração, intensidade, frequência (Garcez e Alvarez, 1988).

Pinto, Holtz, Martins e Gomide, 2000, consideram a atmosfera como um vasto reservatório e um sistema de transporte e distribuição do vapor de água.

A medição da chuva é feita através de instrumentos chamados pluviômetros que nada mais são do que recipientes para coletar a água precipitada com algumas dimensões padronizadas (Collischon e Dornelles, 2015).

A determinação da intensidade da precipitação é importante no controle de inundação e a erosão do solo.

#### **4.6 Precipitação Média em um área**

A precipitação média é dita como uma lâmina de água de altura uniforme sobre toda a área considerada, associada a um período de tempo dado (hora, dia, mês, ano) (Bertoni e Tucci, 2001). Se baseia nos estudos de pluviosidade de locais e regiões, por ser um valor que dispõe de dados históricos da área.

Para calcular a precipitação média numa superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dentro dessa superfície e nas suas vizinhanças. É avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos chamados pluviômetros ou pluviográficos, conforme sejam simples receptáculos da água precipitada ou registrem essas alturas no decorrer do tempo. Tanto um como outro colhem uma pequena amostra, pois tem uma superfície horizontal de exposição de 500 cm<sup>2</sup> e 200 cm<sup>2</sup>, respectivamente, colocados a 1,50 m do solo. (Pinto, Holtz, Martins, Gomide, 2011).

Há três métodos mais usuais, segundo Bertoni e Tucci, 2001:

- Método da média aritmética: todos pluviômetros têm o mesmo peso. A precipitação média é então calculada como a média aritmética dos valores medidos. O método ignora variações geográficas da precipitação, portanto é aplicável apenas em regiões com áreas planas e com cobertura de postos de medição bastante densa.
- Método de Thiessen: considera a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos, mas não leva em conta o relevo da bacia. O método dá bons resultados em terrenos levemente acidentados, quando a localização e exposição dos pluviômetros são semelhantes e as distâncias entre eles não são muito grandes.

- Método das isoietas: são linhas de igual precipitação que podem ser traçadas para um evento ou para uma duração específica. Pode dar maior precisão se bem utilizado.

A precipitação é a principal informação hidrológica de entrada utilizado no cálculo das vazões de projeto das obras de drenagem pluvial. A expressão precipitação de projeto identifica a precipitação utilizada na geração do hidrograma ou vazão de projeto.

#### **4.7 Precipitação Máxima**

Segundo Bertoni e Tucci, 2001, a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. A precipitação pode atuar sobre a erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, obras hidráulicas etc.

As precipitações máximas são retratadas pontualmente pelas curvas de intensidade, duração e frequência e através da Precipitação Máxima Provável (PMP). Segundo WMO (1973), “a PMP é a maior coluna pluviométrica, correspondente a uma dada duração fisicamente possível de ocorrer sobre uma dada área de drenagem em uma dada época do ano”. É importante para a caracterização da vazão na bacia.

O estudo da precipitação máxima é essencial na construção das estruturas hidráulicas com intuito de um coeficiente de segurança que não cause riscos aos usuários. É necessário que uma estrutura hidráulica tenha em seu projeto a previsão de valores máximos de vazão.

#### **4.8 Impactos Ambientais**

A drenagem urbana tem ligação direta com problemas ambientais ligados ao solo, a falta de um bom escoamento ou o dimensionamento feito de maneira incorreta, pode ser agravante em termos de segurança para a construção civil.

Dos impactos ambientais que o dimensionamento errôneo da drenagem urbana pode proporcionar, a prioridade nesse caso é a erosão. O problema em foco para a solução é o de um emissário com deságue feito de maneira inapropriada, afetando assim o solo.

## 4.9 Erosão

A erosão corresponde à separação e remoção da partícula da rocha e do solo pela ação da água, do vento ou por outro efeito, sendo que diversos fenômenos têm ação preponderante nesse processo. Erosão é o fenômeno do desgaste das rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes, como o vento (Carvalho, 2008).

A erosão dos solos em áreas urbanas, onde os solos estão descobertos, em especial nas suas periferias, ocorrem geralmente com grandes prejuízos materiais e, por vezes, com perdas de vidas humanas (Guerra, 2011).

Assim, surgem as voçorocas, feições geomorfológicas resultantes da ação erosiva acelerada durante um tempo suficiente para a formação de incisões no solo que ultrapassam os 50cm de profundidade e largura, sendo dificilmente obliterada por procedimentos normais dos tratos das lavouras, em caso de ambientes rurais, chegando à formação de crateras com até centenas de metros de comprimento e dezenas de metros de profundidade, apresentando inclusive paredes íngremes e fundo chato conectada ou não à rede de drenagem por onde há o deslocamento de uma grande massa de solo (Albuquerque, 2012).

Quanto a obras civis: proteção das obras civis, estabilização de taludes, construção de estradas, regularização de cursos d'água, proteção de margens de rios e de reservatórios e de várias outras obras afins. Exigem conhecimento adequado do fenômeno para o necessário controle ou mitigação dos efeitos. (Carvalho, 2008)

A erosão, no caso, ocorre por escoamento concentrado e pode ser provocada por falta de boa estrutura de solo que tenha a camada impermeável profunda, permitindo que os sulcos formados pouco a pouco sofram deslizamentos e desabamentos, terminando por formar as voçorocas. (Carvalho, 2008)

Carvalho cita alguns problemas devidos à erosão:

- A erosão nas cabeceiras dos rios provoca a destruição das nascentes.
- Aumenta o risco de desertificação.
- Em zonas agrícolas, promove a remoção da camada fértil, com o empobrecimento do solo.

- O desprendimento e escorregamento de terras e taludes podem provocar danos gerais.
- Altera as condições de escoamento da água na superfície e na calha dos rios.
- Desbarrancamentos em rios modificam a calha e provocam depósitos no leito.
- A erosão nas terras devido a enxurradas produz sulcos em locais indesejáveis.
- A erosão em torno de estruturas pode provocar danos irreversíveis.

#### **4.10 Dissipador de Energia**

O dissipador de energia é um dispositivo que visa promover a dissipação de energia de fluxos d'água escoados através de canalizações, de modo a reduzir os riscos dos efeitos de erosão nos próprios dispositivos ou nas áreas adjacentes (DER-PR, 2005).

A dissipação de energia visa a diminuição da velocidade do escoamento nas estruturas hidráulicas e nas saídas de galerias de águas pluviais, principalmente nas situações de chuvas intensas e enchentes, para que seja minimizada a ocorrência de desgaste ou erosão dos canais.

Os tipos de maior aplicabilidade para drenagem urbana são:

- Bacia de Dissipação (Ressalto Hidráulico);
- Dissipadores de jato;
- Degraus;
- Rampas dentadas;
- Blocos de impacto.

O texto e imagens apresentados estão baseados no documento “Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo” da FCTH-USP, 1995; no livro Fundamentos de Engenharia Hidráulica de Márcio Baptista e Márcia Lara, 2010; e do Capítulo 18 – Escada Hidráulica em obra de pequeno porte do Curso de Manejamento de águas pluviais de Plínio Tomaz de fevereiro de 2011.

O dimensionamento das estruturas dissipadores é efetuado de forma experimental, tendo em vista a dificuldade de se tratarem os escoamentos bruscamente variados de forma analítica. Entretanto, para o dimensionamento prático de obras usuais existem diversos estudos experimentais que permitem a fixação das diferentes dimensões em função dos parâmetros hidráulicos envolvidos.

O dissipador de energia é um dispositivo que visa promover a dissipação de energia de fluxos d'água escoados através de canalizações, de modo a reduzir os riscos dos efeitos de erosão nos próprios dispositivos ou nas áreas adjacentes (DER-PR, 2005).

A dissipação de energia visa a diminuição da velocidade do escoamento nas estruturas hidráulicas e nas saídas de galerias de águas pluviais, principalmente nas situações de chuvas intensas e enchentes, para que seja minimizada a ocorrência de desgaste ou erosão dos canais.

#### 4.10.1 Bacia de Dissipação

As bacias de dissipação são estruturas que efetuam a dissipação de energia através do conceito de ressalto hidráulico.

A água sai de uma estrutura, em regime supercrítico, passando a escoar, em seguida em regime subcrítico, fluvial. A transição entre os dois tipos de regime, com a correspondente redução da velocidade e dissipação de energia cinética, efetua-se através do ressalto hidráulico, que ocorre na bacia de dissipação.

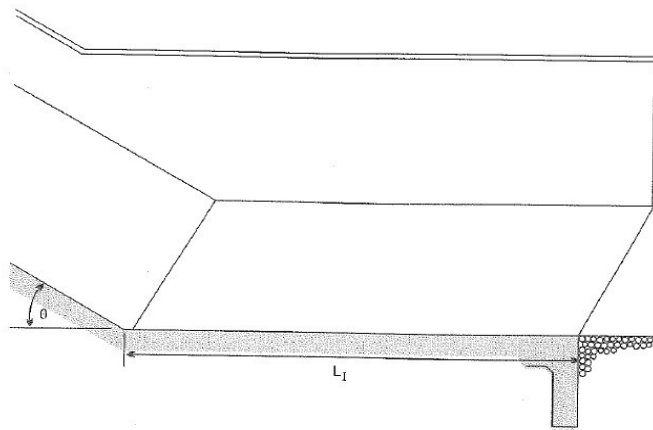
Há dificuldade na determinação da posição do ressalto, em função das variações de vazão e de nível a jusante que eventualmente ocorram. O objetivo essencial das Bacias de Dissipação consiste em fixar a posição do ressalto e reduzir o seu comprimento, além de proporcionar a dissipação de energia.

Os estudos mais utilizados para o dimensionamento de bacias de dissipação eficientes e compactas no Brasil tem como referência o organismo norte-americano U.S. Bureau of Reclamation, USBR, (Peterka, 1984).

Alguns deles são:

USBR tipo I: Não há necessidade de nenhum dispositivo complementar, devendo-se assegurar apenas a horizontalidade da bacia e a sua proteção em um trecho com comprimento superior a quatro vezes a profundidade da jusante. A profundidade conjugada jusante do ressalto é aproximadamente igual ao dobro da profundidade montante.



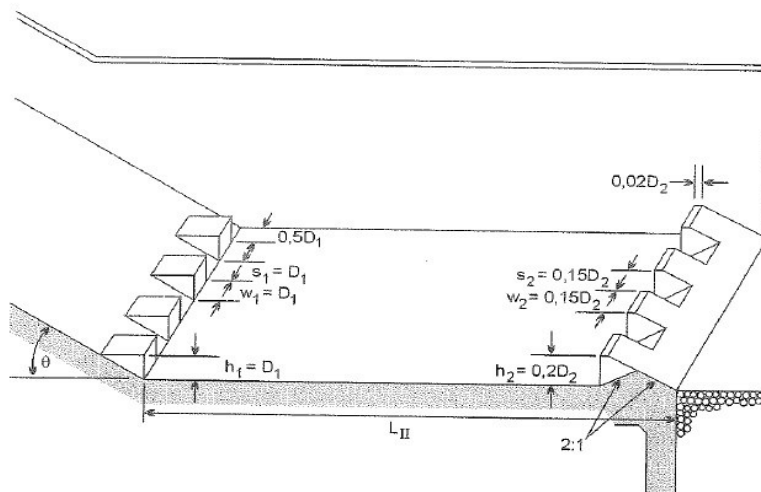


Bacia USBR tipo I

Figura 2 – Bacia de dissipação tipo I.

Fonte: Baptista (2010).

USBR tipo II: adaptação para números de Froude a montante iguais ou superiores a 4,5 e velocidades de aproximação superiores a 20 m/s.



Bacia USBR tipo II

Figura 3 – Bacia de dissipação tipo II.

Fonte: Baptista (2010).

USBR tipo III: adequada para  $Fr \geq 4,5$  e velocidades a montante inferiores a 20m/s, estas bacias são bastante compactas, com um comprimento aproximado de cerca de 2,7 vezes a profundidade jusante.

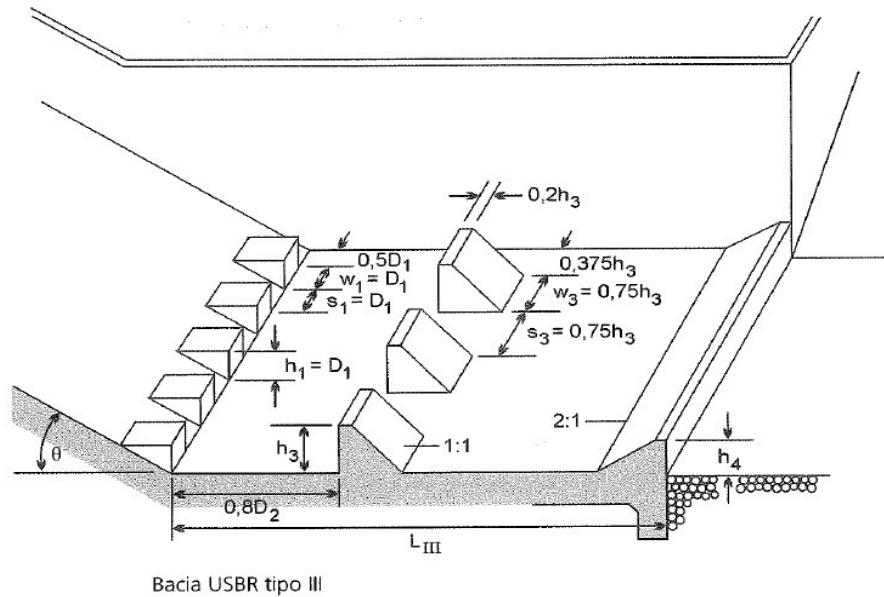


Figura 4 – Bacia de dissipação tipo III.

Fonte: Baptista (2010).

USBR tipo IV: adequada para números de Froude a montante entre 2,5 e 4,5, apresenta baixa eficiência, podendo ocorrer a formação de ondas não controladas a jusante.

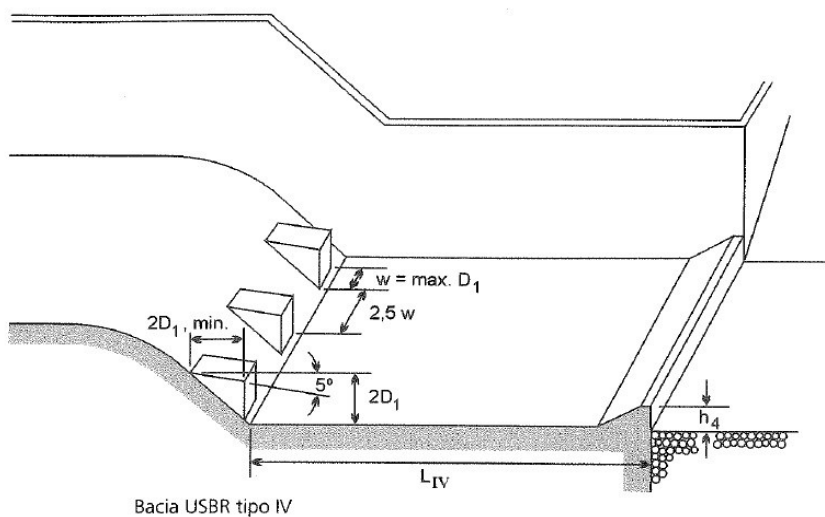


Figura 5 – Bacia de dissipação tipo IV.

Fonte: Baptista (2010).

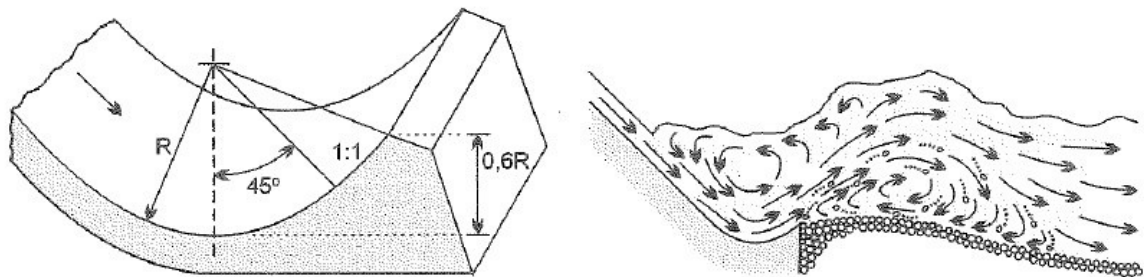
#### 4.10.2 Dissipadores de Jato

Consiste na execução na extremidade jusante da estrutura de condução de água, de uma concha cilíndrica, que projeta um jato de água em direção ascendente.

A dissipação de energia, devido à turbulência do jato, ao atrito e à incorporação de ar na massa líquida, permite a redução da velocidade de escoamento. O posicionamento do ponto de queda final do jato, afastado da estrutura, ajuda a evitar que se prejudiquem a estabilidade e a integridade do mesmo.

A eficiência deste tipo de solução é função da adequada aeração do jato e da turbulência causada, buscando-se reduzir ao mínimo o impacto no leito do rio. A definição da forma e do posicionamento da estrutura é objeto de estudos experimentais específicos. Pode ter dentes ou ranhuras, destinadas a promover a rotação e o choque entre as diversas partes do jato, possibilitando uma melhor aeração, favorecendo também a turbulência e, conseqüentemente, aumentando o rendimento e a eficiência da dissipação de energia.

Pequenas vazões não ocorrem a formação do jato, sendo que a própria concha desempenha papel de uma bacia dissipadora, permitindo, em seguida, o escoamento relativamente lento da água para jusante.



Forma típica de uma concha de arremesso – tipo de estrutura para dissipação de energia através de jato – e esquema das linhas de fluxo associadas

Figura 6 – Dissipador de jato.

Fonte: Baptista (2010).

#### 4.10.3 Degraus

As descidas d'água em degraus, denominadas também como escadas, são estruturas que dissipam a energia através do impacto do jato de água com a estrutura e, eventualmente, através da formação do ressalto hidráulico em cada degrau, quando o espaçamento entre cada desnível possibilita sua ocorrência. O dimensionamento das escadas é feito, em geral, de forma empírica, obedecendo projetos padronizados. O seu dimensionamento hidráulico, entretanto, deveria ser fundamentado em

trabalhos experimentais, tendo em vista a carência de estudos relativos à eficácia de dissipação de energia associada às diferentes configurações geométricas. De forma geral, esta eficiência de dissipação é relativamente reduzida.

Este tipo de estrutura para dissipação de energia pode ser vinculado à um ressalto hidráulico a jusante, de modo a torná-la mais eficiente. Como a perda de carga total é a soma da ocorrida na estrutura e no ressalto, convém fazer inicialmente algumas considerações a respeito de algumas características deste último.

Temos uma diferença há ser prevista. O degrau vertical não é uma escada hidráulica. O dimensionamento de uma escada hidráulica não é composto de só um degrau, como é o do degrau vertical.

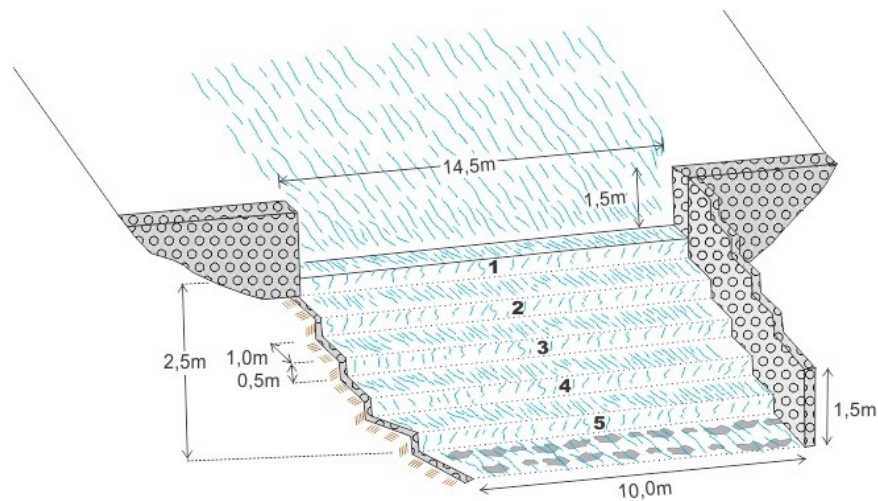


Figura 7 – Escada hidráulica.

Fonte: atlasdasaguas.ufv (2017).

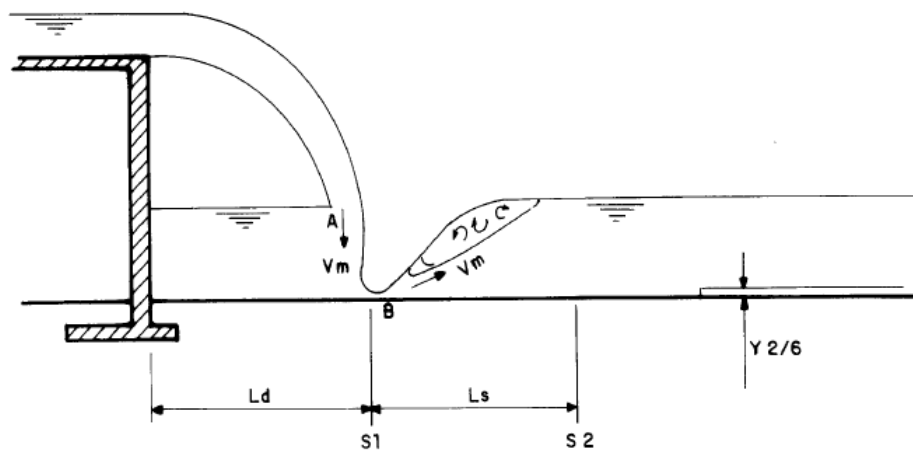


Figura 8 – Degrau vertical.

Fonte: (Diretriz de Projeto para Dissipação de Energia).

#### 4.10.4 Rampas dentadas

O conceito hidráulico dessa solução consiste em colocar repetidas obstruções (blocos dissipadores), que são de uma altura nominal equivalente à profundidade crítica. Além da dissipação de energia proveniente da turbulência devida a estes blocos, outra parcela é dissipada através da rampa pela perda do momento associada à reorientação do escoamento.

Os blocos dissipadores evitam a aceleração excessiva do escoamento durante a passagem para o nível inferior da calha. Se as velocidades de escoamento na entrada do canal a jusante forem reduzidas, não haverá necessidade de bacia de dissipação. A queda pode ser tão alta quanto for exequível estruturalmente. A parte inferior da calha deverá ser projetada para permanecer abaixo do nível do leito do curso d'água. Em projetos de drenagem urbana, a extremidade inferior deverá ser protegida contra ações erosivas indesejáveis.

Os blocos dissipadores podem ser projetados para qualquer descarga, porém deve-se respeitar o limite de  $5,0 \text{ m}^3/\text{s.m.}$

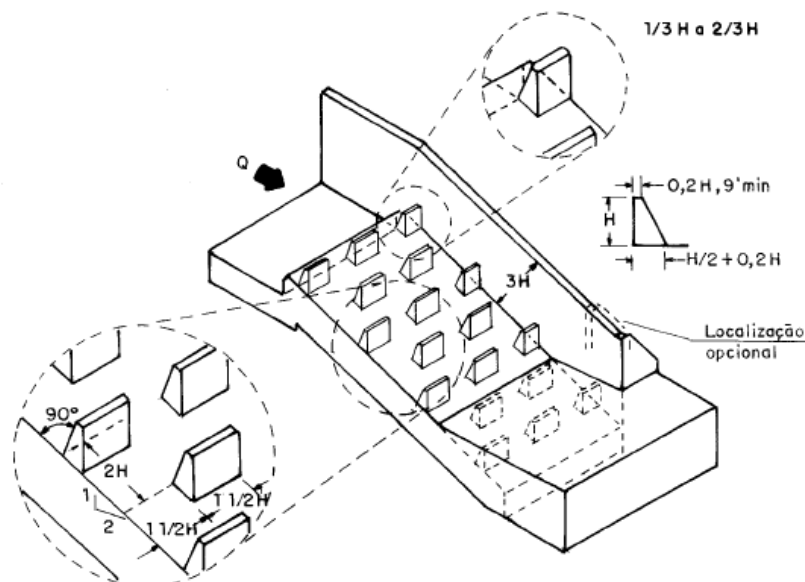


Figura 9 – Rampa dentada.

Fonte: (Diretriz de Projeto para Dissipação de Energia).

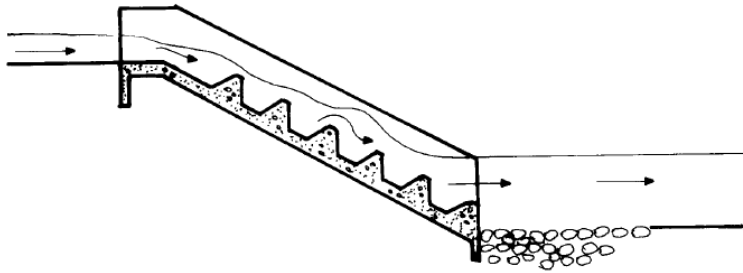


Figura 10 – Rampa dentada com dissipador de impacto associado.

Fonte: (Diretriz de Projeto para Dissipação de Energia).

#### 4.10.5 Bloco de Impacto

Nas saídas de tubulações que apresentam escoamentos velozes, a forma mais eficiente de dissipação de energia é com o uso de bacias de dissipação com enrocamento, ou de blocos de impacto. Embora o uso de bacia com enrocamento represente uma possibilidade atraente de solução, em situações de escoamento muito veloz apresenta limitações de dimensionamento.

Para estes casos é recomendável o uso dos blocos de impacto, são mais econômicos do que as bacias de enrocamento, dispensando maiores cuidados com manutenção.

Este tipo de bacia é relativamente pequena, o que produz uma alta eficiência de dissipação de energia.

A estrutura é projetada para operar continuamente sob escoamento. As condições máximas de entrada são velocidade de 15 m/s e número de Froude próximo a 9 (nove). Em drenagem urbana, não é comum ter condições que as excedam, o que significa que o uso desta bacia é limitado somente por considerações econômicas e estruturais.

O dimensionamento deste tipo de dispositivo é fundamentado em trabalhos experimentais específicos. Diversos tipos padronizados de dissipadores já foram estudados experimentalmente, destacando-se o dissipador tipo Bradley-Peterka, desenvolvido pelo USBR e bastante utilizado na Engenharia Hidráulica.



Figura 11 – Dissipador por bloco de impacto.

Fonte: Tomaz (2011).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Localização

Será realizado um levantamento do atual estado de um ponto de lançamento de emissário de água pluvial, o local é a Rua Ágata, próximo ao Colégio Estadual Ivone Soares Castanharo, no Jardim Tropical I, na cidade de Campo Mourão – Paraná, onde foi encontrado um problema quanto à energia de dissipação da água escoada. O levantamento tem como auxílio para a determinação do emissário que faz o lançamento no ponto escolhido a planta de galerias de águas pluviais disponibilizada pela Secretaria de Planejamento.



Figura 12 – Localização do emissário analisado.

Fonte: Google Earth (2018).



## 5.2 Levantamento Teórico

Inicialmente foi levantado um referencial teórico e bibliográfico baseado em artigos, teses e livros sobre os principais fatores que fundamentam o entendimento do processo inicial para o dimensionamento de um dissipador de energia. Levantamento também dos impactos sofridos pelo que seria um dimensionamento incorreto da drenagem, problema esse encontrado, e assim sendo necessário a implantação de um dissipador de energia como solução para o local estudado. A pesquisa inclui Tucci e Manuais de Drenagem como principais fontes para a base conceitual dos assuntos drenagem urbana, seus impactos em casos de mal dimensionamento e a solução encontrada.

## 5.3 Visita in loco

Foram realizadas visitas *in loco*, para registrar através de fotografias os problemas presentes decorrentes da drenagem urbana de águas pluviais, tais como erosão, água parada e despejo de resíduos. Além disso, dados da saída da tubulação também serão recolhidos, como o diâmetro da saída e se há dissipadores de energia ou técnicas de amortecimento implantadas.

## 5.4 Análise dos impactos

Após a visita ao local, foi visto uma voçoroca, problema grave quanto à erosão. É estimado que para o local, o emissário tem o desague feito de forma inapropriada para a demanda e velocidade de água pluvial da área estudada. A intensidade pluviométrica é superior à suportada para o caso, necessitando assim de um redimensionamento ou de um dissipador de energia como solução. A eficiência do escoamento para o emissário estudado após a coleta de dados tem como conclusão não ser eficiente.

Dessa forma, será feito um dimensionamento para um dissipador de energia para evitar a continuação do problema de erosão.

Como parte inicial do estudo, é necessário o cálculo quanto à vazão do emissário no local escolhido.

## 5.5 Fatores para Dimensionamento de Galeria de Água Pluvial

Usando um fluxograma para exemplificar o passo a passo à ser feito:

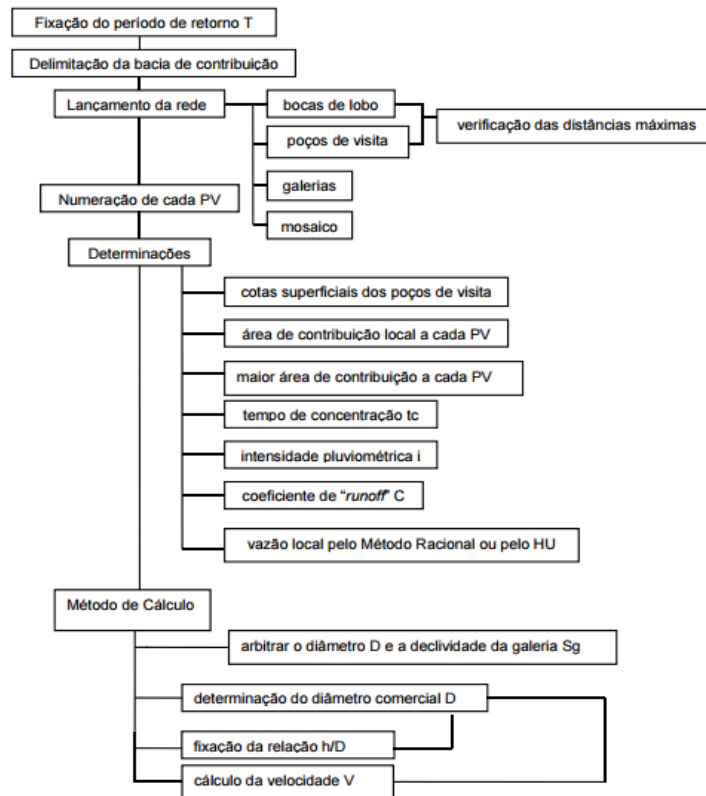


Figura 13 – Fluxograma para dimensionamento de galeria de água pluvial.

Fonte: revistas.ufg (2012).

PV: Poço de visita

Sg: Declividade da galeria

D: Diâmetro

h/D: relação altura-lâmina d'água

V: velocidade do escoamento

Costa, Siqueira e Menezes Filho (2007) descrevem um método de cálculo integrado por várias etapas, sendo elas:

- Delimitação da Bacia de contribuição: obtenção de dados quanto ao sentido de escoamento da água através de levantamento topográfico.

- Posicionar as bocas de lobo e poços de visita: não podem atrapalhar a travessia de pedestres e com espaçamento de no máximo 60 metros uma da outra. Poços de visita não devem ter distância maior que 100 metros de separação.
- Mosaico: mosaico indicando a área de influência de cada poço de visita.
- Denominação do trecho e obtenção da extensão da galeria: numeração dos poços de visita, com intuito de nomear e diferenciar cada trecho e as respectivas extensões.
- Cálculo de área: cálculo referente a área contribuinte de cada poço de visita e cálculo referente a área total drenada a montante da tubulação.

O método consiste da definição de alguns coeficientes que serão apresentados:

- Coeficiente de Runoff local ou Coeficiente de escoamento Superficial: é a relação entre o volume total de água que esco superficialmente com o volume oriundo da chuva. Pode ser obtido através de medições de vazões da bacia estudada e das alturas de precipitação, a caso haja mais de um tipo de solo na caracterização é realizado uma estimativa entre eles, como segue a equação:

$$C = \frac{C_1 * A_1 + \dots + C_n * A_n}{\Sigma A}$$

C: Coeficiente de runoff

A: área respectiva do tipo de solo.

- Tempo de concentração: O tempo que leva para um gota de chuva percorrer o caminho do ponto mais distante da bacia até o poço de visita, Os primeiros poços deve se considerar 5 minutos, já os seguintes são calculados através do tempo de percurso do trecho em questão.
- Intensidade pluviométrica: cálculo obtido através dos cálculos de precipitação ou histórico da região.
- Cálculo da Vazão superficial local (Q<sub>loc</sub>): Para áreas de até 2 km<sup>2</sup> a vazão é obtida através da equação de método racional.

$$Q_{loc} = C * i * A$$

C: Coeficiente de Runoff

i: intensidade da chuva em m.s<sup>-1</sup>,

A: área da bacia contribuinte local em m<sup>2</sup>.

- Cálculo da vazão total: Soma das vazões que chegam ao poço de visita através das galerias.
- Diâmetro necessário: Diâmetro comercial que será escolhido para a tubulação.
- Declividade do terreno no trecho: É a declividade entre o poço de visita a montante em relação ao poço a jusante.

$$St = \frac{cm-cj}{L}$$

St: Declividade do terreno,

cm: cota do terreno no poço a montante,

cj: cota do terreno no poço a jusante e L a extensão da galeria, todos em metro

- Cotas inferiores da galeria: cotas relativas a parte inferior de onde saem as tubulações no poço de visita.

$$Cim = cm - (rm + D)$$

$$Cij = Cim - (Sg * L)$$

$$Sg = \frac{(Cim - Cij)}{L}$$

Cim: cota inferior da galeria a montante em metros

cm: cota inferior do poço de visita a montante em metros

rm: recobrimento mínimo em metros

D: diâmetro em metros

Cij: cota inferior da respectiva galeria a jusante em metros

L: comprimento do trecho em metros

Sg: declividade da galeria, dada em metro a cada metro.

- Profundidade da galeria: Seria o recobrimento somado ao diâmetro da galeria.

- Constante K: Constante que pode ser obtida através do ângulo central do conduto circular, ou através de equações que levam em conta a vazão, coeficiente de Manning, diâmetro e declividade.

$$K = 0,0496062 * \theta^{-\frac{2}{3}} * (\theta - \text{sen}\theta)^{\frac{5}{3}}$$

$$K = Q * n * D^{-\frac{8}{3}} * Sg^{-\frac{1}{2}}$$

$\theta$ : ângulo central (rad)

Q: vazão total ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

n: coeficiente de Manning ( $\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ ), varia de acordo com o material da tubulação

D: diâmetro (m)

Sg: declividade ( $\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ )

- Cálculo do ângulo central da superfície livre ( $\theta$ ):

$$\theta = 5915,8 * K^5 - 5201,2 * K^4 + 1786,6 * K^3 - 298,89 * K^2 + 32,113 * K + 1,1487$$

- Relação da altura-diâmetro ( $h/D$ ): Altura da lâmina d'água e seu respectivo diâmetro.

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} [1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)]$$

- Cálculo da área molhada (A).

$$A = D^2 * \frac{(\theta - \text{sen}\theta)}{8}$$

- Velocidade de escoamento: razão entre a vazão total, no caso a vazão local somada com as vazões afluentes, e a área molhada.

$$V = \frac{Q}{A}$$

- Tempo de percurso ( $t_p$ ): Razão do comprimento do trecho (L) por 60 vezes a velocidade de escoamento.

$$t_p = \frac{L}{V \cdot 60}$$

Com a obtenção das informações através da conclusão das etapas, estão dispostas as informações necessárias para o dimensionamento de uma galeria de águas pluviais.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Caracterização do local

Inicialmente, temos a localização do emissário analisado, situado ao lado do Colégio Estadual Professor Ivone Soares Castanharo. Foi escolhido por indicar uma grande erosão.

O lugar demonstrava ter sido extremamente afetado pela alta vazão e velocidade de escoamento da drenagem local, deixando uma voçoroca exposta.



Figura 14 – Erosão.

Fonte: Autoria Própria (2018).

A voçoroca apresenta cerca de 4 à 5 metros de altura. A tubulação tem 1 metro de diâmetro, e a sua distância até a caída mais próxima é de aproximadamente 3,5 metros de altura.

Foi constatada uma aparente tentativa de amenizar o problema da vazão encontrada no local. Baseada em posicionar rochas de grande e médio porte na parte superior à tubulação e por cerca de 10 metros contínuos à frente do emissário, com intenção de evitar maiores desabamentos e maior abertura da voçoroca.



Tal solução auxilia o problema, porém não o resolve.



Figura 15 – Rochas para dissipação de energia.

Fonte: Autoria Própria (2018).





Figura 16 – Rochas na área inferior a tubulação.

Fonte: Autoria Própria (2018).

A partir do que foi analisado, é constatado ser necessário o uso de um dissipador de energia para solucionar problemas futuros no local escolhido.







Figura 18 – Área de influência.

Fonte: Engeo Consultoria (2017).

O pré-dimensionamento foi feito através do Método Racional, considerando um tempo de retorno de 3 anos e índice de pluviosidade do município de Cianorte.

A vazão obtida é de 3,197 m<sup>3</sup>/s ou 3197 l/s.

A partir da obtenção do valor de vazão e área de influência do local, foi usado o software Google Earth® para a análise da declividade, e assim, cálculo da velocidade de escoamento.

Sendo traçado um caminho entre o último ponto de encontro das tubulações, até a saída do emissário, foram obtidos valores de:

32,7m de comprimento de tubulação, e descida de 0,1m. Geometricamente, os valores indicam uma declividade (l) de 0,00306m/m.

Considerando a tubulação com 75% do seu diâmetro ocupado pela lâmina de água, obtemos o valor de:

Dados: Diâmetro = 1,00 metros

Raio = 0,50 metros

Altura lâmina de água = 0,75 metros

Perímetro Molhado (Pm) = 4,19 . Raio = 4,19 x 0,5

Pm = 2,095 m

Área Molhada (Am) = 2,53 . Raio<sup>2</sup> = 2,53 x 0,5<sup>2</sup>

Am = 0,6325 m<sup>2</sup>

Raio Hidráulico (Rh) = 0,603 . Raio = 0,603 x 0,5

Rh = 0,3015

Valores são tabelados para Am, Pm e Rh quando usado a proporção de 75% do diâmetro ocupado pela lâmina de água.

Foi usada a Fórmula de Chézy com Coeficiente de Manning para a obtenção da velocidade de escoamento em m/s.

$$V = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

V é velocidade de escoamento em m/s.

I é declividade em m/m.

n é coeficiente de rugosidade, no caso, dado como 0,014 por adotarmos que a tubulação é de concreto sem acabamento, valor adimensional.

$$V = \frac{1}{0,014} \cdot 0,3015^{2/3} \cdot 0,00306^{1/2}$$

V = 1,776 m/s.

### 6.3 Dimensionamento Dissipadores de Energia

Tendo os valores geométricos, velocidade de escoamento e vazão, é possível dimensionar experimentalmente os dissipadores de energia.

A partir de informações retiradas de manuais de drenagem e livros com abordagem em engenharia hidráulica, foi considerado o dimensionamento para quatro tipos de dissipador de energia. São selecionados a partir da compatibilidade com o emissário e seus valores de vazão e velocidade de escoamento encontrados.

Os três dissipadores de energia à serem apresentados são: dissipador por bloco de impacto, de degrau vertical, de escada hidráulica (contínua) e de rampas dentadas.

#### 6.3.1 Bloco de Impacto

Os blocos de impacto são dimensionados a partir dos critérios de Bradley-Peterka. Devido a vibrações e esforços dinâmicos significativos, é recomendada espessura mínima de concreto da ordem de 0,15m.

**Quadro 14.1 – Critérios para dimensionamento de dissipador tipo Bradley-Peterka**

Vazão [m <sup>3</sup> /s]	Largura (w) [m]		Dimensões [m]						
	Máxima	Mínima	a	b	c	tw	tf	tb	tp
3	3,50	2,90	0,25	0,08	1,00	0,20	0,20	0,25	0,20
6	4,80	3,80	0,30	0,10	1,00	0,25	0,30	0,25	0,20
9	5,50	4,50	0,35	0,15	1,00	0,30	0,30	0,30	0,20
12	6,00	5,00	0,40	0,15	1,00	0,30	0,35	0,30	0,20

Fonte - Adaptado de DAEE-Cetesb, 1980.

Figura 19 – Critério para dimensionamento de dissipador tipo Bradley-Peterka.

Fonte: Baptista (2010).

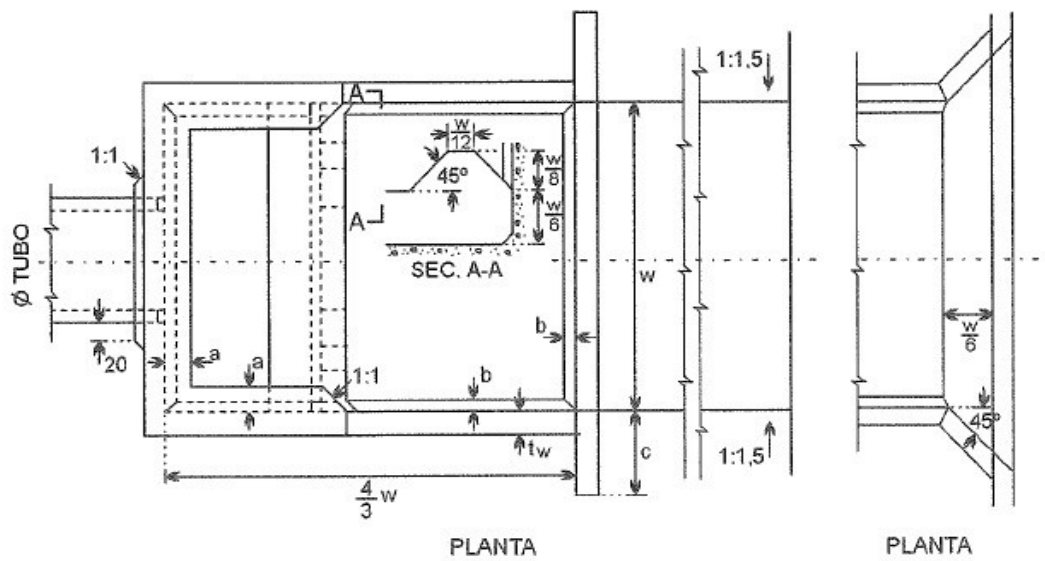
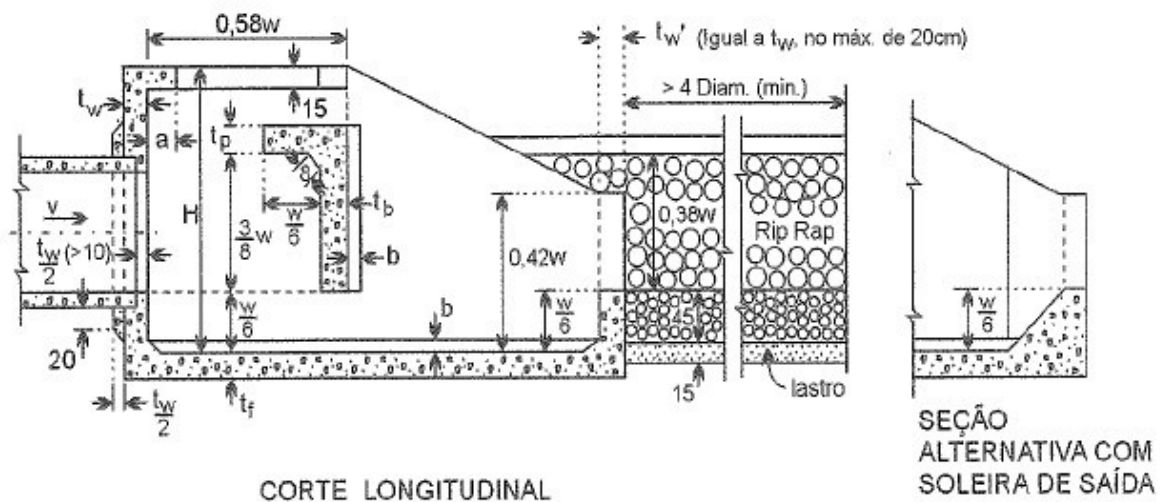


Figura 20 – Dissipador tipo Bradley-Peterka.

Fonte: Baptista (2010).



Dissipador tipo Bradley-Peterka

Adaptado de Peterka, 1984.

Figura 21 – Dissipador tipo Bradley-Peterka.

Fonte: Baptista (2010).

Temos as dimensões a serem usadas no dissipador de energia por bloco de impacto dadas a partir da vazão e da largura de saída do emissário. No caso, a vazão tem valor de  $3,2\text{m}^3/\text{s}$ , e por critérios de segurança usamos o valor de tabelado de  $6\text{m}^3/\text{s}$ .

Conforme usado um valor com sobra na vazão, usamos o valor mínimo para a largura ( $w$ ) de saída do emissário, adotando-se 3,80m.

Teremos as dimensões sendo:

$$\begin{aligned} a &= 0,30 \text{ m} & t_f &= 0,30 \text{ m} \\ b &= 0,10 \text{ m} & t_b &= 0,25 \text{ m} \\ c &= 1,00 \text{ m} & t_p &= 0,20 \text{ m} \\ t_w &= 0,25 \text{ m} \end{aligned}$$

O dissipador por bloco de impacto necessitaria de um aterramento para sua execução, fazendo-o pouco viável para o caso analisado.

### 6.3.2 Rampas dentadas

O dimensionamento para rampas dentadas pode ser efetuado para vazões específicas afluentes de até 6 m<sup>3</sup>/s.m. Recomenda-se declividades sendo iguais ou inferiores a 1(V):2(H). O adequado funcionamento pressupõe baixas velocidades de aproximação.

A velocidade de operação corresponde à expressão:

$$\begin{aligned} V &\leq \sqrt[3]{g \cdot q} - 1,6 \\ V &\leq \sqrt[3]{9,8 \cdot 3,2} - 1,6 \\ V &\leq 1,55 \text{ m/s} \end{aligned}$$

E a velocidade não deve ser inferior ao valor  $\sqrt[3]{g \cdot q}$ .

$$\sqrt[3]{g \cdot q} = 3,153 \text{ m}^3/\text{s}$$

O valor calculado inicialmente para velocidade era de 1,776 m/s. Assim, não se encaixa na condição ideal, porém, não ultrapassa a condição de risco.

A altura do bloco dissipador (H), deve ser da ordem de 0,8hc, sendo que suas larguras e seus espaçamentos em uma mesma linha devem situar-se no entorno de 1,5 vezes a altura dos blocos.

A distância entre duas fileiras de blocos deve ser duas vezes a altura. Caso a altura do bloco for menor que 0,90m, o espaçamento pode ser superior a este valor, enquanto não ultrapassar 1,80 m.

Os muros laterais deverão ter uma altura igual a três vezes a altura dos blocos, devendo ser protegidos lateralmente com enrocamentos.

Utilizando nossa vazão ( $q$ ) igual à 3,2 m<sup>3</sup>/s.

Temos a expressão para altura crítica do escoamento ( $h_c$ ) sendo:

$$h_c = \sqrt[3]{q^2/g}$$

$$h_c = \sqrt[3]{3,7^2/9,8}$$

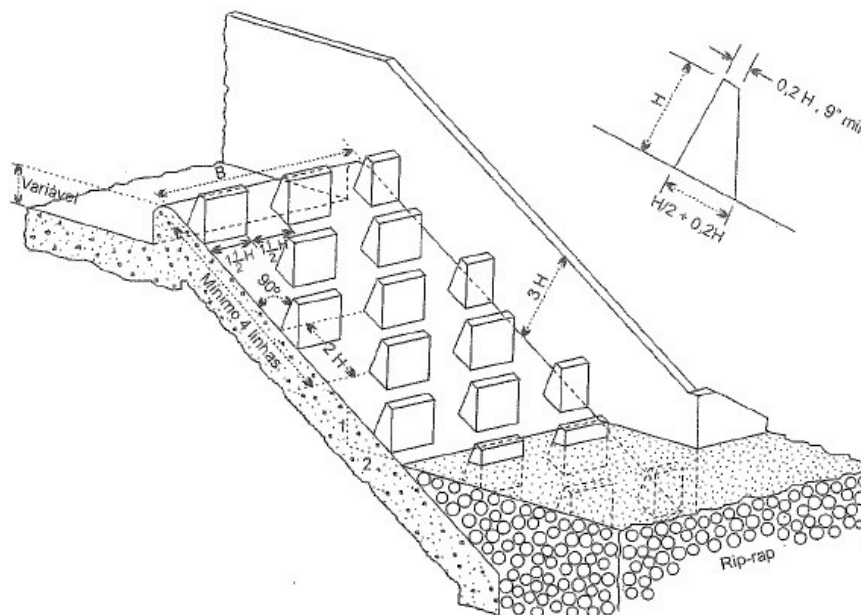
$$h_c = 1,014 \text{ m}$$

Adotando  $h_c = 1,1\text{m}$ , temos para altura do bloco ( $H$ ):

$$H = 0,8h_c$$

$$H = 0,88\text{m}$$

Adota-se,  $H = 0,9 \text{ m}$ . Todas as dimensões são definidas a partir desse valor.



Rampas ou calhas dissipadoras

Figura 22 – Dissipador por rampa dentada.

Fonte: Baptista (2010).



### 6.3.3 Degrau vertical

O escoamento no degraú pode ser definido em função de uma variável, denominada número de queda, dada pela seguinte expressão:

O valor da altura e da largura são experimentais. A altura usada é aproximadamente de 1,50 m. Adota-se altura (h) sendo 1 m.

$$Dn = \frac{q^2}{gh^3}$$

Onde

Dn: número de queda;

q: vazão por unidade de largura, em m<sup>3</sup>/s.m;

h: altura do degraú, em m.

Com base no estudo anterior de dissipador de impacto, adota-se largura (L) sendo 3 m.

$$q = 3,2 / 3$$

$$q = 1,067 \frac{m^3}{s.m}$$

$$Dn = \frac{1,067^2}{9,8 \cdot 1^3}$$

$$Dn = 0,116$$

As dimensões necessárias para o dissipador em degraú vertical são dadas pelas seguintes expressões em função de Dn.

$$\frac{Ld}{h} = 4,3Dn^{0,27} \quad \frac{Ld}{h} = 4,3 \cdot 0,116^{0,27}$$

$$Ld = 2,4m$$

$$\frac{Yp}{h} = 1,0Dn^{0,22} \quad \frac{Yp}{h} = 1,0 \cdot 0,116^{0,22}$$

$$Y_p = 0,622m$$

$$\frac{Y_1}{h} = 0,51Dn^{0,425} \quad \frac{Y_1}{h} = 0,51 \cdot 0,116^{0,425}$$

$$Y_1 = 0,216m$$

$$\frac{Y_2}{h} = 1,66Dn^{0,27} \quad \frac{Y_2}{h} = 1,66 \cdot 0,116^{0,27}$$

$$Y_2 = 0,93m$$

Onde

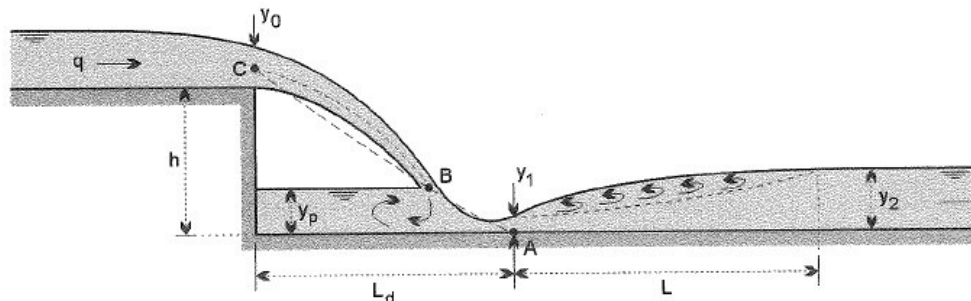
$L_d$ : comprimento da queda, em m;

$Y_p$ : profundidade da água na parte anterior da queda, em m;

$Y_1$ : profundidade da água na parte posterior da queda, em m;

$Y_2$ : profundidade conjugada jusante do ressalto, em m.

O comprimento  $L$  corresponde ao comprimento do ressalto.



Esquema das condições hidráulicas em um degrau

Figura 23 – Degrau vertical.

Fonte: Baptista (2010).

O dissipador de energia por degrau vertical por ter altura aproximada de 1,50 metros, necessitaria também de aterro para sua construção. Assim, tem grau baixo de viabilidade para execução.

### 6.3.4 Escada hidráulica

Fazendo o uso do modelo de Carlos A. Gonçalves e Hubert Chanson da Austrália e que foi publicada pela *Dam Engineering Volume XXVII, Issue 4* página 223 a 244.

Chanson afirma que no regime *skimming flow* desenvolvem-se vórtices abaixo do pseudo fundo (alinhamento formado pelas extremidades externas dos degraus) que são mantidos pela transmissão da tensão tangencial do fluido escoando pelas extremidades dos degraus.

A dissipação da energia causada pelos degraus pode reduzir significativamente o tamanho e o custo da bacia de dissipação necessária na base do vertedouro, comparada com uma calha convencional de concreto (calha lisa).

Portanto, na escada hidráulica temos um regime especial de escoamento denominado *skimming flow* que é complexo e dependente de inúmeras pesquisas ainda em desenvolvimento.

Temos como informações iniciais:

A escada hidráulica tem ângulo de inclinação variando de 10° a 55°. A altura do degrau é também chamada de espelho do degrau e varia de 0,2m a 0,90m.

Adotando os dados iniciais:

Vazão de pico ( $q$ ) = 3,2 m<sup>3</sup>/s;

Diâmetro da tubulação ( $D$ ) = 1,00 m;

Diferença de nível ( $H$ ) = 3,60 m;

Comprimento de declividade em projeção ( $L_d$ ) = 9,00 m.

Calculando a largura da escada hidráulica, não existe recomendação para os valores, porém adota-se:

$$B \geq 2,0 \times D$$

$$B \geq 2,0 \times 1,0$$

$$B = 2,0 \text{ m.}$$

Sendo:

$B$  = largura da escada hidráulica e largura do canal no início da escada (m)

D= diâmetro do tubo (m)

Canal de transição, saída do tubo de diâmetro (D) de 1,00 m até a entrada da escada com largura (B) de 2,00 m.

- Área da seção do tubo (A) =  $\pi \cdot D^2 / 4$

$$A = \pi \cdot \frac{1,0^2}{4} = 0,785 \text{ m}^2$$

- Velocidade na tubulação (V) = Q/A

$$V = 3,2 / 0,785 = 4,076 \text{ m}^2/\text{s}$$

- Froude (F)  $F = \frac{V}{(g \cdot D)^{0,5}}$

$$F = \frac{4,076}{(9,8 \cdot 1,0)^{0,5}}$$

F = 1,302, geralmente o número de Froude varia entre 1 e 2,5.

- Comprimento de transição (L)

$$L = \frac{(3 \cdot F) - (B - D)}{2}$$

$$L = \frac{(3 \cdot 1,302) - (2 - 1)}{2}$$

$$L = 1,953 \text{ m.}$$

- Estimativa da altura do degrau (h) e comprimento do degrau (b), primeiramente calculando a profundidade crítica (dc) da água no início da escada hidráulica.

$$dc = \left( \frac{q^2}{g \cdot B^2} \right)^{1/3}$$

$$dc = \left(\frac{3,2^2}{9,8 \cdot 2^2}\right)^{1/3}$$

$$dc = 0,64 \text{ m.}$$

Há uma condição para o regime de escoamento analisado:

$$1 < dc/h < 3,2$$

Assim,

$$h = dc = 0,64 \text{ m;}$$

$$h = dc/3,2 = 0,64/3,2 = 0,20 \text{ m.}$$

A altura do degrau deve estar entre 0,20 m e 0,64 m.

Adotando-se altura do degrau  $h = 0,30 \text{ m}$ .

$$\text{Número de degraus} = H/h = 3,6/0,30 = 12 \text{ degraus;}$$

$$\text{Comprimento de cada degrau} = Ld/12 = 9,0/12 = 0,75 \text{ m.}$$

- Verificação de que o regime de escoamento é skimming flow.

$$dc/h > 0,91 - 0,14 \cdot h/b$$

$$0,64/0,30 > 0,91 - 0,14 \cdot 0,3/0,75$$

$$2,133 > 0,854$$

O regime fica confirmado como skimming flow.

- Altura da água + ar.

$$\tan(\theta) = h/b = 0,30/0,75 = 0,40$$

$$\text{ângulo em graus} = 0,40 \times 180/\text{PI} = 22,92^\circ$$

Froude (F)

$$F = (q/B)/(g \times \text{sen}(\theta) \times h^3)^{0,5} = (3,20/2,00)/(9,8 \times \text{sen}(22,92^\circ) \times 0,25^3)^{0,5}$$

$$F = 4,984$$

Altura da água ( $d_1$ ) =  $0,4 \times h \times F^{0,6}$

$$d_1 = 0,4 \times 0,30 \times 4,984^{0,6} = 0,314 \text{ m.}$$

- Altura da parede da escada hidráulica ( $H_1$ ).

$$F_b = (K \cdot d_1)^{0,5}$$

O valor de  $K$  varia de 0,8 a 1,4 para vazão de 0,5 m<sup>3</sup>/s a 85 m<sup>3</sup>/s.

Adotando  $K=1$ ,

$$F_b = (1 \cdot 0,314)^{0,5} = 0,56$$

$$H_1 = d_1 + F_b = 0,314 + 0,50 = 0,75 \text{ m.}$$

Assim, temos todas as dimensões necessárias para a execução de um dissipador de energia em escada hidráulica pelo método de Chanson. A obra hidráulica de dissipador por escada é a mais comum e utilizada, sendo de maior acessibilidade por mão-de-obra e posicionamento no local analisado.

## 7 CONCLUSÃO

Tendo como base o referencial teórico, as visitas *in loco* e auxílio do Instituto Paranaense de Águas e da empresa Engeo Consultoria, Campo Mourão, do software Google Earth®, o presente trabalho avaliou a vazão, a velocidade de escoamento e o dimensionamento de dissipadores de energia para um emissário do município de Campo Mourão, Paraná.

O estudo apresentado foca na área do conhecimento Hidráulico ligado ao controle da água, e o fator não prejudicial do seu escoamento na área urbana. O que é a drenagem urbana e como funciona, o que se precisa para um bom funcionamento. O dimensionamento varia inteiramente quanto ao estudo dos fatores citados, sendo necessário um embasamento histórico da região, na área de pluviosidade.

O emissário foi identificado e atestado que seria necessário o uso de um dissipador de energia, por contar com uma erosão de grande porte no local escolhido.

A bacia e vazão do local foram fornecidas pelo Instituto de Águas Paranaense e da empresa Engeo Consultoria, que já atestavam a área como sendo local em que um dissipador de energia seria necessário, assim, já haviam iniciado um estudo quanto à precipitação, à área de influência e a vazão do emissário.

A erosão no local de escoamento do emissário tinha proporções grandes, se fazendo necessário um dissipador de energia. O local já contava com rochas para dissipação de energia parcial, sem a eficiência necessária.

Com o dimensionamento dos principais tipos de dissipador de energia, tem-se que o dissipador de impacto e degrau único seriam os menos eficientes e proporcionais para o local. O dissipador por rampa dentada não atende a condição ideal de uso, mas está longe de ter condição crítica, podendo ser uma boa alternativa. O dissipador por escada hidráulica é o mais indicado.

## 8 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Francisco Nataniel Batista de. **Impactos ambientais e agentes/fatores controladores voçorocas urbanas na cidade de Eunápolis (Bahia)**. 2 Ed. Eunápolis, Bahia, junho 2012. Disponível em [www.revistapindorama.ifba.edu.br](http://www.revistapindorama.ifba.edu.br). Acesso em: 10 de jun. 2017.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1ª Ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Elsevier, 2016.

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Rubem Laina; BASTOS, Mário T. de. **Drenagem Urbana**. 1ª Ed, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.

NETTO, José Martiniano de Azevedo. **Manual de Hidráulica**, 8ª Ed. São Paulo, São Paulo, Edgard Blücher LTDA.1998.

GRIBBIN, John E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4ª Ed. Estados Unidos da América, Cengage Learning, 2015.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2ª Ed, São Paulo, São Paulo, Edgard Blücher LTDA. 2002.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2ª Ed, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.

Secretaria de Vias Públicas da Prefeitura do Município de São Paulo. **Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia**. 1999.

PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **Hidrologia Básica**. 7ª Ed. São Paulo, São Paulo, Edgard Blücher LTDA. 2000.



TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª Ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3ª Ed, Belo Horizonte, Minas Gerais, UFMG, 2010.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. 2 ed, rev., atual. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. **Águas Pluviais**. Brasília, DF: Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. 2007.

DER-PR, **Drenagem: dissipadores de energia**, ES-D 04/05. Curitiba, Paraná. Maio de 2005.

PAULA, Heber de Martins. **Aula 8 – Drenagem Urbana**, Disponível em: <https://pt.slideshare.net/joseluispradosanchez/aula-8-drenagem-urbana>. Acesso em 08 de Maio de 2017.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS. V. 7, n. 1. p. 5-27, jan/mar. 2002.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS. V. 4, n. 2. p. 5-12, jul/ago. 1997.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão das inundações urbanas**. MÓDULO I. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, junho, 2005.

Ministério dos transportes – Norma DNIT 022/2006-ES. **Drenagem – Dissipadores de Energia – Especificação de Serviço**. 2006.

TOMAZ, Plínio. Curso de Manejamento de águas pluviais. **Capítulo 8 – Escada Hidráulica em obra de pequeno porte**. Guarulhos, São Paulo, fevereiro de 2011.

SILVEIRA, Renato, Sucheki; REIGUEL, Marcelo. **Plano Municipal de Drenagem de Águas Pluviais**. Campo Mourão, Paraná, fevereiro de 2018.

TUCCI, Carlos E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre – DEP – DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2005.