

Hidrologia e drenagem

Hidrologia e drenagem

Gustavo Henrique Tonelli Dutra de Almeida
Letícia Santos Masini
Luiz Ricardo Santos Malta

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente
Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação
Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico
Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica
Adriane Monteiro Fontana
Barbara Nardi Melo
João Carlos dos Santos

Editoração
Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Almeida, Gustavo Henrique Tonelli Dutra de
A447h Hidrologia e drenagem / Gustavo Henrique Tonelli Dutra de Almeida, Letícia Santos Masini, Luiz Ricardo Santos Malta. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.
200 p.

ISBN 978-85-8482-863-0

1. Hidrologia. 2. Drenagem. I. Masini, Letícia Santos. II. Malta, Luiz Ricardo Santos.

CDD 551.48

2017
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 — Londrina — PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: http://www.kroton.com.br/

Sumário

Unidade 1 | Introdução à hidrologia, ciclo hidrológico e bacia hidrográfica 7

Seção 1.1 - As relações da água e a engenharia civil 9
Seção 1.2 - Ciclo hidrológico 23
Seção 1.3 - Bacias hidrográficas e vazões de projeto 37

Unidade 2 | Sistema de recursos hídricos: enchentes, estiagens e águas subterrâneas 57

Seção 2.1 - Regime de cursos d'água; previsão de enchentes 59
Seção 2.2 - Regularização de vazão e controle de estiagens 71
Seção 2.3 - Águas subterrâneas 87

Unidade 3 | Sistemas de micro e macrodrenagem 99

Seção 3.1 - Microdrenagem: conceitos gerais e introdução a dimensionamento 101
Seção 3.2 - Microdrenagem: dimensionamento 119
Seção 3.3 - Macrodrenagem: conceitos gerais 135

Unidade 4 | Técnicas compensatórias em drenagem urbana 151

Seção 4.1 - Técnicas compensatórias em drenagem urbana: conceitos gerais e introdução às medidas estruturais 153
Seção 4.2 - Técnicas compensatórias em drenagem urbana: medidas estruturais 167
Seção 4.3 - Técnicas compensatórias em drenagem urbana: medidas não estruturais 185

Palavras do autor

Prezado aluno, este material que vai ser apresentado, traz um estudo a respeito de *Hidrologia e drenagem urbana*. O primeiro tema, hidrologia, é de grande importância, entre outros tópicos, pois aborda o entendimento de previsão de eventos extremos. Neste caso, mais especificamente, será dada ênfase ao evento extremo referente às precipitações e vazões máximas, visto que este é o mais empregado em drenagem urbana. O segundo tema, drenagem urbana, é de fundamental interesse, pois está associado ao conceito de saneamento ambiental, que é crucial para se atingir o status de cidade sustentável. Imagine uma cidade sem drenagem urbana, abastecimento, esgotamento ou sem controle de resíduos sólidos. Seria quase uma cidade primitiva, de convivência humana praticamente impossível. Pense, mais precisamente, na drenagem urbana, toda vez que chovesse haveria alagamentos, enchentes, inundações e enxurradas por todos os cantos.

Para o melhor entendimento da dimensão destes dois temas, cada um deles foi subdividido em duas unidades, perfazendo momentos de aprendizagem. O primeiro tema, que aborda mais a hidrográfica, especificamente, será a introdução aos estudos da hidrologia: ciclo hidrológico e bacia hidrográfica em que serão vistas as relações da água com a engenharia civil, o conceito de ciclo hidrológico e o conceito de bacias hidrográficas e vazões de projeto. O segundo, aborda o sistema de recursos hídricos: enchentes, estiagens e águas subterrâneas. O terceiro, aborda as questões específicas de micro e macrodrenagem e, por fim, o quarto apresenta as técnicas compensatórias em drenagem urbana.

Esperamos que fique claro para você que a drenagem urbana é basicamente uma associação de conceitos de hidrologia e hidráulica, provavelmente vistos em outras disciplinas de seu curso, colocados para resolver os problemas de transporte de águas pluviais em uma região urbana.

Nesta pequena introdução, houve uma breve apresentação da importância da hidrologia e drenagem urbana, do objetivo e da abordagem metodológica desta disciplina. Desejamos a você boa sorte em seus estudos e que este traga muitos frutos em sua vida profissional futura.

Introdução à hidrologia, ciclo hidrológico e bacia hidrográfica

Convite ao estudo

Caro aluno, nesta unidade abordaremos os conceitos de hidrologia, destacando sua aplicação na Engenharia Civil e sua importância para a sociedade. Veremos também os componentes do ciclo hidrológico e os parâmetros necessários na elaboração de projetos, visando a segurança das obras hidráulicas, bem como os conceitos que definem as bacias hidrográficas, aplicando-os na determinação da vazão de projeto em obras hidráulicas.

Para aplicar seus conhecimentos em hidrologia, ciclo hidrológico e bacia hidrográfica, imagine que você foi chamado para um estágio na secretaria de obras de seu município no departamento de drenagem urbana. O responsável técnico que irá supervisioná-lo é o Engenheiro Marcos. Será uma excelente oportunidade de aprender sobre drenagem urbana, microdrenagem e macrodrenagem. Você deverá conhecer os elementos que compõe as obras hidráulicas e os fatores relacionados ao seu dimensionamento. Em seguida, estudará o ciclo hidrológico, suas interações e a influência das chuvas nas obras de engenharia.

Para ter sucesso, explore as formas de captação de dados específicos dos municípios que auxiliarão nos dimensionamentos.

Seção 1.1

As relações da água e a engenharia civil

Diálogo aberto

Prezado aluno, aqui será apresentada uma visão geral de como as obras hidráulicas são influenciadas pelos comportamentos dos corpos hídricos superficiais e de como a qualidade da água de corpos hídricos superficiais afetam a vida do homem. Abordaremos também a responsabilidade do engenheiro em melhorar a qualidade da água.

Para auxiliá-lo nesta empreitada, será apresentada aqui uma situação hipotética, na qual você foi chamado para um estágio na secretaria de obras de seu município. Você deverá contribuir com o departamento de drenagem urbana (aliás, você sabia que geralmente todo município tem um secretário de obras e que conta com um departamento de drenagem urbana?).

Ao chegar na secretaria, você conversou com o responsável técnico, que irá supervisioná-lo durante o estágio: ele é o engenheiro Marcos. Ele lhe explicou do que se tratava o serviço, de forma geral. Há diferentes trabalhos num departamento de drenagem de uma cidade, dentre eles, os trabalhos de microdrenagem e macrodrenagem urbana.

Num primeiro momento, o engenheiro Marcos está trabalhando com alguns projetos de drenagem urbana e, para um bom desenvolvimento desses projetos, ele vai contar com a sua ajuda.

Marcos acredita que para você desenvolver um bom trabalho, será necessário que amplie os seus conhecimentos e a intimidade com as obras ligadas à drenagem urbana. Para tal, ele pediu que você saia na região onde mora e comece a observar as estruturas ligadas à drenagem urbana, tais como sarjetas, sarjetões, bocas de lobo, entradas de poços de visita e canais.

Não pode faltar

No grupo de águas superficiais se encontram as águas que escoam ou acumulam na superfície do solo, como os rios, riachos, lagos, lagoas, pântanos.

As águas superficiais sempre foram uma necessidade indispensável para o desenvolvimento do homem. As primeiras civilizações se estabeleceram em áreas próximas a rios. Por exemplo, o Egito, ao redor do rio Nilo; a Babilônia, ao redor dos rios Tigre e Eufrates; os hindus, ao redor do rio Indo e do rio Ganges; os romanos, ao redor do rio Tibre etc.

Esses povos utilizavam a água para finalidades de abastecimento humano, agricultura, dessedentação animal e navegação, sempre utilizando sua engenhosidade para conduzir a água para mais próximos deles.

De lá para cá, para manter essa proximidade, cada vez mais as cidades passaram a se desenvolver, sempre que possível, bem próximas a corpos hídricos que suprissem suas necessidades. Contudo, a proximidade de ocupação próxima a esses corpos hídricos passou a expor as populações às intempéries promovidas pela água pluvial, como alagamentos, enxurradas, inundações e enchentes.

Essas intempéries são geralmente confundidas pela população, mas são diferentes, para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (BRASIL, 2007) e para os setores da Defesa Civil. Para eles, a inundação representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. Já as enchentes, ou cheias, são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar. O alagamento, por sua vez, é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem (microdrenagem), conforme Figura 1.1, enquanto a enxurrada é o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associada a áreas de domínio dos processos fluviais.

Figura 1.1 | Diferença entre inundação, enchente e alagamento



Fonte: adaptada de <http://2.bp.blogspot.com/-9vj3Z6bgco4/Tf45O_4oz5I/AAAAAAAAABE/V-YFDDqUcow/s1600/enchente%252C+inunda%25C3%25A7%25C3%25A3o+e+alagamento.jpg>. Acesso em: 28 dez. 2016.

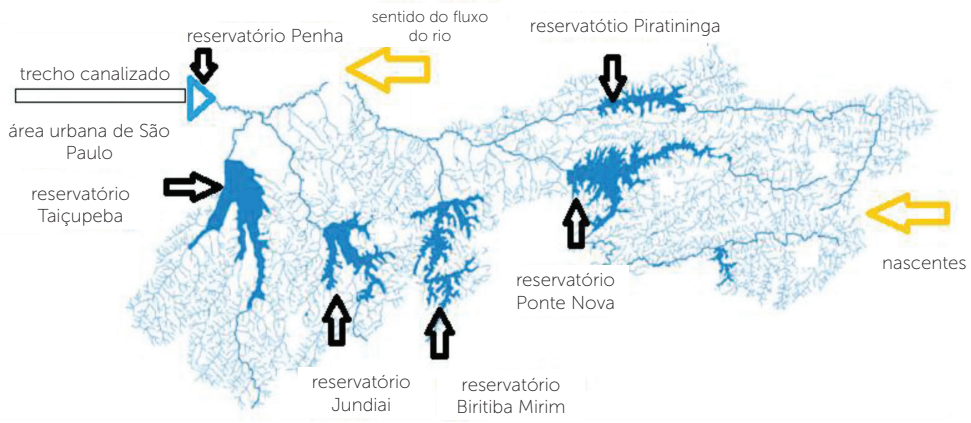
Mas por que ocorrem enchentes e inundações? Elas ocorrem porque muitas vezes o leito de um rio, riacho, córrego, lago ou outro corpo hídrico superficial recebe uma quantidade muito grande de água, que provém de um evento ou um conjunto de eventos chuvosos, e esse corpo hídrico não tem a capacidade para suportar tal quantidade de água.

Muitas pessoas perdem as vidas e bens em áreas agrícolas e urbanas. Por esse motivo, muitos pesquisadores e profissionais em todo o mundo procuram meios para resolver esse problema que tanto aflige a humanidade, sendo um desses meios as obras hidráulicas, que procuram resolver tais problemas.

No município de São Paulo, por exemplo, para evitar as desastrosas perdas devido a enchentes do rio Tietê na zona urbana, foi realizada uma série de intervenções com obras hidráulicas.

A Barragem da Penha (localizada no rio Tietê, na divisa entre São Paulo e Guarulhos); a barragem de Ponte Nova e a barragem do rio Paraitinga (ambas em Salesópolis); a barragem do rio Biritiba (no município de biritiba Mirim); a barragem do rio Jundiaí (no município de Mogi das Cruzes); e a barragem do rio Taiaçupeba (na divisa entre os municípios de Mogi das Cruzes e Suzano) são exemplos de obras hidráulicas construídas em cabeceira, que regulam a vazão do rio Tietê, sendo a barragem da Penha a primeira construída para essa única finalidade. Associada a essas barragens, outra obra hidráulica foi a canalização do rio Tietê, no trecho em que ele passa pela área urbana (Figura 1.2).

Figura 1.2 | Obras hidráulicas realizadas para conter a vazão de cabeceira no trecho urbano do Rio Tietê, no município de São Paulo



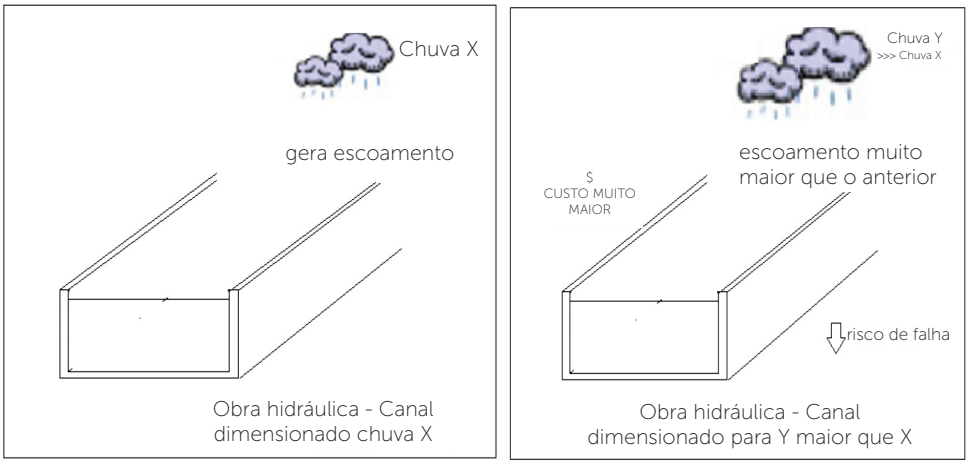
Fonte: adaptada de <http://www.scielo.br/img/revistas/bn/v11n3/a20fig01.jpg>. Acesso em: 28 dez. 2016.

As obras hidráulicas são realizadas para atender a uma determinada capacidade hidráulica, por esse motivo, as obras hidráulicas apresentam falhas. Elas admitem um limite de vazão, se esse limite for ultrapassado por um escoamento gerado por um evento ou por um conjunto de eventos chuvosos, essas obras irão falhar, provocando enchentes, inundações, alagamentos ou enxurradas.

O hidrólogo pode dizer que um determinado escoamento foi gerado por uma chuva de período de retorno de 500 anos. Período de retorno é o tempo, em média, que um determinado evento pode ser igualado ou superado. (Esse conceito você ainda não aprendeu. Em breve, voltaremos a ele de forma mais detalhada. Caso o tema não fique totalmente claro agora, volte a esta seção quando o tema estiver sido mais esclarecido).

Considerando o que foi dito agora, um engenheiro, ao realizar uma obra hidráulica, o faz para uma determinada chuva de projeto (veremos mais sobre esse conceito na próxima seção), ou seja, ela é construída para não falhar até o nível daquela chuva. Se ela for superada, a obra falhará. A Figura 1.3 mostra algumas considerações que o engenheiro tem ao determinar a chuva, se ele optar por projetar a obra para resistir a uma chuva maior, ele terá de gastar mais na execução de sua obra e terá menos risco de a obra falhar. Basicamente, ele está entre custos menores com maiores riscos ou custos maiores com menores riscos. Algumas vezes, a limitação técnica de projetar uma grande obra está nas ocupações no entorno, por exemplo.

Figura 1.3 | Alternativas de escolha da chuva de projeto



Fonte: elaborada pelo autor.

A escolha da chuva de projeto estará intimamente relacionada à vazão do projeto. Pode-se dizer, para uma mesma área de drenagem da bacia, com as mesmas características de infiltração, que a chuva de projeto será diretamente proporcional à vazão de projeto.

Algumas vezes, o engenheiro opta por obras com custos menores e que reduzem os efeitos causados pela falha de uma obra (mas com mais chances de falhar) como sendo a opção mais adequada, visto que ficar com um canal gigantesco e caro em um ponto pode descobrir outros pontos com problemas de enchente que, por falta de dinheiro, teriam que ficar sem obras.

Outra questão pertinente é a de que para garantir uma qualidade de vida para os seres humanos, é necessário, entre outras coisas, que os rios apresentem uma boa situação em relação à qualidade da água. Muitas das necessidades humanas dependem da qualidade das águas dos corpos hídricos, que estão presentes em nossas cidades, em nossas zonas rurais e em nosso cotidiano de uma forma geral.

Por muitos séculos, os corpos hídricos foram responsáveis por afastar os dejetos humanos, em conjunto com outras substâncias, para longe. Com o crescimento de agrupamentos humanos, com a evolução intensa do uso de produtos para fertilizar os solos e com desenvolvimento industrial, os recursos hídricos passaram cada vez mais a não conseguir diluir tanto material que aportava neles, e a sua qualidade passou a decair. De meados do século XIX e por quase todo o século XX, a qualidade das águas pelo mundo inteiro caía em níveis alarmantes. As condições chegaram a pontos inaceitáveis, o que levou muitos países a combaterem os problemas de qualidade. Mas cabe ressaltar que muitos países não saíram dessa condição até hoje.

Nos Estados Unidos, por exemplo, em meados do século XX, o rio Cuyahoga, que cruza o município de Cleveland, no estado de Ohio, chegou a pegar fogo diversas vezes porque se encontrava muito poluído. Isso desencadeou fortes medidas de combate no país visando a melhoria da qualidade das águas. Os Estados Unidos passaram a investir continuamente milhões de dólares para atingir as boas condições de qualidade hoje existentes nos recursos hídricos do país.

No Brasil, muitos corpos hídricos viveram e vivem situações muito dramáticas em termos de qualidade da água. Exemplos que são ícones desse fato são o rio Tietê e o rio Tamanduateí, em São Paulo; os rios Maracanã, Acari e canal do Mangue, no rio de Janeiro; e os rios das Velhas e Arrudas, em Belo Horizonte. A maioria dos lagos e rios urbanos brasileiros apresentam qualidade muito baixa. Alguns se encontram totalmente confinados em galerias subterrâneas, para não serem percebidos.

Entre os problemas associados à qualidade de água ruim, podem ser citados:

- Aspecto paisagístico desagradável: é muito desagradável ver um rio cruzando a cidade com um aspecto de esgoto e com águas de coloração negra.
- Odor fétido: muitas vezes, os rios com qualidade ruim estão associados a problemas de odores desagradáveis, que comprometem o bem-estar na região.
- Corpo hídrico indisponível para diversos usos da água: problemas com abastecimento, por exemplo.
- Riscos à saúde das pessoas: contato direto com suas águas em atividades de lazer; contato com a água em eventos de cheias ou, ainda, em casos mais incomuns, como o de Pirapora do Bom Jesus (SP), a poluição presente na água chegava a formar espumas que flutuavam no ar e atingiam as pessoas.
- Doenças de vinculação hídrica: estão mais ligadas a fenômenos de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas (serão citadas a seguir).

Cabe lembrar que esses eventos são fontes de risco à vida humana. Uma enxurrada, por exemplo, pode carregar facilmente uma pessoa e levá-la a óbito. A leptospirose é uma das doenças mais associadas aos transtornos causados por uma inundação ou enchente. Trata-se de uma doença adquirida pelo contato com a urina de ratos. O contato pode ocorrer quando as pessoas caminham pela água contaminada. Outras doenças importantes são a hepatite infecciosa, a febre tifoide e a cólera. Geralmente, todas essas doenças acometem as pessoas por ingestão de água e de alimentos contaminados, o que é muito comum após eventos de cheias. Além dessas doenças, é importante mencionar as amebíases, gastroenterites e verminoses. As águas de cheias, após voltarem ao seu curso normal, podem deixar rastros de armazenamento de água parada. Isso pode servir para a procriação dos mosquitos da dengue, malária, febre amarela etc. Finalmente, outro problema de saúde pública é a exposição das pessoas vítimas de enchentes em abrigos públicos. Muitas vezes as condições nesses abrigos são tão inadequadas que inúmeras doenças são propagadas pelo agrupamento de muitas pessoas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída em 1997 pela Lei n. 9.433 com o objetivo de fazer utilização racional dos recursos, instituiu instrumentos para facilitar a gestão dos recursos hídricos, que são: plano de bacia; outorga de direito de uso; enquadramento; cobrança pelo uso da água; a compensação a municípios; e sistema de informações. Todos os instrumentos têm efeitos interligados e afetam, de certo modo, a qualidade dos corpos hídricos. Contudo, o instrumento de enquadramento é o que tem como alvo direto a melhoria da qualidade da água.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), por meio da Resolução n.

357/05 e da sua complementação e atualização n. 430/11, apresenta enquadramento como o estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo.

Mas antes de prosseguirmos no assunto, vejamos um pouco sobre os conceitos de enquadramento e classe.

Num processo de enquadramento, parte-se de um rio com as condições de qualidade que existem atualmente (rio que temos) e se chega ao final num rio com a qualidade necessária para os usos que a sociedade deseja para aquele curso hídrico (rio que queremos ter). Em caso de não haver recursos financeiros, a meta será atingir simplesmente as condições possíveis rumo ao rio que queremos ter (nesse caso, o rio que podemos ter).

Com relação às classes, de acordo com o Conama 357/05 e Conama 430/11, a classe de qualidade é o conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros (esses usos serão apresentados adiante, por exemplo, a que a água se destina).

Para efetivar o enquadramento, ou seja, sair da condição atual para atingir a condição desejada pela sociedade, será necessário um conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas intermediárias e finais de qualidade de água estabelecidas para o enquadramento do corpo hídrico (Conama 357/05 e 430/11).

As águas doces, de acordo com as Resoluções Conama 357/05 e 430/11, são classificadas em classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, de acordo com o uso desejado.

Para um melhor entendimento de qualidade da água, é importante saber o que é parâmetro e padrão de qualidade. De acordo com o Conama 357/05 e 430/11, padrão é o valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente. Por sua vez, parâmetro de qualidade da água são as substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água.



Exemplificando

Quando se diz que o limite de oxigênio dissolvido (OD) não é inferior a 6 mg/L de O_2, quer dizer que de acordo com o parâmetro analisado a concentração padrão de O_2 dissolvido é $\geq$ 6 mg/L.

Existem muitos parâmetros envolvidos em qualidade da água, mais de 300 no total, entre eles os diferentes metais pesados, os diferentes compostos orgânicos, inseticidas, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), coliformes totais e termotolerantes, família do nitrogênio e fósforo, potencial hidrogeniônico (pH), turbidez etc.

Um exemplo de padrão (retirado do Conama):

DBO 5 dias a 20°C até 3 mg de O_2/L para classe 1, 3 mg/L para classe 2, 10 mg/L para classes 3 e 4.

Deve-se considerar que essa concentração padrão deve ser obtida para uma determinada vazão, denominada vazão de referência, que é a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama) e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH).



Reflita

Os rios apresentam variações ao longo do ano, como você já deve ter observado. Quando chove, por exemplo, corre mais água. Essa água traz mais poluentes com ela, arrastados pela chuva, mas, ao mesmo tempo, a água realiza uma diluição dos poluentes concentrados no rio. E quando ocorre uma estiagem, as concentrações de poluentes aumentam, porque os lançamentos de água residuária e os poluentes se mantêm, mas a vazão do rio diminui. Para isso, se definiu uma vazão de referência. Parece lógico, não? Se não, em qual período medir? No período das chuvas ou no da estiagem? Observe que a medição de qualidade não é feita somente quando ocorre essa vazão, mas é adequada para essa vazão.

A Resolução Conama 430/11 dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes. Nela se explicita quais são as condições e padrões de emissão adotados para o controle de lançamentos de efluentes em um corpo receptor.

Diferentemente do enquadramento, que se preocupa com a qualidade da água no corpo hídrico de acordo com o que seus usuários desejam, ou seja, qual é a resposta do corpo hídrico para os diferentes tipos de lançamentos, os padrões de emissão controlam as características permitidas para que os efluentes sejam lançados nos corpos hídricos? De um modo geral, os padrões de emissão apresentam a máxima concentração permitida em um efluente ou dão taxas de remoção necessárias para que esse esgoto seja adequado para lançamento num corpo hídrico.

Um exemplo pode ser visto para demanda bioquímica de oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO, sendo que esse limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.



Pesquise mais

Assista aos vídeos indicados. Observe conceitos de enquadramento e de padrões de lançamento de efluentes. Tente entender mais suas diferenças. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=f2Yj9NYID9w>. Acesso em: 28 dez. 2016.



Assimile

- A água superficial está diretamente relacionada à história do homem. Ao mesmo tempo que tem um papel fundamental para o desenvolvimento dos povos, ela traz diversos problemas.
- Assimile os conceitos de inundação, enchente, alagamento e enxurrada.
- Reflita sobre que obras hidráulicas podem evitar ou reduzir os efeitos desses fenômenos.
- Quando um engenheiro escolhe uma chuva de projeto, ele define uma vazão de projeto, e essa escolha poderá influenciar em muito no risco de falha e no custo da obra.
- A perda da qualidade da água de um corpo hídrico traz inúmeros prejuízos para o homem, sendo os relativos à saúde pública muito importantes.
- Existem dois mecanismos que procuram promover a qualidade da água: um que se preocupa com a qualidade do corpo receptor frente aos variados aportes de poluentes nele e que está ligado aos anseios de usuários do corpo hídrico para a qualidade dele, e outro que controla a qualidade mínima requerida para um efluente para ele poder ser lançado num corpo hídrico.

Sem medo de errar

Relembremos a nossa hipotética condição colocada no item *Diálogo aberto*. Aqui estão algumas estruturas de drenagem que você pode ter observado facilmente em sua cidade. A seguir, serão vistos alguns itens comuns em cidades que contam com sistemas de drenagem.

Sarjetas: são estruturas que funcionam como um canal que transporta o escoamento superficial de água em sua trajetória inicial, a qual ocorre ainda na superfície lateral das vias públicas. Você deve ter observado que elas podem ser de diferentes materiais, como concreto ou paralelepípedo, e quem nem todas apresentam a mesma dimensão.

Sarjetões: são estruturas que funcionam como um canal que transporta o escoamento superficial no momento em que atravessa uma via. Eles são relativamente parecidos com sarjetas, mas seu formato é um pouco diferente. Algumas vezes, você pode encontrar sarjetões feitos inadequadamente, como se fossem depressões no asfalto, contudo, apresentam a mesma função. Pense que por sarjetas e sarjetões irá correr a água da chuva em seu escoamento inicial.

Bocas de lobo: são estruturas que realizam a transferência da água que escoa das sarjetas para as galerias. Elas podem ser de vários tipos, como você deve ter reparado. Existem aquelas com saída lateral, as com grelhas, as combinadas (saída lateral e grelha), as com grelhas metálicas e as com grelhas de concreto. Você também pode ter visto que algumas vezes elas são isoladas, outras, duplas, triplas ou quádruplas.

Poço de visita (PV): você viu esses tampões pela rua? Eles permitem o acesso das pessoas responsáveis por realizar inspeções e limpeza nas galerias. Pelos PVs correm as águas da chuva. Geralmente, em sua tampa, está escrito: "Águas pluviais". Eles têm furos, diferindo dos PVs de esgoto e da rede elétrica (Figura 1.4). Observe que as redes de distribuição de água de abastecimento não têm PVs porque trata-se de um fluido limpo, com baixo risco de entupimentos e que circula sobre pressão. Bem, agora que você sabe que esse tampão dá acesso a uma estrutura, pesquise como seria o formato dela.

Figura 1.4 | Tipos de tampões de poços de visita (PVs)



Fonte: adaptada de <http://www.ebanataw.com.br/drenagem/bocadelobo.htm>. Acesso em: 28 dez. 2016.

Canais: transportam a água de um curso d'água, podendo ser naturais ou artificiais (Figuras 1.5 e 1.6).

Figura 1.5 | Rio natural



Fonte: <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/fotos/rios-poluidos-desaguam-na-baia-de-guanabara-sem-tratamento-20951007-2.html>. Acesso em: 28 dez. 2016.

Figura 1.6 | Rio artificial, canalizado e revestido



Fonte: <http://oglobo.globo.com/rio/bairros/rios-da-tijuca-terao-monitoramento-contra-enchentes-11427424>. Acesso em: 28 dez. 2016.

Avançando na prática

Seguindo a linha de solicitação do item *Diálogo aberto*, procure na sua cidade ou leia sobre algumas estruturas hidráulicas não tão comuns de serem observadas como as já vistas no item *Sem medo de errar*, como: escadas hidráulicas, reservatórios de retenção e reservatórios ou lagos de detenção, e tente imaginar como elas funcionam.

Escadas hidráulicas: são estruturas hidráulicas que permitem que a água pluvial vença desníveis de terreno (Figura 1.7) e que, ao descer pela escada, ocorra uma quebra de energia contida na água.

Figura 1.7 | Escada hidráulica



Fonte: <http://www2.votorantim.sp.gov.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=1273:escada-barra-funda-&catid=2:cat-noticias-pref&Itemid=1>. Acesso em: 28 dez. 2016.

Reservatórios de detenção: são reservatórios urbanos mantidos secos e têm seu espaço geralmente integrado à paisagem urbana, promovendo o controle de cheias pela transferência de uma parcela da água que corre no canal (rio) para ele. O reservatório libera a água em um momento mais adequado (pós-chuva), controlando, assim, o pico e volume de escoamento (Figura 1.8).

Reservatório de retenção: são lagoas utilizadas como reservatórios que têm por finalidade a melhoria da qualidade das águas pluviais, por isso são utilizadas lagoas aos pares, sendo que uma delas é permanente e a outra é temporária. (Figura 1.8).

Figura 1.8 | Reservatórios de detenção e retenção



Fonte: <http://www.imap.curitiba.pr.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/247_drenagem%20_urbana_modulo_2%20(1).pdf>. Acesso em: 28 dez. 2016.

Faça valer a pena

1. A qual fenômeno corresponde um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem (microdrenagem)?

a) Inundação.

b) Enchente.

c) Alagamento.

d) Enxurrada.

e) Desabamento.

2. A chuva de projeto é diretamente proporcional à vazão de projeto. Assinale a alternativa que melhor representa esta afirmação.

a) Principalmente quando se trata de um projeto em local definido, com áreas a montante e cobertura vegetal definida.

b) Quando se trata de projetos diferentes em que há variação de áreas.

c) Quando se trata de projetos diferentes em que há variação de áreas de cobertura de solo.

d) A chuva de projeto não tem nenhuma relação com a vazão de projeto.

e) Sempre independente de área e de cobertura do solo.

3. As águas de cheias, após voltarem ao seu curso normal, podem deixar rastros de armazenamento de água parada.

Quais consequências a água parada pode causar?

a) Procriação de ratos.

b) Procriação de mosquitos vetores de doenças, como malária e dengue.

c) Doenças do coração.

d) Brucelose.

e) Reumatismo.

Seção 1.2

Ciclo hidrológico

Diálogo aberto

Prezado aluno, nos próximos conteúdos você será apresentado a uma visão geral do ciclo hidrológico e de suas interações com a engenharia. Para auxiliá-lo neste momento, será apresentada uma situação hipotética, na qual você está dando continuidade a um estágio na secretaria de obras de seu município, no departamento de drenagem urbana. O engenheiro Marcos, responsável por acompanhar seu desenvolvimento dentro da secretaria, precisa de você para mais uma nova tarefa.

Agora que você já conhece um pouco melhor as estruturas urbanas de drenagem, o engenheiro Marcos pensou que você poderia entender melhor a respeito da definição de qual seria a intensidade da chuva de projeto. Para tanto, ele pedirá que você verifique algumas equações IDF (intensidade, duração e frequência) encontradas na *Coletânea das equações de chuva do Brasil*, apresentada por Festi (2007). Verificando o comportamento dessas equações para diferentes TR (período de retorno) e diferentes TC (tempos de concentração). Sendo definidas por Marcos, as equações de quais municípios trabalhar, os valores de TR e os valores de TC.

Então, tomando como base as informações contidas no artigo de Festi (2007), Marcos lhe recomendou trabalhar com os seguintes municípios:

- Umuarama, PR (utilizar a equação 24).
- Angra dos Reis, RJ (utilizar a equação 94).
- Tupiratins, TO (utilizar a equação 76).
- Salvador, BA (utilizar a equação 91).

Você deve lançar os resultados em duas tabelas (Tabelas A e B). Na Tabela A, coloque os valores de precipitação de projeto (mm/hora) para diferentes TR (para 5, 25, 50 e 100 anos), adotando um tempo de concentração de dez minutos. Aplique o mesmo procedimento para a Tabela B, só que adotando um TC de 60 minutos.

Após chegar aos resultados, observe as diferenças entre eles, perceba que para diferentes localidades, para diferentes tempos de concentrações e para diferentes períodos de retorno existem diferentes valores de precipitação.

Não pode faltar

A água em nosso planeta está em constante movimentação, e apresenta a mesma quantidade de milhões de anos atrás. Ela simplesmente vem mudando de estado físico e se deslocando de um local para outro. Ela pode estar presente no estado físico sólido em geleiras, glaciares, tundras etc. Ela costuma derreter, passando para o estado líquido, alimentando mares, oceanos, rios, lagos, corpos hídricos subterrâneos etc. Essa água, então, evapora e passa para a forma de vapor na atmosfera.

A partir dessa visão, pode-se sintetizar que o ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação de massas de água que podem ser encontradas no estado líquido, sólido ou gasoso. Segundo Sztibe e Sena (2004), o ciclo hidrológico ocorre em uma faixa da terra que vai até uma altura de quinze quilômetros sobre o solo e até uma profundidade de cinco quilômetros sob o solo.

A seguir serão apresentados cada um destes componentes do ciclo hidrológico (Figura 1.9).

Figura 1.9 | Ciclo hidrológico da água



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico#/media/File:Ciclo_da_%C3%A1gua.jpg>. Acesso em: 29 dez. 2016.

Para a área de drenagem urbana, a parte desse ciclo que apresenta principal interesse diz respeito ao retorno da água para a terra (precipitação, escoamento superficial e infiltração), sendo que muitas das obras hidráulicas são construídas para uma resposta adequada a esse retorno. Por esse motivo, essas três etapas serão vistas mais detalhadamente a seguir.



Pesquise mais

Assista ao vídeo indicado. Observe as interações da água em nosso planeta, o ciclo que ela realiza, ou seja, o ciclo hidrológico. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vW5-xrV3Bq4>. Acesso em: 29 dez. 2016.



Reflita

Reflita sobre a importância de ciclo da água. Se ela ficasse parada, como teríamos as chuvas e os rios correndo por vários cantos do planeta?

Pode-se definir precipitação como a água proveniente do vapor d'água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada. No Brasil, a chuva é o tipo mais comum de precipitação e, certamente, a grande causadora dos problemas de drenagem existentes.

Para a drenagem urbana, o conhecimento do comportamento dos picos das precipitações (chuvas) é extremamente importante. Festi (2007) realizou uma coletânea de equações IDF (intensidade, duração e frequência) em diferentes regiões do Brasil. Essa coletânea, entre outros materiais similares, torna-se importante no projeto e planejamento do sistema de drenagem urbana e para outras obras hidráulicas.

Essas equações IDF (intensidade, duração e frequência) se apresentam entre outras formas, como veremos a seguir:

$$I_{máx} = \frac{A \,.\, TR^{B}}{(t + C)^{D}}.$$

Em que:

I máx = intensidade pluviométrica em mm/h.

TR = período de retorno (anos).

t = tempo de duração da precipitação em minutos. Para bacias hidrográficas de pequenas a médias, costuma-se adotar o tempo de concentração como tempo de duração.

A, B, C e D = coeficientes da equação IDF.

A Tabela 1.1 apresenta alguns valores-exemplos para esses coeficientes em diferentes postos pluviométricos no município do Rio de Janeiro.

Tabela 1.1 | Coeficientes de chuvas IDF para diferentes bairros do Rio de Janeiro

Pluviômetro	A	B	C	D	Fonte
Santa Cruz	711,30	0,186	7,00	0,687	PCRJ - Cohidro (1992)
Campo Grande	891,67	0,187	14,00	0,689	PCRJ - Cohidro (1992)
Mendanha	843,78	0,177	12,00	0,698	PCRJ - Cohidro (1992)
Benfica	7.032,07	0,150	29,68	1,141	Rio-Águas (2006)
Realengo	1.164,04	0,148	6,96	0,769	Rio-Águas (2006)
Irajá	5.986,27	0,157	29,70	1,050	Rio-Águas (2007)

Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1377338/DLFE-215301.doc/InstrucoesTecnicasProjetosdeDrenagem1.versao.doc>.
Acesso em: 29 dez. 2016.

Cabe observar que as equações IDF são resultantes de dados históricos de índice pluviométrico de uma determinada estação pluviométrica, por isso a variação entre elas.

No caso da bacia que faz parte do seu estudo estar em regiões intermediárias a essas estações, você deve ter a consideração de determinar a precipitação média. Existem três métodos para essa determinação: o método aritmético, o método de Thiessem e o método das Isoietas.



Reflita

Como fazer um projeto hidráulico que responderá a um determinado evento de precipitação sem saber para que chuva esse projeto será projetado? Ao dimensionar um canal, é necessário ter em mente para que vazão se projetar.

O hidrólogo ou um engenheiro com uma equação IDF em mãos, pode dizer qual a precipitação esperada para um período de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 ou 500 anos, ou o que for mais adequado para seu projeto, e para diferentes tempos de concentração, como de 10, 30, 60 ou 120 minutos, conforme características da bacia hidrográfica.

Existem outras formas de equações IDF, como por exemplo as oriundas do estudo de Pfafstetter (1982), que apresenta suas equações de chuvas intensas, conforme equação a seguir:

$$P = T^{\left(\alpha + \frac{\beta}{T^{0,25}}\right)} \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)]$$

Em que:

P = precipitação máxima (em mm).

T = tempo de recorrência escolhido (em anos).

t = duração da precipitação (em horas).

α, β e c = parâmetros definidos para cada estação.

Exemplificando

Para uma dada equação IDF (exemplo):

$$I_{máx} = \frac{1.090 \cdot TR^{0,16}}{(t + 15)^{0,83}}$$

Adotando-se como valor de período de retorno 5 anos e a bacia com um período de concentração de 60 minutos, tem-se uma chuva de projeto de 39,17 mm/h.

Adotando-se como valor de período de retorno 25 anos e a bacia com um período de concentração de 60 minutos, tem-se uma chuva de projeto de 50,68 mm/h.

Adotando-se como valor de período de retorno 50 anos e a bacia com um período de concentração de 60 minutos, tem-se uma chuva de projeto de 56,62 mm/h.

Adotando-se como valor de período de retorno 100 anos e a bacia com um período de concentração de 60 minutos, tem-se uma chuva de projeto de 63,26 mm/h.

Observe que ao escolher um período de retorno para uma obra, define-se um valor diferenciado de chuva de projeto.

Define-se período de retorno como o tempo em média que um determinado evento pode ser igualado ou superado.

Define-se tempo de concentração como o tempo que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada.

- **Período de retorno (TR)**

A definição do período de retorno a ser empregado em uma obra é um pouco subjetiva. Ele está ligado ao risco que essa obra falhe e exponha a sociedade. O TR está também ligado ao custo (o que é possível gastar). Muitas tabelas apresentadas por diferentes departamentos e secretarias, em diferentes localidades, apresentam valores típicos de período de retorno. A Tabela 1.2 apresenta alguns valores de período de retorno que podem auxiliar a nortear o valor a ser empregado em uma obra hidráulica.

Tabela 1.2 | Valores de TR adotados para alguns tipos de obras hidráulicas

Pequenos canais sem endicamento	Rural	5
	Urbano	10
Grandes canais sem endicamento	Rural	10
	Urbano	25
Pequenos canais com endicamento	Rural	10
	Urbano	50
Grandes canais com endicamento	Rural	50
	Urbano	100
Pequenos canais para drenagem urbana		5 a 10
Pontes em rodovias importantes		50 a 100
Pontes em rodovias comuns		25
Bueiros em rodovias importantes		25
Bueiros em rodovias comuns		5 a 10
Bocas de lobo		1 a 2
Vertedor de barragens importantes		10.000

Fonte: Unesc (2011).

Tabela 1.3 | Valores de TR adotados para alguns tipos de obras hidráulicas (continuação)

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T-Período de Retorno (anos)
Migrodrenagem	residencial Comercial Área com edifícios de serviço público Aeroportos Áreas comerciais e artéria de tráfego	2 5 5 2 a 5 5 a 10
Migrodrenagem	Áreas comerciais e residenciais Área de importância específica	50 a 100 500

Obs.: endicamento = revestimento.
Fonte: Unesc (2011).



Reflita

Você percebeu uma certa variedade para valores de TR (período de retorno), mas o que tem de existir na prática é uma análise caso a caso e uma tomada de decisão empregando-se o bom senso, pois essa escolha interfere no custo da obra e na sua segurança. Pontos mais importantes da cidade ou de estradas, por exemplo, requerem maior segurança, você não acha?

- **Tempo de concentração (TC)**

Como foi comentado anteriormente, o tempo de concentração está ligado a características da bacia hidrográfica. Algumas delas estão listadas a seguir:

- Área da bacia.
- Comprimento e declividade do talvegue.
- Desnível da parte mais elevada e a seção de controle.

Existem vários métodos para estimar o valor do tempo de concentração. Esses métodos podem gerar resultados diferentes, pois se tratam de métodos empíricos, que foram desenvolvidos em bacias hidrográficas específicas com características distintas (rurais e urbanas, áreas diferentes etc.). A seguir, são apresentados alguns exemplos desses métodos:

Equação de Kirpich

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Em que:

tc = tempo de concentração, em minutos.

L = comprimento do talvegue principal, em km.

H = desnível entre a parte mais elevada e a seção de controle, em m.

Equação de Doodge

$tc = 21,88 \cdot A^{0,41} \cdot S^{-0,17}$.

Em que:

tc = tempo de concentração, em minutos.

A = área da bacia, em km^2.

S = declividade média do talvegue, em m/m.

A equação de Kirpich apresenta boa empregabilidade em bacias urbanas.

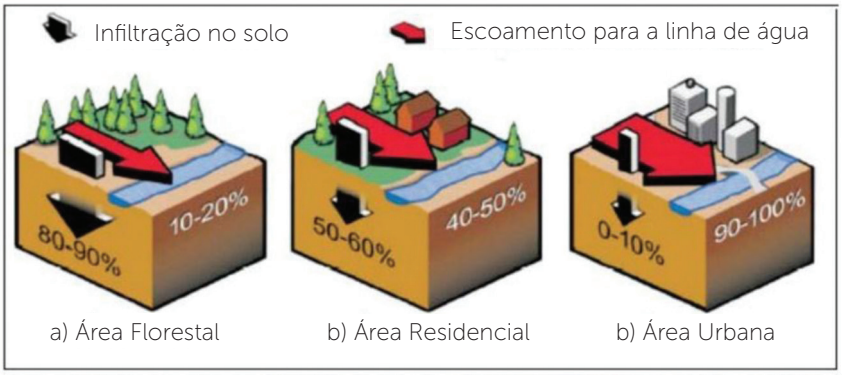
Recomenda-se a seguinte consideração: o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica pequena a média.

- **Escoamento superficial e infiltração**

Esses processos apresentados no ciclo hidrológico, estão ligados ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo e infiltração (o processo pelo qual a água sai da superfície e penetra solo adentro). Esse deslocamento é de fundamental importância para o projeto de obras hidráulicas e principalmente as de drenagem. Essas obras são dimensionadas de modo a suportar as vazões decorrentes desse escoamento para um determinado evento de precipitação.

O importante nessa etapa é definir, basicamente da precipitação, qual é a etapa que vai para o escoamento e qual é a que vai para a infiltração (Figura 1.10). Para responder a isso, existem muitas tabelas que trabalham de acordo com o tipo de cobertura do solo, declividade, estado se saturação do solo etc. A Tabela 1.4 traz valores de percentuais de escoamento ou coeficientes de escoamento (C) para diferentes tipos de coberturas do solo em áreas urbanas. Outras metodologias serão apresentadas ao longo do curso em momentos mais oportunos.

Figura 1.10 | Relações de infiltração e escoamento para diferentes tipos de solo



Fonte: <http://6.fotos.web.sapo.io/i/ob2117e8b/17905781_f8MrF.jpeg>.. Acesso em: 29 dez. 2016.

Tabela 1.4 | Valores de C para diferentes coberturas de solo, conforme as características de urbanização

Zonas	Valores de C
De edificação muito densa: Partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
De edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
De edificação com pouca superfície livre: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
De edificação com muitas superfícies livres: partes residenciais tipo cidade-jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação: partes de arrebaldes com pequena densidade de construções.	0,10 a 0,25
De matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Wilken (1978).

Quando se encontra numa mesma área diferentes coberturas de solo, ou seja, subáreas com diferentes valores de C (coeficiente de escoamento), deve-se calcular um valor médio pela seguinte equação:

$$C_{médio} = \frac{C_1 A_1 \cdot C_2 A_2 \cdot ..C_n A_n}{\sum A_n}.$$

Em que:

C1, *C2* até *Cn* = diferentes valores de C encontrados (adimensional).

A1, *A2* até *An* = diferentes valores de áreas encontradas correspondentes aos diferentes valores de C (m^2).



Assimile

A definição de precipitações de projeto deve considerar as peculiaridades do local onde será definida a obra, pois cada uma apresenta uma característica de chuva que se reflete na equação IDF, no período de retorno compatível para as diferentes obras hidráulicas, no local e nas características das bacias para definir o tempo de concentração e, ainda, nas condições de escoamento e infiltração.

Sem medo de errar

Relembremos a nossa condição hipotética colocada no item *Diálogo aberto*, na qual você é estagiário no departamento de drenagem da secretaria de obras de seu município. Foi-lhe solicitado o seguinte, que você defina a precipitação de projeto (chuva de projeto) para o engenheiro Marcos. A seguir, estão as equações que ele solicitou que você solucionasse, adotando diferentes períodos de retorno e tempos de concentração, já resolvidas.

As equações solicitadas encontram-se no artigo de Festi (2007).

Equação para Umuarama – PR:

$$I_{máx} = \frac{1.752{,}27 \cdot TR^{0{,}148}}{(t + 17)^{0{,}848}}.$$

Equação para Angra dos Reis, RJ:

$$I_{máx} = \frac{721{,}802 \cdot TR^{0{,}211}}{(t + 10{,}566)^{0{,}720}}$$

Equação para Tupiratins, TO:

$$I_{máx} = \frac{2.300{,}090 \cdot TR^{0{,}155}}{(t + 31{,}686)^{0{,}869}}$$

Equação para Salvador, BA:

$$I_{máx} = \frac{1.056{,}66 \cdot TR^{0{,}163}}{(t + 24)^{0{,}743}}$$

Com estas equações, e realizando as substituições de valores em TR e TC, obtêm-se as Tabelas 1.5 e 1.6.

Tabela 1.5 | Valores de precipitação de projeto (mm/hora) para diferentes TR, adotando-se um tempo de concentração de dez minutos

Munícipio	TR 5 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
Umuarama - PR	135,91	172,46	191,10	211,74
Angra dos Reis - RJ	114,93	161,40	186,82	216,25
Tupiratins - TO	115,43	148,13	164,94	183,64
Salvador - BA	99,99	129,99	145,54	162,95

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 1.6 | Valores de precipitação de projeto (mm/hora) para diferentes TR, adotando-se um tempo de concentração de 60 minutos

Munícipio	TR 5 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
Umuarama - PR	55,89	70,92	78,58	87,07
Angra dos Reis - RJ	47,31	66,43	76,90	89,01
Tupiratins – TO	58,19	74,68	83,15	92,58
Salvador – BA	51,07	66,38	74,32	83,21

Fonte: elaborada pelo autor.

Os resultados diferem porque as características de precipitação são diferentes para as diferentes regiões do Brasil (diferenças entre linhas). Eles diferem ainda porque, mesmo para uma mesma cidade, quando se emprega diferentes períodos de retorno, se obtêm diferentes resultados (diferenças entre colunas). Finalmente, eles se diferem também porque os tempos de concentração são diferenciados, ou seja, as bacias têm características diferentes (diferenças entre tabelas).

Avançando na prática

Auxilie o engenheiro Marcos a demarcar no mapa as diferentes áreas de escoamento e os valores de C para essas áreas. A região exemplificada fica no município de Campinas, SP.

Para iniciar a seleção, demarque áreas comuns, como as áreas com coberturas vegetais foram demarcadas em azul na Figura 1.11. Para essas áreas, os valores estão entre 0,05 e 0,2, conforme a Tabela de Wilken (1978). Existe um intervalo entre 0,05 e 0,2, que representaria genericamente de 5 a 20% de transformação da precipitação em escoamento propriamente dito. Qual valor escolher nesse intervalo? Conforme você vai trabalhando com isso, sua sensibilidade vai melhorando, mas observe na figura um dos trechos de áreas demarcado em azul e perceba que se trata de uma mata mais densa (fechada). Você poderia aferir que para essa mata mais densa, comparada às demais áreas, o valor mais indicado seria de 0,05 para C, pois nela a infiltração seria maior e o escoamento menor que para as outras áreas com cobertura vegetação menos densa, que ficaram com um valor de C = 0,2.

Você pode agrupar ainda, por exemplo, áreas com ocupações mais densas (em que predominam prédios) e ocupações menos densas ou subúrbios (em que predominam residências) etc. Na Figura 1.11, a seguir, a classificação da continuidade considera ocupações mais densas e menos densas, e adota valores médios de C de acordo coma tabela de Wilken (1978). Resultado: para ocupação menos densa, adotou-se 0,65, e para mais densa, adotou-se 0,8.

Figura 1.11 | Classificação de continuidade



Fonte: adaptada de < https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 30 dez. 2016.

Faça valer a pena

1. Uma equação intensidade, duração e frequência é importante, entre outras coisas, por fornecer a intensidade de uma chuva para um determinado projeto que está sendo elaborado: chama-se chuva de projeto.

Determine pela equação a seguir o valor de intensidade da precipitação a ser empregado no projeto, adotando uma TR de 10 anos e um tempo de concentração de 15 minutos.

$$I\ máx. = \frac{1350 \cdot TR^{0,09}}{(tc + 20)^{0,95}}.$$

a) O valor é de 56,7 mm/h.

b) O valor é de 66,7 mm/h.

c) O valor é de 76,7 mm/h.

d) O valor é de 51,7 mm/h.

e) O valor é de 49,7 mm/h.

2. A determinação do tempo de concentração pode ser realizada por diversas equações empíricas. Essas equações são alimentadas com dados retirados da bacia hidrográfica em que será realizado um dado estudo.

Empregando a equacionamento de Kirpich I, em uma bacia hidrográfica com um comprimento de talvegue principal de 800 metros e um desnível entre a parte mais elevada e a seção de controle de 15 metros, qual será o tempo de concentração?

a) O tempo de concentração será de 19,5 minutos.

b) O tempo de concentração será de 15,5 minutos.

c) O tempo de concentração será de 10,9 minutos.

d) O tempo de concentração será de 20,2 minutos.

e) O tempo de concentração será de 24,3 minutos.

3. A definição do período de retorno a ser empregado em uma obra é um pouco subjetiva, mas pode ser associado principalmente a dois conceitos.

Quais são os conceitos a que o texto-base se refere?

a) Características da bacia hidrográfica e custo da obra.

b) Declividade do talvegue principal e área da bacia hidrográfica.

c) Risco que a sociedade é exposta no caso de falha e custo da obra.

d) Custo da obra e área da bacia hidrográfica.

e) Intensidade da chuva e custo da obra.

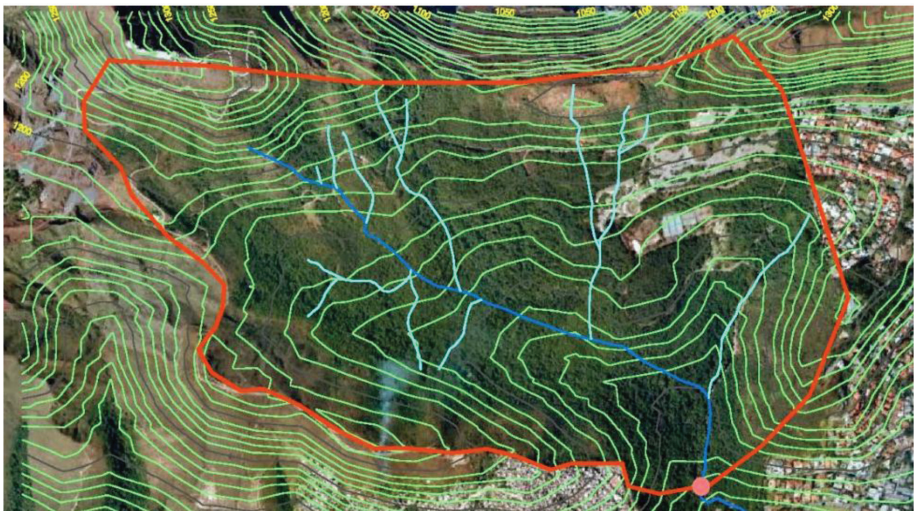
Seção 1.3

Bacias hidrográficas e vazões de projeto

Diálogo aberto

Prezado aluno, para auxiliá-lo neste momento de aprendizagem de mais um novo conteúdo, apresentaremos uma situação hipotética, na qual você está dando continuidade a um estágio na secretaria de obras de seu município, no departamento de drenagem urbana. O engenheiro Marcos, técnico responsável por acompanhar seu desenvolvimento dentro da secretaria, precisa de você para uma nova tarefa. Ele está muito entusiasmado com seu desempenho e solicitou que você defina a vazão de projeto a ser empregada para uma obra hidráulica de canalização em um determinado trecho de um rio. Para tanto, ele disponibilizou a seguinte imagem (Figura 1.12):

Figura 1.12 | Curvas de níveis de uma região hidrográfica



Fonte: <http:http://3.bp.blogspot.com/-i6ynlONkkE4/UHwzHvMfQyI/AAAAAAAAABg/VBbwLJ3LJpM/s1600/MAPA+BACIAS+Layout2+(1).jpg>. Acesso em: 30 dez. 2016.

A área da bacia é de 2,39 km^2 e, pela cobertura do solo observada na imagem, pode-se aferir que o valor de C médio seja da ordem de 0,25. Essa área fica localizada próxima a uma estação pluviométrica. Ela é apresentada pela equação:

$$Imáx = \frac{752{,}27 \cdot TR^{0{,}12}}{(tc + 29)^{1{,}2}}.$$

Considerando o talvegue principal com 2,5 km e visualizando na imagem que a cota mais alta é de 1.330 m e a cota mais baixa 1.030 m, defina para o engenheiro Marcos a vazão de projeto para uma obra com período de retorno de 20 anos, adotando Kirpich para o cálculo do tempo de concentração e o método racional para o cálculo da vazão de projeto.

Não pode faltar

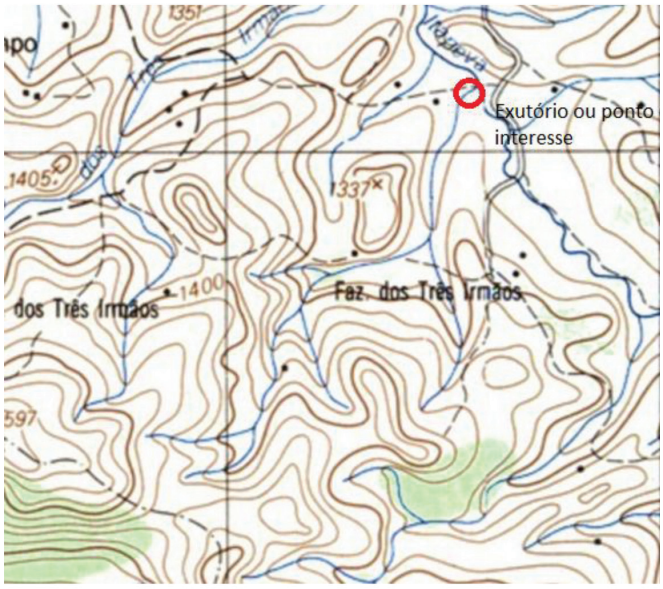
➢ Delimitação e área da bacia hidrográfica

Bacia hidrográfica pode ser vista como uma área de captação natural da água de precipitação que acaba por convergir seus escoamentos para um único ponto de saída (exutório ou ponto de interesse, que é o local onde será executada a obra hidráulica). A bacia hidrográfica é delimitada pelos divisores de água e seus tamanhos podem variar desde dezenas de metros quadrados a milhares de quilômetros quadrados. Há dois tipos de divisores de água: superficial (topográfico) e o subterrâneo (freático). Como o segundo tipo está em constante movimentação, considera-se, na prática, o superficial como divisor de água da bacia.

Para delimitação da bacia, deve-se seguir alguns passos, descritos a seguir:

1º passo: definir o ponto exutório ou de interesse (local da obra hidráulica) em planta (Figura 1.13), pois é desse ponto que se inicia a delimitação da bacia hidrográfica.

Figura 1.13 | Definição do ponto exutório ou de interesse

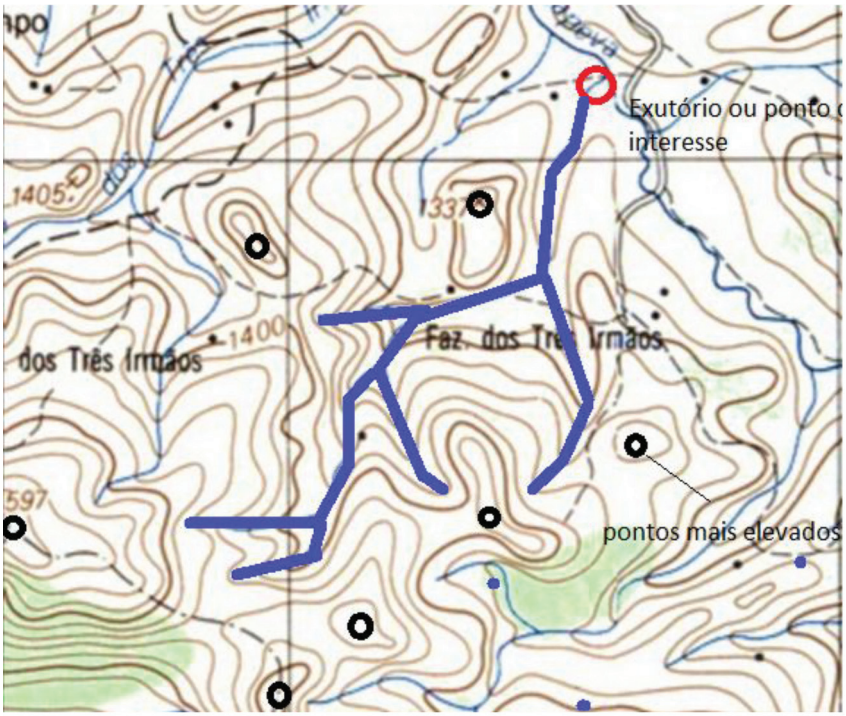


Fonte: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>. Acesso em: 9 jan. 2017.

2º passo: reforçar o traçado da marcação do curso d'água principal e de seus contribuintes (deve-se lembrar que o traçado da bacia não deve cortar o traçado de reforço de demarcação dos cursos d'água principal e de seus contribuintes, visto que eles fazem parte da bacia hidrográfica como um todo, a não ser que isso ocorra por um motivo justificado).

3º passo: marcar os pontos com cotas mais elevadas no entorno da marcação do curso de água principal (Figura 1.14).

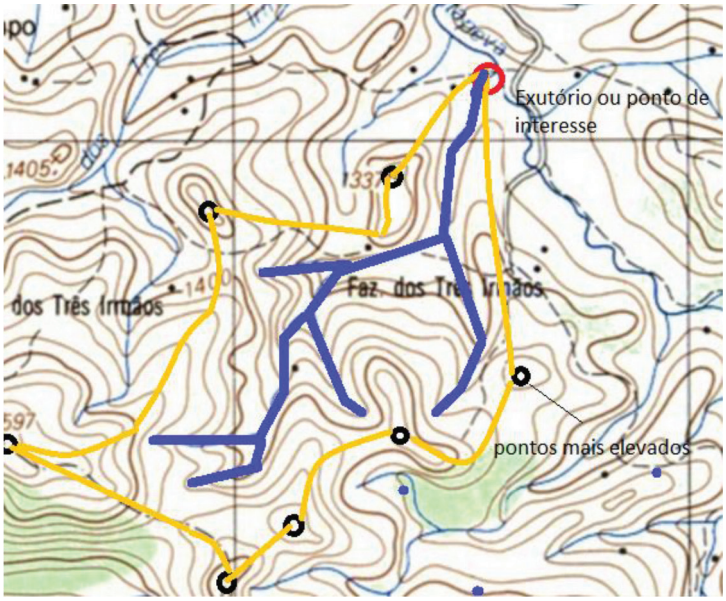
Figura 1.14 | Reforço traçado do curso d'água e pontos mais altos



Fonte: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>. Acesso em: 9 jan. 2017.

4º passo: a partir da demarcação dos topos dos morros, deve-se iniciar a demarcação do ponto onde a chuva cai e escoa sobre o terreno em direção ao curso da água em estudo. Isso é feito considerando-se a inclinação do terreno (Figura 1.15). Se a inclinação do terreno estiver voltada para a direção oposta às drenagens, é porque pertence a outra bacia. Se estiver na direção do curso da água em estudo, pertence à bacia. Em alguns casos, pode haver pontos com cotas mais elevadas do que as cotas do divisor de águas topográfico da bacia.

Figura 1.15 | Demarcação final da bacia hidrográfica



Fonte: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>. Acesso em: 9 jan. 2017.

Pesquise mais

Assista ao vídeo indicado e observe os detalhes para delimitação da bacia hidrográfica. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=MuaoK_g33bw>. Acesso em: 30 dez. 2016.

Após demarcado o limite da bacia, pode-se definir sua área. Quando se emprega o software CAD, ela pode ser obtida por meio do traçado poligonal, e quando se fecha a poligonal no exutório ou ponto de interesse, entra-se em propriedade e verifica-se a área obtida. Existem outros softwares, como o ARQGIS, o QGIS, entre outros, que podem ajudar a delimitar e definir a área da bacia. Um método bastante simplificado é o de quadricular por cima do desenho da bacia e usar o quadriculado como escala para determinar os valores de área dos quadrados desenhados, conforme e esboçado no vídeo indicado no item *Pesquise mais*.

Reflita

Por que é importante delimitar e saber a área da bacia hidrográfica? É simples: a água que precipita sobre toda a área ou irá infiltrar no solo, ou irá evapotranspirar ou irá escoar sobre a superfície seguindo os conceitos de ciclo hidrológico, como vimos na Seção 1.2. A água que escoa superficialmente promove a elevação do escoamento de base no ponto do exutório, ou ponto de interesse, e promove os problemas de enchentes e inundações.

➢ Bacia hidrográfica com dados fluviométricos e sem dados pluviométricos

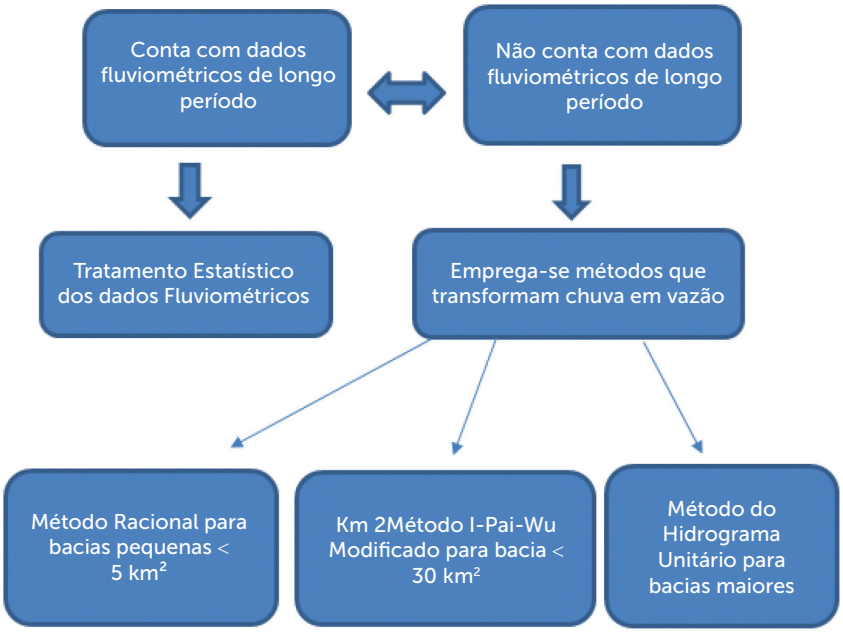
De acordo com o DAEE (2005), os dados fluviométricos ou registros de vazão de um curso d'água, em uma seção determinada, são obtidos com a instalação e a operação (contínua, e pelo maior período possível) de um posto fluviométrico, instalado em uma seção onde seja possível estabelecer uma boa relação entre nível d'água e vazão, para as mais diversas situações do curso d'água – tanto na estiagem como nas cheias.

Contudo, essas estações e esses dados fluviométricos são muito escassos em nosso país, se comparados à quantidade de estações e dados pluviométricos. Por esse motivo, é mais comum definir vazões de projeto transformando chuva em vazão.

➢ Definição da vazão de projeto

A vazão de projeto é a máxima vazão a ser considerada no dimensionamento de obras hidráulicas destinadas à reservação e controle do escoamento superficial da água. Sua determinação é muito importante e, por esse motivo, serão vistos alguns métodos (Figura 1.16) para determiná-la.

Figura 1.16 | Métodos de determinação da vazão de projeto



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Método racional**

$$Q = \frac{Cm \cdot Imáx \cdot A}{360}.$$

Em que:

Q = vazão em (m^3/s).

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

$Imáx$ = intensidade da chuva (mm/h).

A = área da bacia hidrográfica (hectare = ha).

Os meios para determinar C e I foram vistos na Seção 1.2. Seu emprego somente permite a determinação de vazões máximas, sem definir a forma do hidrograma, e

apresenta bons resultados somente para pequenas bacias. Já o método I-Pai-Wu modificado, considera características de forma, distribuição espacial, entre outras, o que permite seu emprego para áreas maiores.

- **Método I-Pai-Wu modificado**

$$Q = 0{,}278 \cdot Cm \cdot Imáx \cdot A^{0,9} \cdot K.$$

Em que:

Q = vazão em (m^3/s).

Cm = coeficiente de escoamento superficial modificado (adimensional).

$Imáx$ =intensidade da chuva (mm/h).

A = área da bacia hidrográfica (km^2).

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Cm é definido pela equação:

$$Cm = \frac{2}{\left\{1 + \left[\frac{L}{\left(\frac{2A}{\pi}\right)^{0,5}}\right]\right\}} \cdot \frac{C}{\left[\frac{4}{2 + \frac{L}{\left(\frac{2A}{\pi}\right)^{0,5}}}\right]}.$$

Em que:

L = comprimento do talvegue, em km.

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

A = área da bacia hidrográfica (km^2).

➢ Método do hidrograma unitário

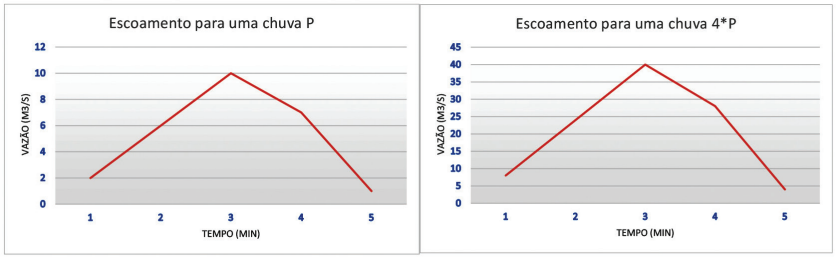
O hidrograma unitário é um hidrograma de escoamento superficial direto (Figura 1.17), resultante de uma chuva efetiva com intensidade e duração unitárias. Sendo o hidrograma unitário sintético SCS um dos métodos mais simples e mais utilizados para estimar o volume de escoamento superficial resultante de um evento de chuva, é o método desenvolvido pelo *National Resources Conservatoin Center*, dos EUA (antigo *Soil Conservation Service* – SCS). Existem três princípios gerais do hidrograma unitário, como veremos a seguir.

O primeiro princípio da proporcionalidade define que as vazões geradas são diretamente proporcionais à intensidade da precipitação que os gerou.



Exemplificando

Figura 1.17 | Hidrograma unitário



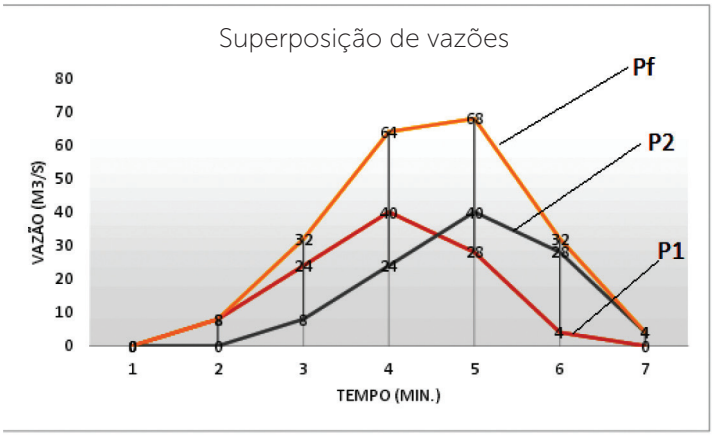
Fonte: elaborada pelo autor.

Observe que quando a chuva é *P*, a vazão gerada é quatro vezes menor que quando ela é *4P*.

O segundo princípio de superposição (Figura 1.18) admite que a resposta de duas chuvas unitárias sucessivas pode ser obtida somando-se dois hidrogramas unitários deslocados no tempo.

Exemplificando

Figura 1.18 | Superposição de hidrogramas



Fonte: elaborada pelo autor.

Neste caso, soma-se uma precipitação com a outra, formando-se uma precipitação final.

O terceiro princípio é o da constância do tempo de base, que define que os escoamentos superficiais gerados a partir de precipitações de intensidade diferente, mas com mesma duração. Persistem pelo mesmo intervalo de tempo, independentemente dos volumes escoados.

Com esses três princípios, pode-se promover a convolução do hidrograma.

Segundo Tucci (2004), os componentes do hidrograma unitário são: Tempo de pico, tempo de concentração, tempo de ascensão, tempo de recessão, tempo de base e tempo de base. E Chow et al. (1988) apresentou em sua produção as seguintes equações para estes componentes:

- Tempo de pico (tp): é definido como intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico de vazão máxima:

$$tp = 0{,}6 \cdot tc.$$

- *Tempo de concentração (tc): é o tempo necessário para a água precipitada ir do ponto mais distante da bacia até o exutório ou ponto de interesse.*

- *Tempo de ascensão (ta): é o tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma:*

$$ta = tp + \frac{D}{2}.$$

Em que:

D = duração da precipitação efetiva unitária (um minuto ou uma hora, por exemplo).

- Tempo de recessão (tr): é o tempo necessário para a vazão baixar até o ponto em que acaba o escoamento superficial.

$$tr = 1{,}67 \cdot ta$$

- Tempo de base (tb): é o tempo entre o início da precipitação e o tempo que o volume precipitado já escoou através da seção avaliada, ou em que o rio volta às condições anteriores da precipitação.

$$\begin{matrix} tb = ta + tr \\ tr = 1{,}67ta \end{matrix} \Rightarrow tb = ta + 1{,}67ta \Rightarrow \therefore tb = 2{,}67ta.$$

Sendo a vazão de pico do hidrograma unitário (Qp em m^3/s) definida pela equação:

$$Qp = \frac{0{,}208A}{0{,}6tc + \frac{D}{2}}.$$

Em que:

A = área (km^2).

E a determinação da precipitação efetiva é determinada por meio da equação:

$$Pe = \frac{\left\{\left[1 - 0{,}1\log\left(\frac{A}{25}\right)\right]p - \frac{5080}{CN} + 50{,}8\right\}^2}{\left[1 - 0{,}1\log\left(\frac{A}{25}\right)\right]p - \frac{20320}{CN} + 203{,}2}.$$

Em que:

Pe = chuva efetiva, em mm.

p = precipitação pontual, considerada no centro de gravidade da bacia, correspondente à duração para o tempo de recorrência (TR), em mm.

A = área (km^2).

CN = curva número, definido pelo complexo solo-vegetação (há diversas tabelas CN para consulta em sites diversos).

Em relação à modelagem para a definição da vazão de projeto, existem softwares variados, sendo que atualmente alguns de boa empregabilidade no mercado são o HEC-HMS, que faz a etapa de modelação hidrológica, e o HEC-HAS, que faz a etapa de modelação hidráulica, que será cobrada mais adiante em nossos estudos. Há também o Abc - DAEE - versão adaptada (LabSid/EPUSP/FCTH) para o DAEE, que realiza a modelação por método racional, I-Pai-Wu e hidrograma unitário, entre tantos outros modelos existentes no mercado.



Assimile

Com base no que estudamos, pondere sobre como deve ser demarcada uma bacia hidrográfica. Lembre-se de que a obtenção de sua área é muito importante para a determinação de vazão de projeto. Memorize também o que é vazão de projeto e lembre-se de que há muitas maneiras para sua determinação, entre elas, as com dados fluviométricos e as sem dados. Sendo os métodos de definição da vazão sem dados fluviométricos os mais comuns.

Sem medo de errar

Relembremos a nossa hipotética condição colocada no item *Diálogo aberto*, em que você atua como estagiário no departamento de drenagem da secretaria de obras de seu município. Foi solicitado que você defina vazão de projeto para o engenheiro Marcos.

A área da bacia é de 2,39 km^2, e, pela cobertura do solo observada na imagem, pode-se aferir que o valor de C médio seja da ordem de 0,25. A área fica localizada próxima a uma estação pluviométrica. Ela apresenta a equação:

$$Imáx = \frac{752{,}27 \cdot TR^{0{,}62}}{(tc + 29)^{1{,}2}}$$

Considerando o talvegue principal com 2,5 km, e visualizando na imagem que a cota mais alta é de 1.330 m e a cota mais baixa 1.030 m, defina para o engenheiro Marcos a vazão de projeto para uma obra com período de retorno de 20 anos, adotando Kirpich para o cálculo do tempo de concentração e o método racional para o cálculo da vazão de projeto.

Equação de Kirpich:

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0{,}385}$$

Em que:

tc = tempo de concentração, em minutos.

L = comprimento do talvegue principal, em km.

H = desnível entre a parte mais elevada e a seção de controle, em m.

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{2{,}5^3}{1330 - 1030}\right)^{0{,}385} \Rightarrow tc = 18{,}72 \text{ min.}$$

Equação IDF:

$$Imáx = \frac{752{,}27 \cdot TR^{0{,}62}}{(tc + 29)^{1{,}2}}.$$

Em que:

Imáx = intensidade da chuva de projeto (mm/h).

TR = período de retorno, em anos.

tc = tempo de concentração, em minutos.

$$Imáx = \frac{752{,}27 \cdot TR^{0{,}62}}{(tc + 29)^{1{,}2}} \Rightarrow Imáx = 53{,}54\ mm/h.$$

Equação método racional:

$$Q = \frac{Cm \cdot Imáx \cdot A}{360}$$

Em que:

Q = vazão em (m^3/s).

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

Imáx = intensidade da chuva (mm/h).

A = área da bacia hidrográfica (hectare = ha).

A = área da bacia é de 2,39 km^2 = 239 ha.

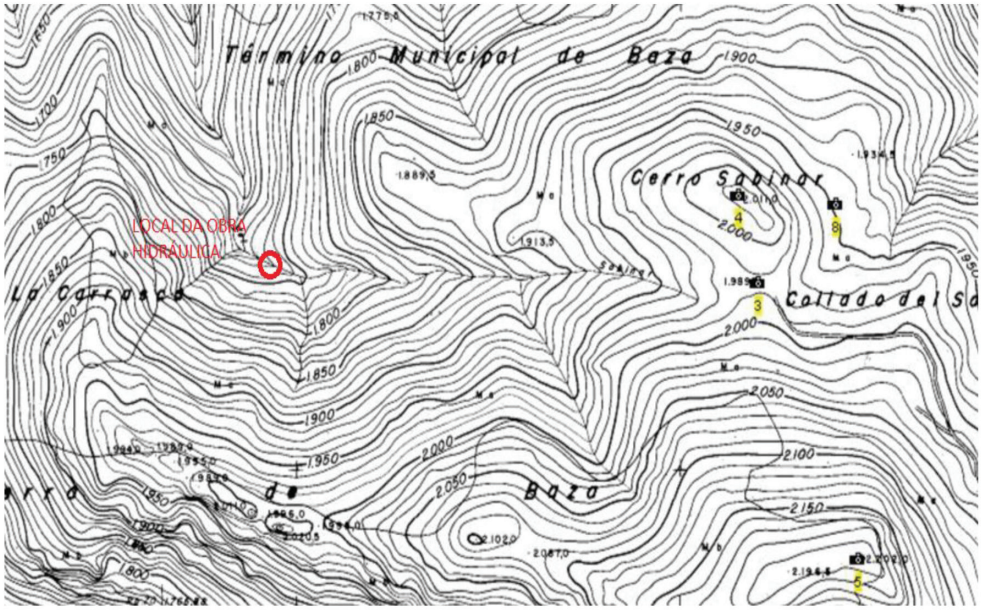
$$Q = \frac{Cm \cdot Imáx \cdot A}{360} \Rightarrow Q = \frac{0{,}25 \cdot 53{,}54 \cdot 239}{360} \Rightarrow Q = 8{,}89\ m_3/s.$$

A vazão de projeto a ser informada para tal obra é de 8,89 m^3/s.

Avançando na prática

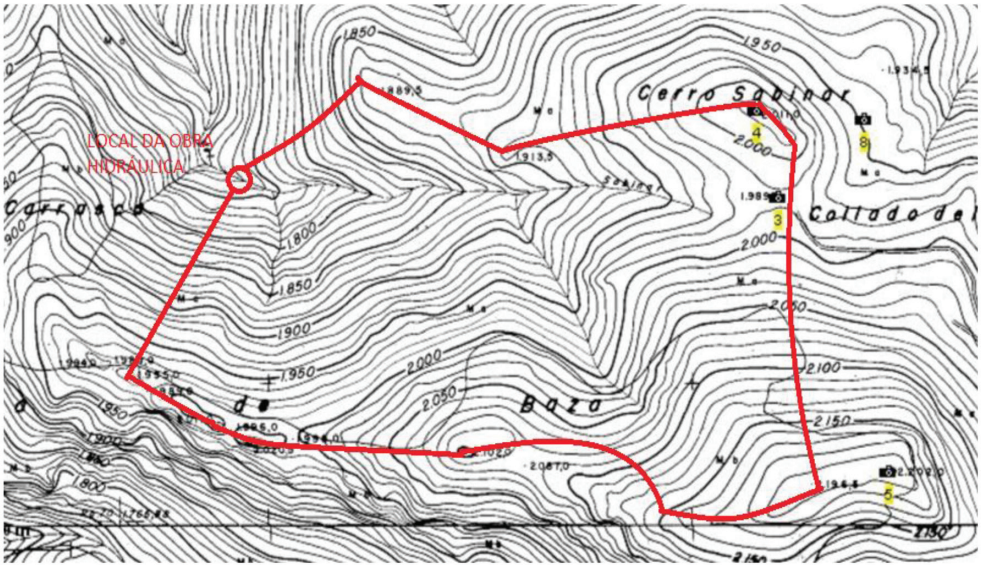
Agora, auxilie o engenheiro Marcos na demarcação de uma bacia hidrográfica (Figuras 1.19 e 1.20), que apresenta como ponto de interesse para uma obra hidráulica o ponto demarcado em vermelho.

Figura 1.19 | Bacia hidrográfica



Fonte: <https://edificarto.files.wordpress.com/2014/11/topografico.jpg>. Acesso em: 30 dez. 2016.

Figura 1.20 | Bacia hidrográfica



Fonte: adaptada de <https://edificarto.files.wordpress.com/2014/11/topografico.jpg>. Acesso em: 30 dez. 2016.

Faça valer a pena

1. O _____ ocorre entre o início da precipitação e o tempo que o volume precipitado já escoou através da seção avaliada, ou em que o rio volta às condições anteriores da precipitação.

Qual alternativa completa corretamente a lacuna?

a) tempo de base

b) tempo de recessão

c) tempo de ascensão

d) tempo de concentração

e) tempo de pico

2. O _____ é o tempo necessário para a vazão baixar até o ponto em que acaba o escoamento superficial.

Qual alternativa completa corretamente a lacuna?

a) tempo de base

b) tempo de recessão

c) tempo de ascensão

d) tempo de concentração

e) tempo de pico

3. O _____ refere-se ao tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma l.

Qual alternativa completa corretamente a lacuna?

a) tempo de base

b) tempo de recessão

c) tempo de ascensão

d) tempo de concentração

e) tempo de pico

Referências

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (Org.). Brasília, DF, 2007.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Conama). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Conama). Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011.

FESTI, A. V. Coletânea das equações de chuva no Brasil. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/coletanea_chuvas.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>. Acesso em: 9 jan. 2017.

PFAFSTETTER, Otto. **Chuvas intensas no Brasil**: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas, registradas com pluviógrafos, em 98 postos meteorológicos. 2. ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982.

SZTIBE, Rosely; SENA, Lúcia Bastos Ribeiro de. **Gestão participativa das águas**. Secretaria de Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental. Departamento de Educação Ambiental. São Paulo: SMA/CPLEA, 2004.

PARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: DAEE, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: ABRH, 2004.

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE. **Planos de recuperação de áreas degradadas pela mineração do carvão, no Estado de Santa Catarina, correspondentes às áreas da Ex-Treviso S.A., de responsabilidade da união**. Criciúma, abr. 2011. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/2011/PRADS/PRAD_Executivo_area_IV_sideropolis.htm>. Acesso em: 29 dez. 2016.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: Cetesb, 1978.

Sistema de recursos hídricos: enchentes, estiagens e águas subterrâneas

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo! Nesta unidade, você vai estudar o regime hidrológico dos cursos d'água, que neste contexto será definido pelos seus períodos de cheias e estiagens. Para ilustrar esta unidade, você será um engenheiro civil de projetos, e deverá utilizar os estudos a serem abordados neste material para dimensionar obras hidráulicas, incluindo as de drenagem urbana.

Além disso, você terá condições de entender por que ocorrem as falhas hidráulicas em consequência de grandes cheias, geradas pelo transbordamento dos cursos d'água. Você também estudará sobre a importância dos sistemas de previsão de cheias nas grandes cidades, além das consequências de estiagens severas.

Adicionalmente, será apresentado o conceito de regularização de vazões com o objetivo de atenuar os impactos causados nas situações de vazões extremas, tanto nas cheias quanto no período de estiagem.

Para avançar em seus estudos, você precisará dos conhecimentos aprendidos na Unidade 1, como: ciclo hidrológico; precipitação; vazão; período de retorno para obras hidráulicas; dimensionamentos hidráulicos; e também o processo de escoamento superficial. Esses itens servirão de base para o aprendizado do regime hidrológico dos cursos d'água superficiais.

Nesta unidade, você também aprenderá alguns conceitos importantes sobre as águas subterrâneas e sua utilização. Também abordaremos a definição de aquíferos e recargas, além dos problemas da qualidade das águas subterrâneas

em função de contaminações. Para se aprofundar neste item, você precisará compreender o processo de infiltração, estudado também na Unidade 1.

Ao fim desta unidade, você compreenderá como os regimes de cheias e estiagens estão associados ao dimensionamento da capacidade hidráulica de um rio ou canal. Você entenderá que projetos de obras hidráulicas são sempre dimensionados, admitindo probabilidade de falhas, que estão relacionadas aos tipos de obras e seus respectivos impactos. Você também estudará sobre a regularização de vazões e sua importância. E, por fim, compreenderá os conceitos de águas subterrâneas e seus usos, aquíferos e os respectivos problemas de contaminação.

A unidade está dividida da seguinte forma: na Seção 2.1, abordaremos o tema de vazões máximas (obtidas nos períodos de cheias) para dimensionamento de obras hidráulicas; possibilidade de falhas hidráulicas; e os sistemas de previsão de enchentes.

Na Seção 2.2, veremos o conceito de vazões mínimas (período de estiagem); regularização de vazões dos cursos d'água e sua importância para os eventos de cheias e períodos de estiagem.

Por fim, na Seção 2.3, estudaremos sobre noções das águas subterrâneas; conceitos de aquíferos e suas recargas; e problemas de contaminação da água subterrânea.

Você, aluno, foi contratado para elaborar um parecer técnico sobre o regime do Rio Ribeirinha em uma área denominada Seção A. O parecer técnico deverá conter a identificação dos períodos de cheias e estiagens na Seção A e o dimensionamento de um canal a ser construído. Você deve analisar a possibilidade de falhas hidráulicas de acordo com o período de retorno adotado. Deverá, também, incluir o estudo da necessidade ou não de regularização do rio a partir dessa seção. Complementarmente, com relação às águas subterrâneas, você deverá verificar se há algum aquífero na região e informar qual é a qualidade da água do aquífero.

Seção 2.1

Regime de cursos d'água; previsão de enchentes

Diálogo aberto

Para iniciar a elaboração do parecer técnico, o primeiro passo é a visita ao local de estudo. Você deve estar atento com relação ao regime do Rio Ribeirinha na Seção A. Antes de ir a campo, você deve se preparar, solicitando ao contratante as coordenadas do local (latitude e longitude). Localize a seção do rio numa carta topográfica, delimite a bacia hidrográfica e obtenha a área de drenagem correspondente ao local solicitado. Assim, você terá noção da área e da rede de drenagem. Isso contribui com o estudo da seção de interesse. Você deverá receber também o mapa do uso e ocupação do solo na área de interesse. O objetivo é que você observe como a bacia é ocupada e quais são seus usos predominantes. Essa tarefa lhe proporcionará uma sensibilidade em relação à permeabilidade do solo, ou seja, você terá uma noção se o solo da bacia hidrográfica terá maior ou menor capacidade para infiltrar a água da chuva ou se a água irá gerar o escoamento superficial direto, indo diretamente para os rios, antecipando a ocorrência de cheias. Com esse conhecimento prévio, você estará preparado para ir a campo e observar a seção do rio em termos de escoamento.

No campo, você deverá estar atento a todas as variáveis do ciclo hidrológico que estão envolvidas na geração do escoamento, bem como à importância da cobertura da bacia hidrográfica formada na Seção A, utilizando os conhecimentos obtidos na Unidade 1. Além disso, você poderá verificar o comportamento da seção do rio na época das chuvas.

Após o período de observações, você será capaz de verificar e diagnosticar os períodos de cheia e estiagem do Rio Ribeirinha na Seção A, identificando as possíveis falhas hidráulicas em caso de transbordamento do rio no período de cheias ou as consequências locais em caso de estiagem severa.

Não pode faltar

A avaliação ou estudo do regime hidrológico de um curso de água (rio, córrego, canal natural ou artificial) exige o conhecimento da quantidade de água que passa pelo curso ao longo do tempo. A quantidade ou volume de água que passa pela seção do curso de água é denominada vazão, e é expressa em unidades de volume (m^3 ou litros) pela unidade de tempo (segundos).

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), o regime hidrológico de um curso de água compreende os seguintes períodos:

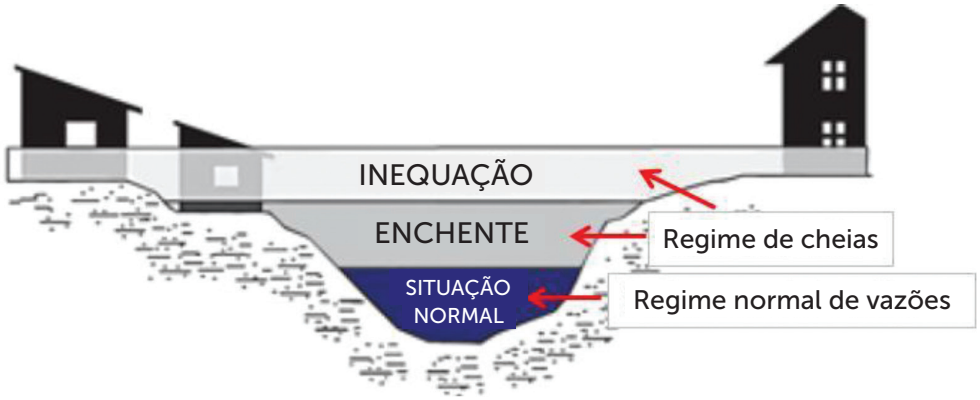
- Cheias: período em que o volume de água que passa pelo curso aumenta em função da ocorrência das chuvas de longa ou de curta duração, mas com grande intensidade. Essas chuvas geram o escoamento superficial, que é responsável pela ocorrência das cheias, ou seja, a ocorrência de vazões de grande magnitude, ou vazões máximas. Você já aprendeu esse conceito na Seção 1.2.

- Estiagem: período em que o volume de água que passa pelo curso diminui em função da ausência de chuvas. Nesse período, o nível de água no rio se encontra abaixo do seu nível normal, onde são observadas as vazões mínimas.

- Normal: período em que o volume de água que escoa pelo curso se mantém estável: nem muito cheio e nem muito seco. Para essa situação, diz-se que o nível d'água é normal.

A Figura 2.1 ilustra como o nível de água se comporta na seção do rio para os diferentes períodos de um regime hidrológico.

Figura 2.1 | Esquema do processo de enchente e inundação

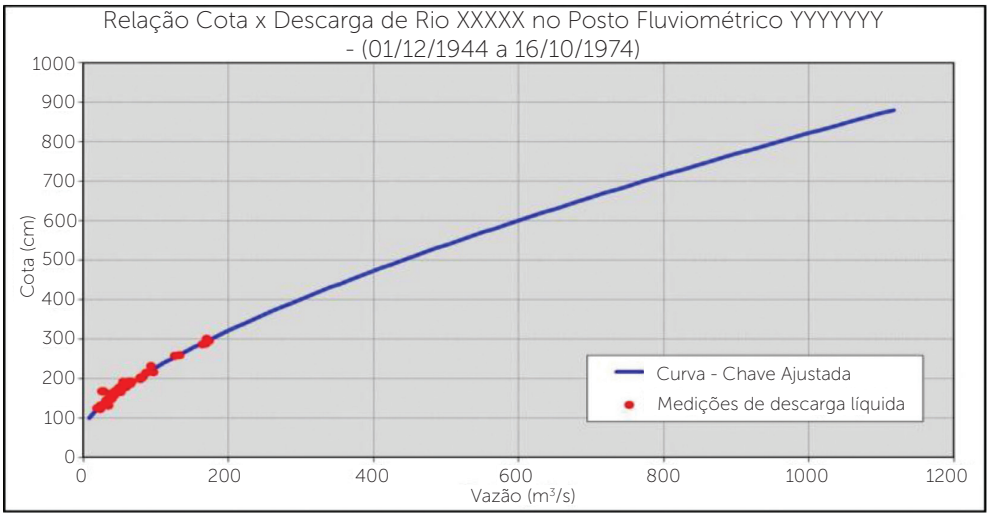


Fonte: adaptada de Brasil (2007, p. 92).

Para que esses períodos possam ser melhor caracterizados, é importante que os níveis de água e as vazões sejam medidos na seção de interesse do curso de água ao longo do tempo. A seção de interesse utilizada para medições frequentes no rio é chamada de "posto" ou "estação". Por exemplo, um posto fluviométrico designa o local onde se medem os níveis e as vazões de um rio ao longo do tempo. Os registros de dados de níveis e vazões ao longo do tempo definem a série histórica de uma determinada seção de um rio.

É importante ressaltar que as medições de vazões nos rios são relativamente caras e complexas, o que impede medições muito frequentes. Sendo assim, para cada seção do rio onde localiza-se o posto fluviométrico, é definida uma relação entre o nível de água e a sua vazão, com o objetivo de tornar o processo de determinação de vazão mais barato. Essa relação é chamada de curva-chave ou curva de descarga da seção (vide Figura 2.2). Dessa forma, com a curva-chave, é possível transformar as medições de cotas ou níveis dos rios em vazão. As medições de cotas ou níveis representam um procedimento mais barato de monitoramento, ao contrário das medições de vazões, que são mais caras e, por isso, realizadas com menor frequência.

Figura 2.2 | Ilustração de uma curva-chave

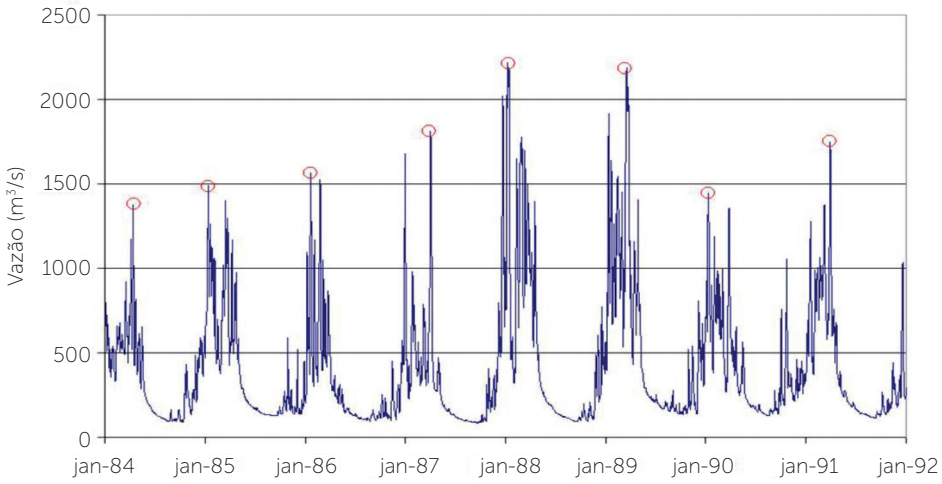


Fonte: elaborada pelo autor.

Por que é importante fazer a medição dos registros ao longo do tempo?

- Porque isso permite conhecer o comportamento dos níveis e vazões, identificando os períodos de cheias e estiagens através de uma simples análise visual de um gráfico (vide Figura 2.3). A representação gráfica da Figura 2.3 é chamada de hidrograma, que apresenta a vazão ao longo do tempo.
- Porque com a série histórica dos dados é possível elaborar uma análise das vazões extremas, no caso, as cheias e as estiagens. Essa análise é tratada em detalhe em hidrologia estatística.

Figura 2.3 | Série histórica de vazões – destacadas as vazões máximas



Fonte: elaborada pelo autor.

Assimile

Para que o engenheiro caracterize e quantifique os regimes dos cursos de água (cheias e estiagens) e, a partir disso tenha condições de dimensionar as obras hidráulicas, é importante estimar a vazão que passa pela seção. Para isso, é necessário medir as vazões e também as cotas dos níveis de água. Por meio de medidas sistemáticas, deve-se elaborar uma relação chamada curva-chave (que relaciona as vazões com os respectivos níveis). Essa relação é utilizada para definir as séries de vazões ao longo do tempo na seção de interesse. A representação das vazões ao longo do tempo é realizada através de gráficos chamados fluviogramas ou hidrogramas. Esses gráficos mostram o comportamento das vazões tanto nos períodos chuvosos (períodos de ocorrência das cheias) quanto nos períodos mais secos (períodos de estiagem).

Para que você consiga desenvolver e avaliar os projetos das obras hidráulicas com base técnica adequada, é importante que as bacias hidrográficas sejam monitoradas em termos de quantidade e qualidade da água. No caso da quantidade da água, o monitoramento dos dados refere-se principalmente a chuva e vazão. Nesse caso, a rede de monitoramento em solo é constituída pelos postos fluviométricos e pluviométricos, além de outras variáveis (CARVALHO, 2008). Com a série dos dados monitorados no espaço e no tempo, é possível analisar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica ao longo dos anos, incluindo a análise dos períodos de cheias e estiagens. Essa análise pode ser desenvolvida tanto de forma visual (como apresentada na Figura 2.3) quanto pela análise estatística. Essas análises também darão subsídio ao engenheiro para estimar a capacidade hidráulica de determinada seção do rio com base nos dados monitorados.

Com o avanço das tecnologias e a melhoria do monitoramento dos dados hidrológicos tanto em solo, com o uso de postos hidrológicos, quanto na atmosfera, por meio de radares meteorológicos e imagens de satélite, os sistemas de previsão e alerta de cheias puderam ser implantados. Esses sistemas permitem ao poder público e à população tomar medidas preventivas que atenuem os impactos negativos, seja em termos de perdas de vidas humanas ou em termos de prejuízos ocasionados por perdas materiais. Outra medida preventiva é a realização de campanhas de conscientização da população, que devem alertar para o papel da população no uso e ocupação da bacia hidrográfica. Você verá em detalhes este assunto na Seção 2.2 desta unidade, na qual serão tratadas as medidas não estruturais de controle de cheias.



Pesquise mais

Sobre hidrologia estatística, há uma publicação disponível para download no link indicado. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Livro-%22Hidrologia-Estatistica%22-981.html>. Acesso em: 31 jan. 2017.



Reflita

Os projetos de obras hidráulicas são sempre desenvolvidos admitindo-se probabilidades de falha. A probabilidade assumida pode ser maior ou menor, dependendo do tipo de obra que se vai projetar. Caso a falha da obra provoque grandes prejuízos econômicos ou mortes de pessoas, deve-se admitir uma probabilidade de falha menor. Essa probabilidade implica em maior garantia da capacidade hidráulica da obra, ou seja, garantia de que a obra não falhe em qualquer evento chuvoso, o que trará transtornos frequentes. Mas a obra poderá falhar em eventos mais raros. O que isso significa em termos de engenharia? Que quanto mais segura

é a obra, maior é o seu custo, e isso muitas vezes pode tornar a obra inviável economicamente. Por isso, na análise do sistema de drenagem, é importante que uma série de medidas (estruturais e não estruturais) sejam avaliadas para que elas diminuam os impactos das cheias urbanas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).



Exemplificando

A seguir, é ilustrada uma análise simples de vazões máximas que apresenta o conceito de probabilidade de excedência e de tempo de retorno de uma vazão. A probabilidade anual de excedência de uma determinada vazão é a probabilidade de que essa vazão venha a ser igualada ou superada em um ano qualquer. O tempo de retorno de uma vazão máxima é o intervalo médio de tempo, em anos, decorrido entre duas ocorrências sucessivas de um dado evento ou sua superação. O período de retorno (TR) é o inverso da probabilidade de excedência (P): ($TR=1/P$). No Quadro 2.1 é apresentado o cálculo da probabilidade anual e do período de retorno de uma série curta de vazões máximas, com o objetivo apenas de demonstrar o conceito. A relação de vazões é apresentada na ordem cronológica em que ocorre e, posteriormente, deve ser organizada em ordem decrescente, para que possam ser efetuados os cálculos da probabilidade e tempo de retorno, conforme apresentado no Quadro 2.2. Na série indicada, a maior vazão encontrada tem período de retorno de 11 anos e probabilidade de 9%.

Quadro 2.1 | Série de vazões máximas

Ordem cronológica

Ano	Qmáx.
1990	1445
1991	1747
1992	1287
1993	1887
1994	1490
1995	3089
1996	1737
1997	2234
1998	1454
1999	1517

Ordem decrescente de Qmáx.

Ano	Qmáx.	ordem
1995	3089	1
1997	2234	2
1993	1887	3
1991	1747	4
1996	1737	5
1999	1517	6
1994	1490	7
1998	1454	8
1990	1445	9
1992	1287	10

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 2.2 | Determinação do período de retorno

$$P = \frac{m}{N + 1}$$ m = ordem, N = número de anos $$TR = \frac{1}{P}$$

Ano	Qmáx.	ordem	Probabilidade	Tempo de retorno
1995	3089	1	0,09	11,0
1997	2234	2	0,18	5,5
1993	1887	3	0,27	3,7
1991	1747	4	0,36	2,8
1996	1737	5	0,45	2,2
1999	1517	6	0,55	1,8
1994	1490	7	0,64	1,6
1998	1454	8	0,73	1,4
1990	1445	9	0,82	1,2
1992	1287	10	0,91	1,1

Fonte: elaborado pelo autor.

Este exemplo tem o objetivo de mostrar a você que a ocorrência de uma vazão extrema, obtida de uma grande cheia, tem probabilidade de ocorrência menor do que uma vazão de um evento de cheia de menor magnitude. Simplificadamente, são estudos desta natureza que permitem a utilização do período de retorno como determinantes no dimensionamento de obras hidráulicas.

Por que é importante que o engenheiro saiba relacionar os regimes de cheia e estiagem à capacidade hidráulica de um rio ou canal?

A capacidade hidráulica de um canal é o volume de água que o canal pode transportar pela calha principal sem a ocorrência do transbordamento. Quando a capacidade hidráulica é superada, ocorre o transbordamento da calha. Essa ocorrência gera prejuízos que podem ser expressivos ou não, dependerá do entorno do local. Com esse conhecimento, o engenheiro deverá avaliar qual é o período de retorno que ele deverá assumir para dimensionar a obra hidráulica concebida para atenuar a cheia numa determinada região de interesse. Como já visto na Unidade 1, os valores de período de retorno são tabelados em função do tipo de obra, e isso decorre da experiência dos engenheiros.

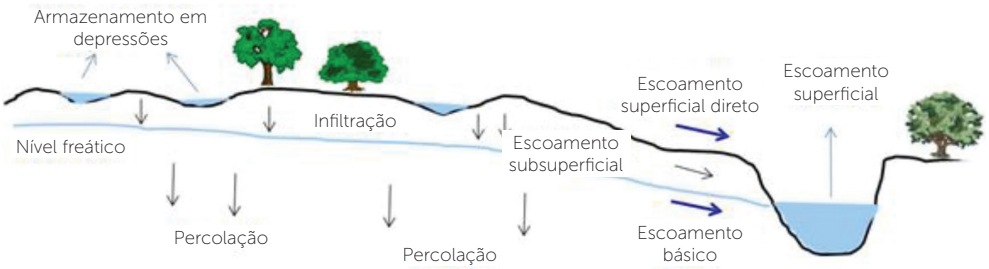
Pesquise mais

Para assimilar os conceitos sobre hidrologia e drenagem urbana, veja o documentário *Entre rios: a urbanização de São Paulo*. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Fwh-cZfWNIc>. Acesso em: 25 jan. 2017.

Sem medo de errar

Para que você adquira sensibilidade sobre como as variáveis do ciclo hidrológico, responsáveis pela geração do escoamento nos rios, juntamente com a cobertura do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, podem interferir na capacidade hidráulica da seção de interesse, você deve observar os processos que influenciam no escoamento, conforme Figura 2.4. A Figura 2.5 ilustra uma bacia hidrográfica hipotética para uma seção de interesse, com o objetivo de ajudá-lo na compreensão do sistema envolvido para a elaboração do seu parecer técnico. Para entender o que acontece numa bacia hidrográfica, é necessário treinar a sensibilidade de observação dos processos, num primeiro momento, de forma muito simples, como apresentado na Figura 2.4.

Figura 2.4 | Processos que influenciam no escoamento

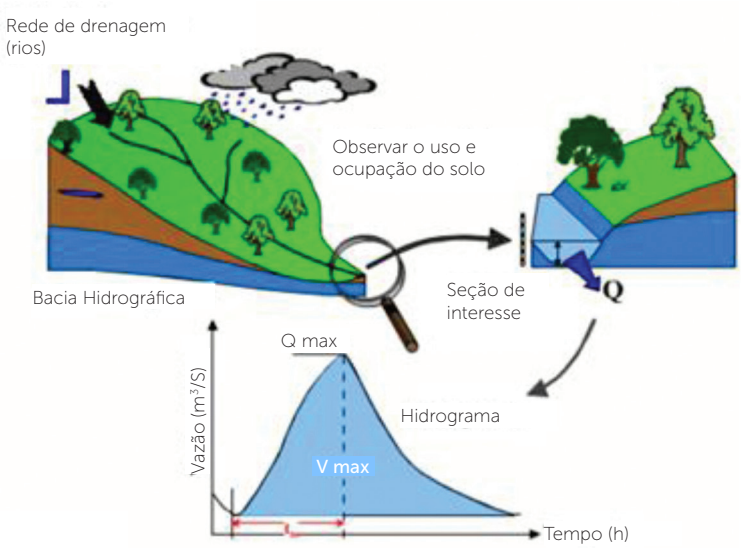


Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 2.5 mostra de forma simplificada o que você elaborou no escritório: a delimitação da bacia para a seção de interesse. Isso permite que você tenha conhecimento da área de abrangência do seu projeto e dos principais elementos contidos nele, que poderão influenciar o escoamento na seção em que você, como engenheiro responsável, tem interesse, por exemplo: a cobertura do solo, o tipo de solo, as características fisiográficas da bacia (forma, declividade dos canais, entre outros). Todos esses elementos irão influenciar na quantidade de água que passará pela seção de interesse a cada momento e que, após as medições ao longo do tempo,

lhe permitirão preparar os hidrogramas (gráficos de vazão no tempo). A cada evento de cheia haverá uma vazão máxima que irá passar pela seção. Algumas poderão ocasionar o transbordamento na seção, outras, não. O seu papel, como engenheiro, é avaliar esse comportamento das vazões e analisar quais serão as medidas que deverão ser tomadas para uma eventual obra hidráulica na seção de interesse. As decisões a serem tomadas deverão estar baseadas tanto em medidas estruturais quanto em não estruturais, que serão apresentadas nas próximas seções.

Figura 2.5 | Visão geral da bacia hidrográfica para a seção de interesse



Fonte: adaptada de <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html>. Acesso em: 12 jan. 2017.

Avançando na prática

Processo de urbanização e impacto nas cheias

Descrição da situação-problema

Ainda com o objetivo de estimular a sua sensibilidade para a compreensão do que acontece em termos do comportamento das vazões, numa determinada seção de interesse de um rio é apresentada a seguinte situação hipotética: analise a seção de um rio de uma bacia hidrográfica que está em processo de urbanização, com destaque para três fases distintas: pré-urbanização, urbanização atual e urbanização futura, admitido-se que nenhuma medida estrutural ou não estrutural é adotada para mitigar o processo de urbanização na referida bacia hidrográfica.

O que significa urbanizar uma bacia hidrográfica? Construir edifícios, casas, indústrias, enfim, todo tipo de construção encontrado em cidades e que interfere no fluxo natural da água no solo.

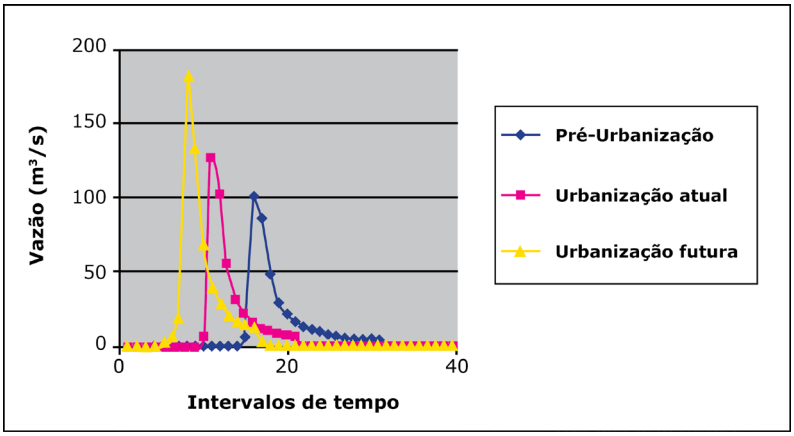
Pois bem, o processo de urbanização tende a diminuir a infiltração do escoamento superficial, pois vai impermeabilizando o solo, permitindo, dessa forma, que o escoamento corra rapidamente para os canais até chegar aos rios principais. Como você poderia avaliar esse processo de urbanização e o impacto nas cheias?

Resolução da situação-problema

Para as três situações indicadas são gerados os hidrogramas na seção de saída. Lembre-se de que a área da bacia hidrográfica é a mesma para as três situações. A chuva também será a mesma. O que muda é o uso e a ocupação do solo, que afetam diretamente o processo de infiltração da água no solo e impactam justamente o escoamento superficial.

Mas como os hidrogramas podem ser gerados? Para essa situação, foram utilizados modelos hidrológicos que simulam os hidrogramas ou as vazões ao longo do tempo, com base nos principais processos do ciclo hidrológico, já vistos na Unidade 1. Na Seção 1.3 foram apresentados alguns modelos hidrológicos que simulam os processos hidrológicos e geram os hidrogramas de saída nas bacias hidrográficas. Admitindo-se que um desses modelos foi utilizado para gerar os hidrogramas para as três situações, os hidrogramas resultantes são ilustrados na Figura 2.6.

Figura 2.6 | Visão geral da bacia hidrográfica para a seção de interesse



Fonte: elaborada pelo autor.

A análise dos hidrogramas ilustrados mostra que num processo de urbanização desordenado, por exemplo, as vazões de cheia tendem a ocorrer de forma cada vez maior (a vazão máxima vai aumentando porque o escoamento superficial aumenta, em função da impermeabilização cada vez maior da bacia hidrográfica) e de forma muito mais rápida, ou seja, o pico da vazão, ou vazão máxima, é sempre antecipado, o que normalmente é observado nas cidades e causa grandes transtornos e prejuízos.

Faça valer a pena

1. O engenheiro responsável da empresa para a qual você trabalha solicita que você elabore um plano de monitoramento de vazão da seção do rio correspondente à obra hidráulica que a empresa está projetando. Porém, ele é bem claro ao informar que a verba disponível para o monitoramento é restrita e que as medições devem começar ainda este mês. Você deve atentar à falta de recurso financeiro e, portanto, a escolha do tipo de monitoramento deve ter baixo custo.

Assinale a alternativa que corresponde à decisão correta.

a) Planeja a utilização dos dados de vazões já existentes de um posto fluviométrico muito próximo à seção de interesse.

b) Planeja a determinação da medição de vazões na seção de interesse e posterior instalação de réguas e monitoramento dos níveis.

c) Planeja a contratação da instalação de réguas para a medição dos níveis d'água no rio na seção de interesse.

d) Planeja a contratação apenas da medição de vazões na seção de interesse.

e) Planeja a utilização dos dados de vazões já existentes de um posto fluviométrico muito distante da seção de interesse.

2. Os projetos de obras hidráulicas são desenvolvidos admitindo-se a probabilidade de falhas hidráulicas.

Com base nessa afirmação, é correto afirmar que:

a) Se a falha implica em grandes prejuízos econômicos ou na morte de pessoas, deve-se admitir uma probabilidade de falha maior.

b) Se a falha implica em pequenos transbordamentos do rio sem afetar os moradores mais próximos, deve-se admitir uma probabilidade alta de falha.

c) A probabilidade de falhas não está relacionada ao período de retorno, em anos, de ocorrência de eventos de vazões máximas.

d) Todas as obras hidráulicas têm a mesma probabilidade de ocorrência de falhas.

e) Os projetos consideram as falhas hidráulicas com maior ou menor probabilidade de ocorrência dependendo do impacto que essa falha possa causar, caso venha a ocorrer.

3. Com a chegada do verão, a população da cidade de São Paulo entra em alerta com relação aos temporais ocorrem, geralmente, nos nos finais de tarde e causam alagamentos nas regiões próximas aos rios e córregos do município. A cidade conta com o Sistema de Prevenção de Enchentes, em que a prefeitura, a defesa civil e os moradores das áreas de riscos de alagamentos estão conectados, com o objetivo de evitar a morte de pessoas.

Qual das informações a seguir é a mais utilizada pelo Sistema de Prevenção de Enchentes?

a) Os dados das séries históricas de evaporação.

b) Os dados de monitoramento do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica.

c) Os radares meteorológicos que enviam dados, em tempo real, aos órgãos públicos responsáveis.

d) Os dados das séries históricas de precipitação.

e) Os aparelhos automáticos de registram radiação solar.

Seção 2.2

Regularização de vazão e controle de estiagens

Diálogo aberto

Caro aluno, dando continuidade à elaboração do parecer técnico sobre o Rio Ribeirinha, você deverá observar em campo o comportamento do rio nos períodos sem chuva. A cada ida ao campo, você deverá acompanhar os níveis d'água na régua do posto fluviométrico instalado na Seção A; verificar as possíveis alterações identificadas; e documentar o fluxo da água, a cor, o odor, a ocorrência de lixo e a vegetação local.

As atividades no escritório consistirão em coletar e analisar os dados hidrológicos, as cotas, as respectivas vazões, além dos gráficos relativos à seção do rio que ilustrem a variação das cotas e das vazões ao longo do tempo para os períodos de cheias e estiagens que você teve a oportunidade de acompanhar naquele local visitado.

Ao final desta seção, você deverá ser capaz de analisar os dados de cheias e estiagem que foram observados no campo e verificar a necessidade ou não de regularização da vazão do rio. E caso seja necessária a regularização do Rio Ribeirinha, você estará apto a dimensionar o volume mínimo do reservatório a ser construído.

Não pode faltar

Com os conhecimentos adquiridos na Unidade 1 e na seção anterior desta unidade, você deverá ser capaz de entender como a água chega nos cursos d'água; de que forma é possível monitorar o nível e a quantidade ou volume de água que passa numa determinada seção do rio; e quais são os principais fatores que influenciam essas variáveis. Caso não esteja seguro desse processo, retorne à Unidade 1 e à seção anterior desta unidade e releia o conteúdo.

Mesmo sem conhecer profundamente de hidrologia, você tem consciência de que há períodos do ano em que chove mais, que outros são mais secos e outros, ainda, são intermediários (não chove muito e nem são observadas estiagens prolongadas). No Brasil, são observadas variações tanto na ocorrência quanto na extensão desses

períodos em função de cada região. Por exemplo, na região Nordeste, o regime hidrológico apresenta períodos de seca mais prolongados, chegando a até seis meses sem chuva. Por outro lado, na região Sul, o regime hidrológico é mais equilibrado: a ocorrência de chuvas é bem distribuída ao longo do ano. O que caracteriza ou define esses períodos é a variabilidade temporal das chuvas e, em consequência, as vazões que escoam nos rios.

Quando a água que escoa nos rios não é suficiente para atender aos diversos usos da água (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação para a agricultura, geração de energia hidrelétrica, indústrias, navegação, recreação, entre outros) diz-se que é um período de estiagem, escassez hídrica, seca ou déficit hídrico.

Em termos de obras de engenharia, o que pode ser feito para controlar os déficits hídricos no atendimento dos diversos usos?

A principal obra de engenharia concebida e utilizada desde antes de Cristo (a.C) com a finalidade de armazenar água e controlar a sua distribuição para atendimento aos diversos usos é a barragem. A barragem é uma estrutura ou barreira que cruza os cursos d'água. Ela permite o armazenamento de água e o controle da vazão que é liberada a jusante para os cursos. As barragens variam de tamanho e material utilizado na construção. São encontradas na forma desde pequenos maciços de terra (barragens muito comuns em fazendas, utilizadas para abastecimento de água) até grandes estruturas em concreto, como a barragem principal de Itaipu, por exemplo, cuja finalidade principal é geração de energia elétrica. Itaipu também apresenta barragens auxiliares de terra e enrocamento. É a segunda maior barragem do mundo, menor apenas que a barragem de Três Gargantas, na China.

Vocabulário

Os termos a seguir, **jusante** e **montante**, são locais de referência nos rios que dependem da localização do observador.

Jusante é o termo para o fluxo natural do rio: a água vem do ponto mais alto (cota mais alta) para um ponto (ou cota) mais baixo.

Montante é a direção de um ponto mais baixo para um ponto mais alto.

Esses termos são utilizados para a localização a partir de um ponto de referência, que pode ser uma régua de medição em uma seção do rio ou a seção de uma barragem, entre outros.

A acumulação de água ao longo do tempo forma os reservatórios ou represas. Os reservatórios podem ter função única, por exemplo: o fornecimento de água para abastecimento; ou então, podem ser utilizados para diversas funções, conhecidas como usos múltiplos, entre eles abastecimento humano, animal (dessedentação animal), irrigação na agricultura, geração de energia elétrica, controle de cheias, regularização de nível para navegação fluvial etc.

A formação dos reservatórios e os dispositivos hidráulicos instalados na estrutura da barragem permitem controlar as vazões, ou seja, regularizar as vazões que serão liberadas para o curso d'água novamente. A regularização de vazões diminui a variabilidade temporal da vazão.

Como é possível entender como isso funciona? Nos períodos de chuvas, o reservatório acumula água, ou seja, guarda parte da água para utilizá-la nos períodos em que ocorrem poucas chuvas. Outra função importante dos reservatórios é amortecer as cheias, isto é, controlar as vazões nos períodos de muita chuva para proteger as áreas localizadas a jusante das barragens. O que ocorre com o reservatório pode ser entendido como um mecanismo de compensação da quantidade de água: acumula-a para evitar danos a jusante da barragem ao mesmo tempo que guarda-a para utilizar na época de estiagem.

Vocabulário

Alguns termos citados neste texto são conhecidos como termos técnicos da área. Eles serão utilizados com bastante frequência, e podem ser consultados na publicação da Agência Nacional de Águas (AGÊNCIA..., 2014).

Entre os termos, estão os que seguem:

Afluente: curso d'água que flui para outro curso d'água que possui maior área de drenagem a montante, ou para um lago, ou para um reservatório AGÊNCIA..., 2014.

Dessedentação: satisfação da sede (AGÊNCIA..., 2014). É mais utilizado para designar a dessedentação animal.

Nascente: local de início de um curso d'água, caracterizado pelo lugar de maior altitude desse curso, onde seu trecho de drenagem mais a montante (primeiro trecho) surge no terreno com ou sem escoamento superficial de água (AGÊNCIA..., 2014).

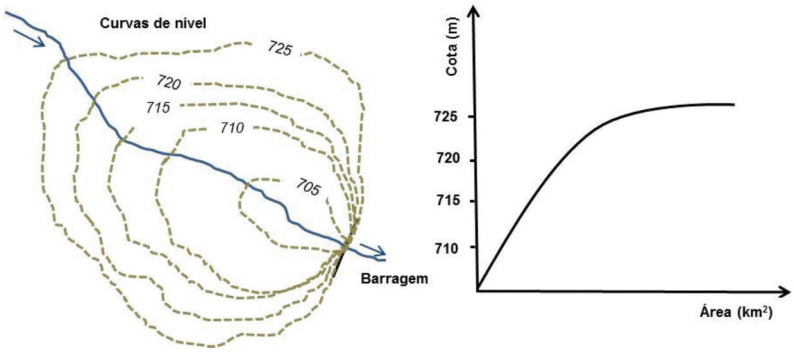
Você poderá pesquisar mais termos na referência indicada à medida que os conceitos não estiverem bem entendidos.

Como os reservatórios são formados? Como já apresentado no texto, o barramento de um rio permite o acúmulo da água. Em consequência, forma-se o reservatório. A capacidade de armazenamento, ou seja, o volume do reservatório, será em função da escolha da seção do rio, das características topográficas do local e da altura da barragem.

De forma preliminar e simplificada: para a construção de um barramento na seção de um rio com o objetivo de formar um reservatório, inicialmente é pré-estabelecido um volume de armazenamento, que corresponde a uma cota do nível d'água que será atingida. Para esse procedimento, é necessário utilizar o gráfico da curva "cota x área" do espelho d'água formado. Para a elaboração do gráfico, é necessário que se disponha do mapa topográfico da região (mapa com as curvas de nível). Deve-se planimetrar, ou seja, medir no mapa a área inundada limitada pela curva de nível para cada cota correspondente. Prepara-se uma tabela com os pares "cota x área", sendo as cotas (em m) e as áreas (em m^2, km^2 ou ha), depois lança-se os valores em um gráfico. Nota-se o esboço de uma curva através dos pontos (que poderá ser definida por uma equação). A Figura 2.7 ilustra de forma simplificada a região com a seção da barragem no rio, as curvas de nível que atravessam o rio e o gráfico com a "cota x área" gerada pelo espelho de água formado.

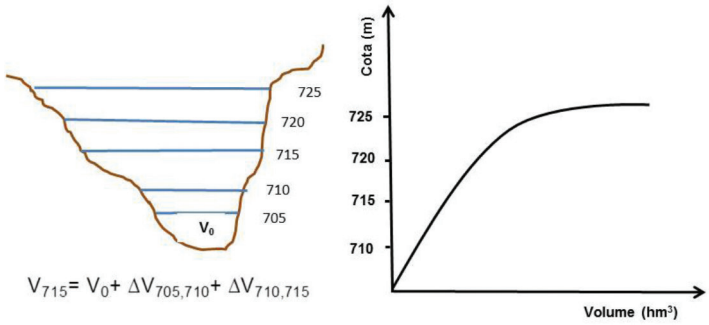
O gráfico da relação "cota x volume" é obtido pela integração da relação "cota x área". Calculam-se numericamente os volumes entre curvas de nível consecutivas. Multiplica-se a média das áreas das curvas pela diferença de de suas cotas. A Figura 2.8 mostra um exemplo.

Figura 2.7 | Ilustração da relação cota x área do espelho d'água



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 2.8 | Ilustração da relação cota x volume



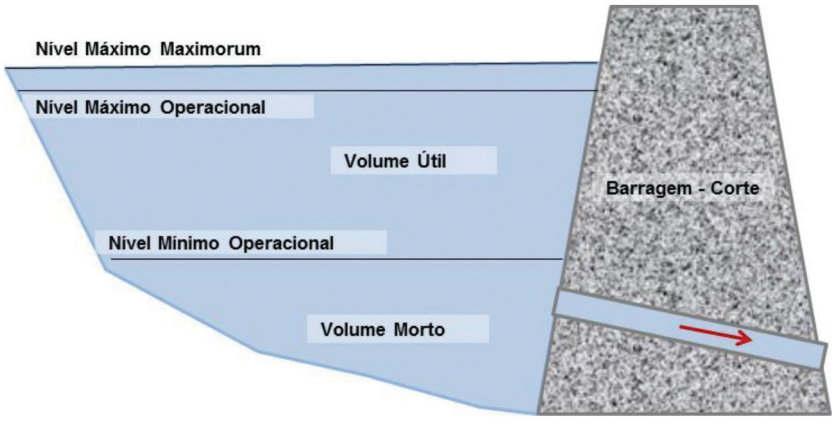
Fonte: elaborada pelo autor.

Atualmente, existem tecnologias mais modernas para a determinação destas relações. Entre eles, está o mapeamento a laser.

Você já adquiriu a ciência de como o reservatório é formado. A seguir, são apresentadas as principais características dos reservatórios com suas terminologias adequadas.

A capacidade de um reservatório é descrita por seus níveis e volumes característicos. Entre eles: volume máximo; volume mínimo; volume útil e volume morto; nível mínimo operacional; nível máximo operacional; e nível máximo *maximorum*. A Figura 2.9 apresenta um corte com uma vista esquemática de uma barragem localizada na seção de um rio, ilustrando os níveis e volumes.

Figura 2.9 | Vista esquemática do corte de uma barragem



Fonte: elaborada pelo autor.

- Nível mínimo operacional: é o nível mais baixo da água no qual as tomadas de água ainda podem operar normalmente. Abaixo disso, a água não se encontra disponível para captação. O volume morto corresponde ao volume armazenado quando o reservatório se encontra no nível mínimo operacional.
- Nível máximo operacional: corresponde à cota máxima permitida para operações normais dos reservatórios. O nível máximo operacional define o volume máximo do reservatório. Níveis superiores ao máximo operacional podem ocorrer excepcionalmente, mas podem comprometer a segurança da barragem.
- Nível máximo maximorum: corresponde ao nível de água atingido quando ocorrem eventos de cheia excepcionais. Nessa situação, o nível máximo operacional é superado por um curto período de tempo.
- Volume útil de um reservatório: é compreendido entre o volume máximo operacional do reservatório e o volume mínimo operacional. Esse volume é o que pode ser utilizado para regularizar as vazões.

O volume ou capacidade de reservação de um reservatório é determinado pela equação do balanço hídrico (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). A equação do balanço hídrico no reservatório para um dado intervalo de tempo pode ser apresentada pela seguinte expressão:

$$\Delta V = P \cdot A + Q_a \cdot \Delta t \cdot E \cdot A - \Sigma\, Q_d \cdot \Delta t - Q_S \cdot \Delta t - I \cdot A$$

onde:

ΔV = variação do volume do reservatório.

P = precipitação observada no espelho d'água do reservatório.

A = área do espelho d'água do reservatório.

Q_a = vazões afluentes ao reservatório.

E = evaporação observada na área do espelho do reservatório.

$\Sigma\, Q_S$ = somatório das demandas consuntivas retiradas do reservatório.

Q_S = vazão liberada a jusante do reservatório.

I = perdas por infiltração.

Δt = intervalo de tempo considerado.

Esta equação pode ser apresentada da seguinte forma:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_a - Q_s,$$

em que:

ΔV = é a variação de volume do reservatório em m^3.

t = tempo em segundos.

Q_a = vazão aflluente ao reservatório em (m^3/s).

Q_S = vazão que sai do reservatório em (m^3/s). Inclui as perdas por evaporação, as vazões retiradas para atender aos usos na bacia hidrográfica e a vazão que deverá ser vertida quando o reservatório estiver cheio.

A vazão afluente ao reservatório inclui todos os fluxos de água que escoam para o reservatório, como as vazões superficiais dos rios e córregos, além do fluxo de água subterrânea dos aquíferos próximos, e também da precipitação direta na superfície do espelho de água do reservatório. A vazão de saída do reservatório inclui as retiradas de água para atender às demandas (abastecimento urbano e irrigação, entre outros); vazões controladas a jusante, exigidas para atender demandas ambientais; de navegação; ou para outros usos.

O dimensionamento e a análise da capacidade dos reservatórios podem ser realizados por meio da estimativa das vazões de entrada e saída dos reservatórios e de suas características. Entre os métodos utilizados nesta análise estão o método identificado como diagrama de Rippl, ou diagrama de massas (WURBS, 1996) e os métodos de simulação, entre eles o apresentado em Lanna (1993).

Assimile

A barragem é uma estrutura ou obra hidráulica que tem como função principal acumular ou represar água, formando uma represa ou reservatório. O projeto de uma barragem é feito para atender a um objetivo ou a vários, tais como: captação de água para abastecimento ou irrigação; controle de cheias; geração de energia elétrica em aproveitamentos hidrelétricos; regularização de níveis para navegação fluvial; atividades de recreação; pesca; enfim, para múltiplos usos. Por esse motivo, algumas barragens são conhecidas como "barragens de usos múltiplos": são obras hidráulicas projetadas para atender a diversos usos. Com certeza, você já entendeu a importância e a complexidade de um empreendimento dessa

natureza. Você já parou para refletir sobre quantos engenheiros de várias especialidades estão envolvidos numa obra de tamanha grandeza? Vamos citar algumas dessas especialidades: profissionais da área de hidráulica; de hidrologia; de topografia; de geotecnia; de estruturas; de materiais; de engenharia civil; além da eventual participação de engenheiros mecânicos e eletricistas. Não podemos nos esquecer também dos engenheiros ambientais, visto que a formação do lago do reservatório envolve questões ambientais.

O assunto é complexo e extenso, não é mesmo? Portanto, você não pode parar de pesquisar nem de estudar. Somente assim você poderá ser um profissional capacitado.



Reflita

Será que o reservatório será sempre necessário? Qual é a análise básica a ser realizada para responder a esta questão? Inicialmente, lembre-se da sua primeira atividade como estagiário: observar o comportamento da seção de interesse no campo, depois, verificar e analisar os dados observados no escritório. Da mesma forma, inicialmente, é importante verificar a disponibilidade de dados hidrológicos na bacia hidrográfica de interesse e em regiões vizinhas.

A disponibilidade de dados condicionará a escolha da metodologia a ser adotada para resolver o seu problema. O assunto é bastante extenso e amplo. No momento, o que você precisa ter noção é que não necessariamente toda retirada de água para um eventual uso requer a formação de um reservatório.

Antes de prosseguir, é importante que você entenda o conceito de vazão natural: é a vazão que ocorreria em uma seção do rio se não houvesse a montante; as captações para diversos fins; as ações antrópicas na bacia, como a regularização de reservatórios; as transposições de vazão; entre outros.

Inicialmente, você precisa definir o quanto é necessário captar de água do rio para que o uso seja atendido. Depois, deve-se comparar esse valor com as vazões naturais afluentes à seção. Se as vazões naturais forem expressivamente superiores às retiradas, mesmo nos períodos críticos de estiagem (na ocorrência de mínimas), não haverá a necessidade de regularizar as vazões. Sendo assim, a implantação de um reservatório de acumulação só seria justificada para atender a outra necessidade, por exemplo, reduzir os efeitos das inundações a jusante (para controlar as

vazões máximas). Caso contrário, se a vazão a ser captada for superior às vazões mínimas do rio, então, será essencial reservar os excessos para atender aos períodos em que as vazões naturais disponíveis forem menores que as retiradas.

Exemplificando

A seguir, ilustramos de forma simples um procedimento de análise preliminar envolvido na observação do volume mínimo de um reservatório e a vazão de regularização por meio da "lei de regularização", conforme equação a seguir:

$$y(t) = \frac{Q_r(t)}{Q_{med}},$$

em que:

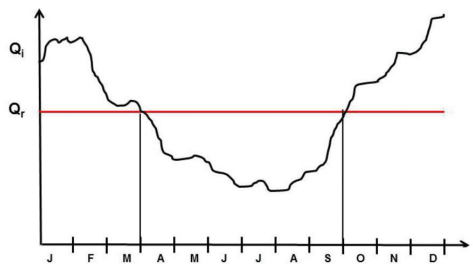
y(t) = função ou lei de regularização.

$Q_r(t)$ = vazão de regularização, que pode ser obtida pela soma de todas as vazões que deverão ser atendidas ou fornecidas pelo reservatório num determinado tempo.

Q_{med} = média das vazões naturais afluentes (até a seção escolhida para a instalação da barragem) para o número de meses escolhido para a análise.

Conhecendo-se as vazões naturais e a função de regularização Y(t), é possível determinar a vazão de regularização e a capacidade mínima do reservatório. De forma bastante simples de entender, verifique o hidrograma da Figura 2.10, que representa o período de janeiro (J) a dezembro (D). Sobre ele, é lançada uma vazão que representa a vazão a ser regularizada, necessária para atender às demandas:

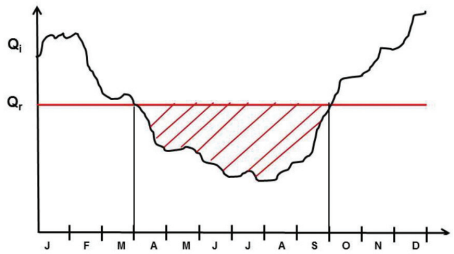
Figura 2.10 | Hidrograma das vazões naturais



Fonte: elaborada pelo autor.

No gráfico da Figura 2.11 é possível observar quais são os meses em que as vazões são inferiores à vazão a ser atendida.

Figura 2.11 | Identificação do período crítico



Fonte: elaborada pelo autor.

Simplificadamente, o volume que deverá ser armazenado no reservatório é aquele representado pela área hachurada no gráfico da Figura 2.11. Esse volume, que representa a capacidade do reservatório, pode ser expresso pela área do retângulo definido pela vazão de regularização menos a área sob a curva das vazões. A área do retângulo é definida pela seguinte expressão matemática, que representa o volume necessário para atender à vazão regularizada (V_{nec}):

$$V_n = Q_r(\Delta t_{abr} + \Delta t_{mai} + \Delta t_{jun} + \Delta t_{jul} + \Delta t_{ago} + \Delta t_{set}),$$

em que Δt é representado pelo número de segundos no mês, por exemplo.

A expressão matemática da área sob a curva das vazões, volume afluente (V_a) ao reservatório no período, é dada por:

$$V_a = Q_{abr}x\Delta t_{abr} + Q_{mai}x\Delta t_{mai} + Q_{jun}x\Delta t_{jun} + Q_{jul}x\Delta t_{jul} + Q_{ago}x\Delta t_{ago} + Q_{set}x\Delta t_{set},$$

em que $Q_{mês}$ são as vazões afluentes mês a mês.

A capacidade mínima do reservatório (C_r) pode ser definida como:

$$C_r = V_n - V_a.$$

Cabe observar que a máxima vazão constante regularizável é a vazão média de longo período, supondo um reservatório com volume máximo ilimitado e sem perdas por evaporação.

Pesquise mais

Para adquirir conhecimento sobre a complexidade que envolve as questões do enfrentamento dos períodos de estiagem principalmente em grandes cidades, pesquise sobre o caso de São Paulo e seu principal sistema de abastecimento de água, o Sistema Cantareira, através do link indicado. Disponível em: <http://www.sspcj.org.br/index.php/sistemacantareira>. Acesso em: 27 jan. 2017.

Sem medo de errar

Para elaborar as análises de estiagem e regulação de vazão para o Rio Ribeirinha, você acompanhou os processos naturais que ocorrem na Seção A do rio, decorrentes da variabilidade temporal das chuvas em cada período do ano. Pois bem, o trabalho de campo desempenhado na seção, tanto no período de chuvas como no de estiagem, tem como objetivo observar as principais variáveis do ciclo hidrológico, entender o seu comportamento na superfície e o impacto na bacia hidrográfica. O resultado dessa atividade gera o diagnóstico hidrológico/hidráulico da bacia hidrográfica, tendo como ponto de análise principal os resultados observados na seção para o seu parecer técnico. A análise do volume que passa na seção depende da observação e de todos os processos do ciclo hidrológico, do tipo de solo e de seu uso e ocupação da bacia hidrográfica, além de todas as retiradas de água que eventualmente existirão a montante, representadas pelas demandas para abastecimento urbano, industrial, entre outros. Todo o processo envolvido é muito complexo e os fenômenos hidrológicos estão integrados.

Você deverá indicar no seu parecer técnico o cálculo do volume necessário para que o reservatório sirva como regularizador das vazões, conforme exemplos já apresentados.

Avançando na prática

Dimensionamento preliminar do volume mínimo de um reservatório

Descrição da situação-problema

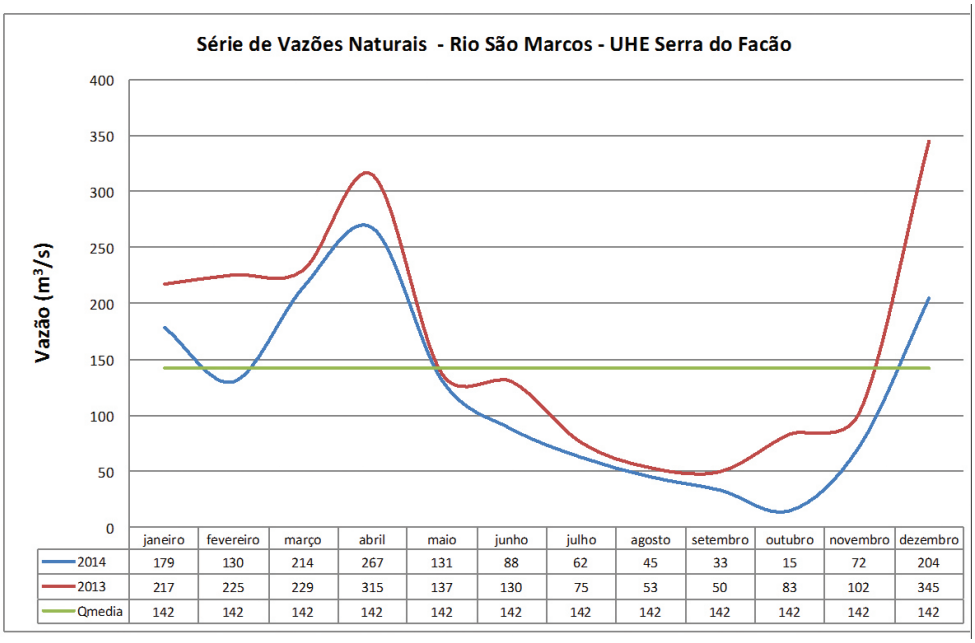
Caro aluno, o engenheiro de projetos do escritório para o qual você trabalha pede que você verifique a série de vazões naturais mensais do Rio São Marcos, na seção onde está instalada a barragem de Serra do Facão. Ele precisa de um valor preliminar do volume mínimo do reservatório, considerando as vazões naturais médias no período entre 2013 e 2014. Deve-se considerar a lei de regulação e que o valor de evaporação seja igual a zero.

Resolução da situação-problema

Para iniciar esse cálculo, você deve buscar a série de vazões naturais médias para o Rio São Marcos na seção da barragem Serra do Facão, no site do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O ONS é o órgão que opera todas as barragens que geram energia hidrelétrica no país, e indica os níveis de operação dos reservatórios com base horária, ou seja, informa de hora em hora qual reservatório deve reservar mais água e qual reservatório liberará mais água para jusante, obtendo, assim, a otimização da geração de energia do país. O ONS disponibiliza as séries de vazões naturais dos rios nas seções dos reservatórios no período de 1931 até 2015. O conteúdo está disponível em: <http://www.ons.org.br/pt/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>. Acesso em: 17 jan. 2017.

Após a obtenção dos dados, montamos um gráfico da vazão (m^3/s) versus tempo (meses) para os anos de 2013 e 2014. A partir dos dados plotados no gráfico, ficará fácil identificarmos qual foi o período de estiagem (período crítico) em relação à vazão média do período. Observe que os valores das vazões médias mensais são apresentados no próprio gráfico, incluindo a vazão média da série histórica.

Figura 2.12 | Série de vazões naturais - Rio São Marcos – UHE Serra do facão



	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
2014	179	130	214	267	131	88	62	45	33	15	72	204
2013	217	225	229	315	137	130	75	53	50	83	102	345
Qmedia	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142	142

Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme observado no gráfico, os meses críticos foram os meses de maio a novembro de 2014, nos quais a vazão que chegou ao reservatório foi menor do que a vazão a ser regularizada.

A lei de regularização é calculada a partir da seguinte expressão:

$$y(t) = \frac{Q_r(t)}{Q_{med(t)}},$$

em que:

Q_r = vazão regularizada em função do tempo (t).

Q_{med} = vazão média no período considerado.

Se a lei de regularização é igual a 1, então $Q_r = Q_{med}$.

A capacidade mínima do reservatório é calculada por meio da fórmula

$C_r = V_n - V_a$,

em que:

V_n = volume necessário.

V_a = volume afluente.

O V_n é calculado da seguinte forma:

$$V_n = Q_{med}(\Delta t_{mai} + \Delta t_{jun} + \Delta t_{jul} + \Delta t_{ago} + \Delta t_{set} + \Delta t_{out} + \Delta t_{nov}).$$

A variação do tempo em cada mês é calculada em segundos. Portanto,

Δt_{mai} = 31 dias x 86.400s = 2,68 x 10^6s no mês de maio.

Δt_{jun} 30 dias x 86.400s = 2,59 x 10^6s no mês de junho.

V_n = 142(2,68 x 10^6 + 2,59 x 10^6 + 2,68 x 10^6 + 2,68 x 10^6 + 2,59 x 10^6 + 2,68 x 10^6 + 2,59 x 10^6)

V_n = 2,62 x $10^6 m^3$

Considerando que o período crítico compreende os meses de maio a novembro de 2014, calcula-se:

$$V_a = (Q_{mai} \times \Delta t_{mai}) + (Q_{jun} \times \Delta t_{jun}) + (Q_{jul} \times \Delta t_{jul}) + (Q_{ago} \times \Delta t_{ago}) + (Q_{set} \times \Delta t_{set}) + (Q_{out} \times \Delta t_{out}).+ (Q_{nov} \times \Delta t_{nox}).$$

V_a = (131 x 2,59 x 10^6) + (88 x 2,59 x 10^6) + (62 x 2,68 x 10^6) + (45 x 2,68 x 10^6) + (33 x 2,59 x 10^6) + (15 x 268 x 10^6) + (72 x 2,59 x 10^6)

V_a + 1,18 x 10^9 m^3

C_r = 2,68 x 109 – 1,18 x 10^9 = 1,44 x 10^9 m^3

Para que o rio esteja 100% regularizado durante o período estudado, o volume mínimo do reservatório deverá ser igual a 1,44 x 10^9 m^3.

Faça valer a pena

1. Para analisar a necessidade de regularização das vazões de um rio X em uma determinada seção Y de estudo, devemos dispor de alguns dados necessários para iniciar a avaliação.

Quais são esses dados? Assinale a alternativa correta.

a) Dados de infiltração e uso do solo.

b) Série de vazões naturais médias e dados de evaporação.

c) Demanda hídrica para atendimento dos usos múltiplos do rio.

d) Série de vazões médias naturais e valores de vazão afluente para atendimento dos usos múltiplos.

e) Dados de qualidade do rio.

2. Para regularizar as vazões de um rio que apresenta grande variabilidade temporal com cheias intensas e severas estiagens, a solução utilizada é a construção de uma barragem. O reservatório formado tem como principal objetivo reter as águas excedentes na época de cheias de maneira a reservar água para os períodos de estiagens. O reservatório possui níveis e volumes característicos.

Com base no texto, é correto afirmar que:

a) O volume morto do reservatório é igual ao volume correspondente ao nível mínimo operacional.

b) O volume útil do reservatório corresponde à diferença entre o nível máximo *maximorum* e o nível máximo operacional.

c) O volume morto é sempre utilizado no período de estiagem.

d) O nível máximo operacional é dimensionado para eventos de cheias excepcionais.

e) O volume útil do reservatório corresponde à diferença entre o nível máximo *maximorum* e o nível mínimo operacional.

3. No cálculo do balanço hídrico, necessário para o dimensionamento da capacidade de um reservatório, é importante que sejam utilizadas as vazões naturais.

O que é correto afirmar sobre vazão natural?

a) É a vazão mínima afluente ao reservatório.

b) É a vazão média afluente ao reservatório.

c) É a vazão resultante da diferença entre a vazão afluente e a vazão que sai do reservatório.

d) É a vazão que ocorreria em uma seção do rio se não houvesse, a montante, captações para diversos fins.

e) É a vazão total que passa na seção do rio e corresponde à vazão líquida mais a vazão sólida.

Seção 2.3

Águas subterrâneas

Diálogo aberto

Olá, aluno! Para finalizar o parecer técnico sobre regime hidrológico do Rio Ribeirinha, foi solicitado que você pesquise qual ou quais aquíferos está(ão) presente(s) nessa bacia hidrográfica. O importante é compreender que as águas subterrâneas estão armazenadas em grandes reservatórios, chamados de aquíferos. Os aquíferos não têm o mesmo tamanho da bacia hidrográfica. Pelo contrário, eles têm abrangência superior à extensão da bacia, e podem ultrapassar limites entre estados e países. A sua distribuição geográfica está relacionada com a geologia do local.

A hidrogeologia é a ciência que estuda as águas subterrâneas e a sua relação com o ciclo hidrológico. Levando isso em consideração, o primeiro passo é adquirir o mapa hidrogeológico da área da bacia para verificar qual aquífero está localizado sob a bacia do Rio Ribeirinha. A partir dessa informação, você deve verificar se há pontos de monitoramento na região ou informações da qualidade da água.

No Brasil, há muito a ser feito com relação ao monitoramento de águas subterrâneas. O monitoramento foi iniciado apenas em 1990, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), e depois foi realizado em outras áreas do país. Mas diferentemente da rede de monitoramento extensa para as águas superficiais, a rede de monitoramento de águas subterrâneas é esparsa e até inexistente em várias bacias brasileiras.

Não pode faltar

As águas subterrâneas são parte do ciclo hidrológico. A água precipitada que não evapora ou é interceptada seguirá dois caminhos: escoar pela superfície até atingir cursos d'água, rios, lagos ou até mesmo o mar, formando o escoamento superficial; ou então infiltrar no solo e atingir o escoamento subterrâneo. A água infiltrada percola pelos vazios do solo e pelas porções geológicas através de um movimento vertical, em função da ação da gravidade, da pressão e da capilaridade.

Vocabulário

Capilaridade: propriedade física que os fluidos têm de subirem ou descerem em tubos extremamente finos ou em corpos porosos. Essa ação pode fazer com que líquidos fluam mesmo contra a força da gravidade, devido à tensão superficial da água.

Percolação: movimento de penetração da água entre os vazios do solo. Esse movimento geralmente é lento, e dá origem ao lençol freático.

Esse movimento é bem lento e ocorre até a água precipitada atingir uma zona onde todos os vazios já estão preenchidos com água: a zona saturada.

Na zona saturada, o movimento da água passa a ser predominantemente horizontal, através das rochas e sedimentos. Esse movimento é bem lento, como o movimento de percolação, sendo que a velocidade é da ordem de cm/dia. A zona saturada é o que chamamos de aquífero.

Um aquífero é uma formação geológica permeável que se constitui num reservatório de água subterrânea. Por sua natureza geológica, o aquífero permite o fluxo e o armazenamento de água em seu interior. Quando a formação geológica é semipermeável, ela é denominada de aquitarde: armazena água, mas o fluxo de água em seu interior é muito lento. Quando é de formação geológica praticamente sem permeabilidade, é denominada de aquiclude: tanto o fluxo quanto o armazenamento de água são muito reduzidos.

Assimile

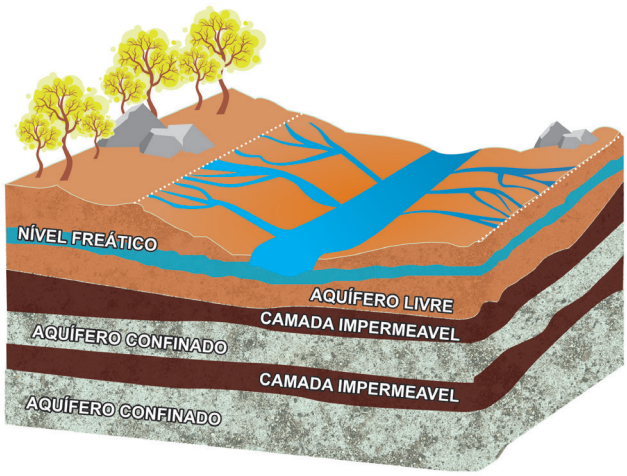
O aquífero pode ser classificado de acordo com a pressão na sua camada limítrofe em livre, semiconfinado e confinado. As definições desses aquíferos são dadas da seguinte forma, segundo Porto (2012):

a) O aquífero livre (Figura 2.13) situa-se próximo à superfície, onde a unidade geológica aflora na superfície. Nele, a zona saturada tem contato direto com a zona não saturada. O nível freático (superfície superior da zona de saturação) fica submetido à pressão atmosférica. Dessa forma, a água que infiltra no solo atravessa a zona não saturada e recarrega diretamente o aquífero livre.

b) O aquífero confinado é limitado nas partes superior e inferior por aquicludes e aquitardes (Figura 2.13). Nesse caso, o aquífero é submetido a uma pressão maior que a atmosférica, em função da existência de uma camada confinante. Devido ao confinamento, o nível de água do aquífero pode estar em uma posição superior ao seu topo. Se o nível ocorre acima da superfície, o poço é chamado de artesiano ou jorrante. A recarga desse tipo de aquífero é realizada pela porção aflorante (ou quando ele é livre) ou por infiltração de unidades geológicas sobrepostas.

c) O aquífero semiconfinado é semelhante ao confinado. No entanto, uma das camadas que o confina apresenta uma permeabilidade que permite a infiltração.

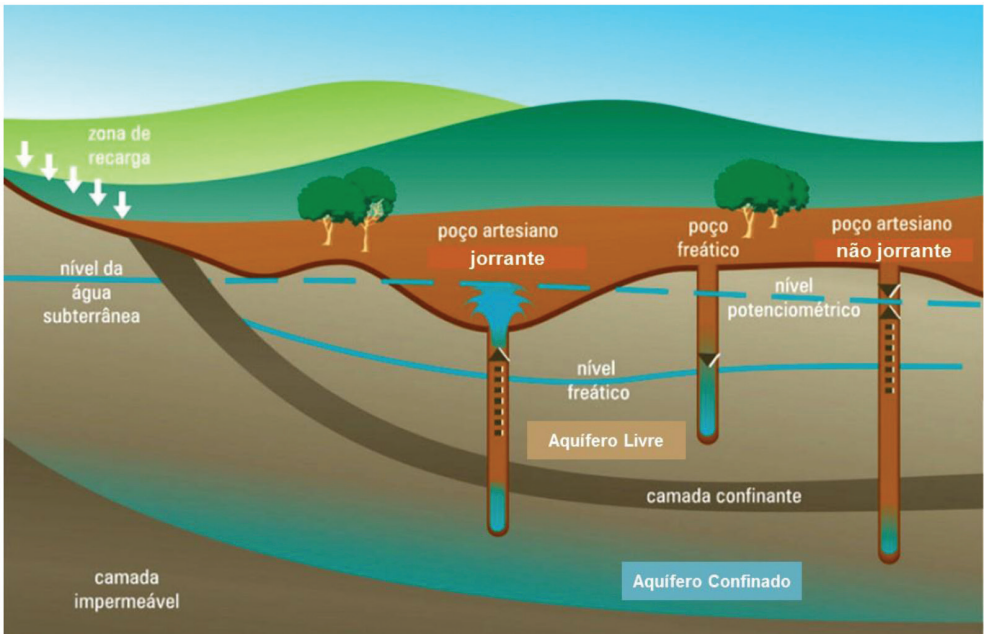
Figura 2.13 | Esquema ilustrativo de aquíferos



Fonte: adaptada de Borghetti et al. (2004).

Os poços artesianos são aqueles em que a água é jorrada através do furo, ou seja, quando o nível potenciométrico do aquífero é superior à superfície do terreno em um dado ponto (Figura 2.14). O termo também é usado popularmente, embora de forma incorreta, como sinônimo de poço tubular. Já o termo poço semiartesiano, nessa acepção popular, refere-se a poços tubulares de profundidades não superiores a 80-100 m (PORTO, 2012).

Figura 2.14 | Aquíferos – Área de recarga e poços



Fonte: adaptada de <http://1papacaio.com.br/modules.php?op=modload&name=Sala_aula&file=index&do=showpic&pid=6259&orderby=titleA>. Acesso em: 31 jan. 2017.

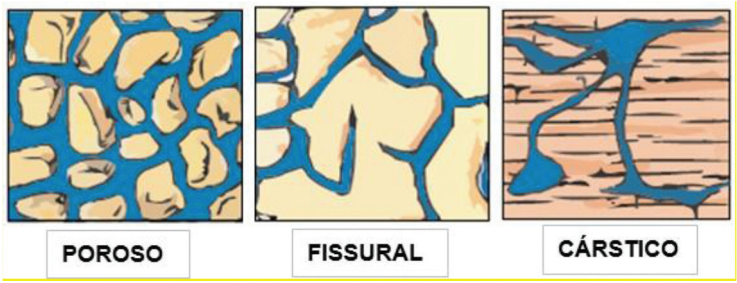
Os aquíferos também são classificados de acordo com a porosidade das rochas em: poroso, fissural e cárstico (Figura 2.15).

Os aquíferos porosos apresentam água nos vazios formados entre o solo. São encontrados em rochas sedimentares, por exemplo: arenitos do Aquífero Guarani e do Aquífero Botucatu.

Nos aquíferos do tipo fissural, a água percorre as fissuras formadas em decorrência do fraturamento das rochas destituídas de vazios, por exemplo: os basaltos sobre os arenitos do Aquífero Guarani.

Os aquíferos do tipo cárstico surgem em rochas carbonáticas, como as rochas calcárias (sedimentares). É um aquífero que apresenta fraturas que são originadas quando a água dissolve o carbonato presente nas rochas, que podem atingir aberturas muito grandes, criando rios subterrâneos. Podem ser encontrados no Vale do Ribeira, no interior de São Paulo, e em Bonito, no Mato Grosso do Sul.

Figura 2.15 | Classificação dos aquíferos quanto à porosidade



Fonte: adaptada de Brasil (2007, p. 12).



Reflita

Como os aquíferos são reabastecidos? A água que o aquífero recebe para o seu reabastecimento é denominada de recarga.

A grande maioria dos aquíferos é reabastecida continuamente. O processo de recarga natural é função basicamente do montante de chuvas, além do processo de interação entre os demais processos do ciclo hidrológico: infiltração, escoamento e evaporação.

Isso significa que o relevo da área, o tipo de solo e a cobertura da vegetação influenciam e são muito importantes para a recarga.

A recarga é dita direta quando os aquíferos são alimentados diretamente pela infiltração das águas na superfície exposta do solo ou rocha em toda extensão dos aquíferos livres. Nos aquíferos confinados, a recarga se dá na extensão onde as rochas afloram na superfície (Figura 2.14).

Há situações em que os aquíferos são recarregados através de outras rochas. Nesse caso, a recarga é dita indireta. Os locais de recarga direta normalmente situam-se em pontos altos do terreno (morros, serras, entre outros). Esses locais devem ser protegidos e são de fundamental importância para garantir a qualidade e o volume das águas subterrâneas.

As águas subterrâneas são utilizadas para o abastecimento público, onde não há rede de abastecimento de água, além de suprir indústrias, agricultura e também o turismo, como é o caso das estâncias termais.

A contaminação das águas subterrâneas ocorre principalmente por meio de três fontes de poluição: urbana e doméstica; agrícola; e industrial. Há também a poluição por intrusão salina. Com isso, notamos que a atividade humana é a principal fonte de poluição e, portanto, a gestão da qualidade da água subterrânea está associada ao controle da atividade humana.

Para águas subterrâneas, há o conceito de vulnerabilidade do aquífero à poluição, que significa sua menor ou maior suscetibilidade de ser afetado por uma carga contaminante.

O risco potencial de contaminação tem relação com o tipo de contaminante e suas características, e pode ocorrer por meio de fontes diretas ou indiretas.

As fontes diretas são: resíduos sólidos; vazamento das redes de esgoto ou fossas; chorume proveniente de aterros sanitários mal planejados; atividades agrícolas, como o uso de fertilizantes, pesticidas e agrotóxicos; atividades de mineração; e o vazamento de substâncias tóxicas, como tanques em postos de gasolina ou de oleodutos e cemitérios.

As fontes indiretas são: filtragem vertical descendente (que é quando a poluição de aquíferos próximos à superfície do solo contaminam os aquíferos mais profundos); contaminação natural (provocada pela transformação química e dissolução de minerais); poços mal construídos e/ou abandonados); e a salinização do aquífero.



Exemplificando

A contaminação dos aquíferos gera um impacto enorme nas águas subterrâneas. O tempo para recuperação dos aquíferos é extremamente lento e nem sempre a despoluição acontece de forma natural.

O processo de despoluição e minimização dos impactos negativos gera um custo muito alto, o que, na maioria das vezes, torna o processo inviável economicamente, além da complexidade técnica e falta de mão de obra especializada para esse processo.

Os estudos de proteção das águas subterrâneas dependem de políticas públicas em que as atividades geradoras de poluição sejam incorporadas em planos diretores e planos de uso e ocupação do solo.

Pesquise mais

Para complementar sua leitura, visite o site da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Disponível em: <http://www.abas.org/#>. Acesso em: 2 fev. 2017.

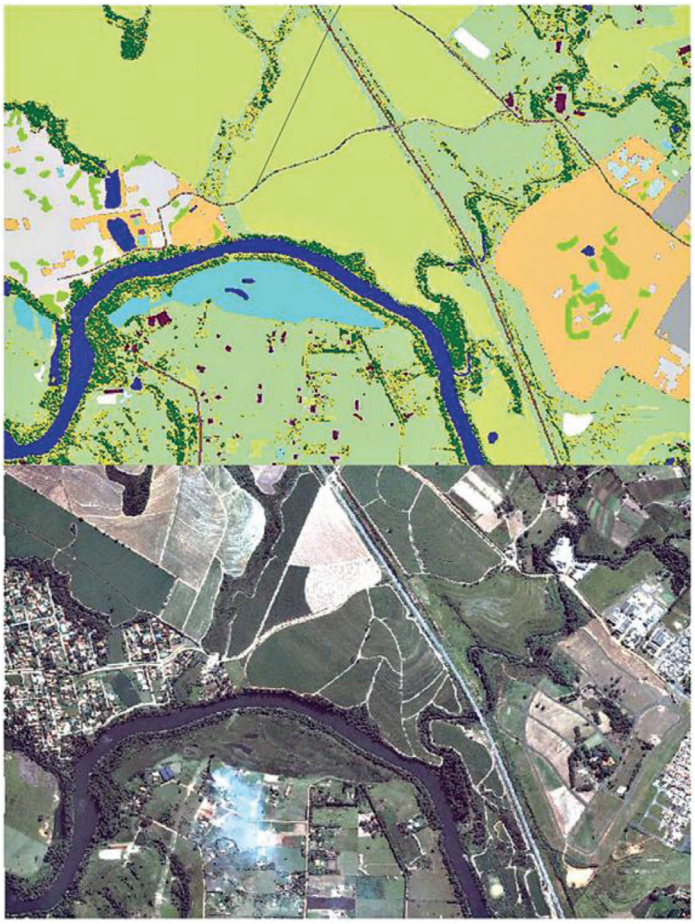
Para entender os procedimentos necessários para se obter a permissão para captação e uso de águas subterrâneas, consulte o link indicado. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=68:outorga>. Acesso em: 31 jan. 2017

Sem medo de errar

Para finalizar o parecer técnico sobre regime hidrológico do Rio Ribeirinha, em primeiro lugar, você deve utilizar os mapas hidrogeológicos para identificação do aquífero na localização estudada, disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>. Acesso em: 2 fev. 2017) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_hidrogeologico_e_hidroquimico/mapas/unidades_da_federacao/rn_hidrogeologia.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2017).

Posteriormente, você deve verificar as suas características com relação à geologia do local, tipo de aquífero e se há pontos de monitoramento. Você deve buscar o mapa de uso e ocupação do solo, conforme Figura 2.16, e verificar quais usos geram riscos de contaminação aos aquíferos. Como resultado, indique em seu parecer qual é a vulnerabilidade à poluição em função dos usos dentro da bacia do Rio Ribeirinha.

Figura 2.16 | Mapa de uso e ocupação



Fonte: <http://mundogeo.com/blog/2009/07/09/mapeamento-de-uso-e-ocupacao-do-solo/>. Acesso em: 2 fev. 2017.

É importante que você sugira que ações de proteção devem ser incorporadas ao plano diretor local, além de pontos de monitoramento em locais com maior vulnerabilidade à poluição.

Avançando na prática

Exploração de água subterrânea para abastecimento público

Descrição da situação-problema

A cidade de São Paulo passou recentemente por uma crise hídrica grave, decorrente de um período de estiagem prolongado. Em consequência disso, foi necessário fazer o racionamento do uso da água. Sendo assim, alguns condomínios buscaram complementar a água disponível por meio da perfuração de poços para captação de água subterrânea. Para essa finalidade, o que deve ser feito inicialmente?

Resolução da situação-problema

Inicialmente, é importante investigar se na região onde se quer perfurar o poço é possível captar água subterrânea sem restrições legais e se há disponibilidade de água. Para isso, é muito importante que se consulte o órgão do estado responsável por conceder a permissão da captação para uso da água (procedimento conhecido como outorga). No estado de São Paulo, o órgão responsável é o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Esse órgão deverá orientar e esclarecer quanto aos principais procedimentos necessários para a perfuração do poço, desde a contratação de profissionais/empresa especializados na perfuração de poços até a vazão permitida para captação, incluindo a análise da qualidade da água disponível.

Faça valer a pena

1. Você já aprendeu sobre o ciclo hidrológico, sobre suas fases e sobre a função específica de cada uma delas. Lembre-se das várias fases e do caminho da água até chegar nos cursos d'água. Você já observou o escoamento de um rio? Já observou que mesmo em períodos de grande estiagem alguns rios continuam tendo água escoando?

De onde vem a água que continua escoando no rio? Assinale a alternativa correta:

a) Da evaporação.

b) Da transpiração das plantas.

c) Da precipitação.

d) Do escoamento superficial.

e) Das águas subterrâneas.

2. Há algumas formas de se classificar os aquíferos. Quando a classificação é realizada de acordo com a pressão exercida sobre as águas nas suas camadas limítrofes, há uma designação específica.

Como esses aquíferos são conhecidos? Assinale a alternativa correta:

a) Aquicludes.

b) Freáticos ou livres e artesianos ou confinados.

c) Aquitardes.

d) Porosos e cársticos.

e) Fissurais e porosos.

3. A contaminação da qualidade da água subterrânea pode ocorrer por meio de diversas fontes, que geralmente estão relacionadas com a atividade humana.

De acordo com o contexto, é correto afirmar que:

a) O processo de despoluição de um aquífero é simples e barato.

b) O processo de despoluição de um aquífero exige mão de obra especializada e seu custo é baixo.

c) O processo de despoluição de um aquífero, na maioria das vezes, ocorre naturalmente.

d) O processo de despoluição de um aquífero tem custos elevados, porém, é de fácil execução.

e) O processo de despoluição de um aquífero exige mão de obra especializada e seu custo é extremamente alto.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura de recursos hídricos**. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 27 jan. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Lista de termos para o thesaurus de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas.** Brasília: ANA, 2014. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. Disponível em: <http://www.abas.org/#>. Acesso em: 2 fev. 2017.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **O Aquífero Guarani**: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba: GIA – Fundação Roberto Marinho, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: IPT, 2007. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SSecretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Águas subterrâneas**: um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília: MMA/SRH, 2007. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/%C3%81GUAS%20SUBTERR%C3%82NEAS.pdf>. Acesso em 14 fev. 2017.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Brasília, 2005. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_hidrogeologico_e_hidroquimico/mapas/unidades_da_federacao/rn_hidrogeologia.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2017.

CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife: UFPE, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2008.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. 336 p.

LANNA, A. E. L. Regularização de vazões em reservatórios. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS/ABRH, 2001. p.

LOBO, G. A. **Medição de vazão em cheias de bacias urbanas e rurais com molinetes hidrométricos e flutuadores superficiais**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MUSY, A. Le Bassin Versant et Son Complexe. In: ___. **E-drologie:** cours d'hydrologie générale. Lausanne: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2001. Disponível em: <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html>. Acesso em: 12 jan. 2017.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade Pinto. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Séries de vazões naturais médias mensais**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 17 jan. 2017.

PORTO, R. L. L. **Fundamentos para gestão da água**. São Paulo: [s.n.], 2012.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. 3. ed. São Paulo: DAEE, 2008.

SALA DE SITUAÇÃO DAS BACIAS. **Sistema Cantareira**. Disponível em: <http://www.sspcj.org.br/index.php/sistemacantareira>. Acesso em: 27 jan. 2017.

SERVIÇO GEOLÉGICO DO BRASIL – CPRM. **Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>. Acesso em: 2 fev. 2017.

WURBS, R. A. **Modeling and analysis of reservoir system operations**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 356 p.

Sistemas de micro e macrodrenagem

Convite ao estudo

Olá, aluno. Seja bem-vindo de volta! Com base no seu conhecimento prévio adquirido no tema de hidrologia nas unidades anteriores, nesta unidade, abordaremos a aplicação da hidrologia no meio urbano, mais especificamente no que se refere à drenagem urbana. Ela pode ser dividida em dois subtemas: microdrenagem e macrodrenagem. Ao final desta unidade, você estará apto a identificar, calcular e projetar os principais dispositivos que compõem a drenagem urbana, além de refletir sobre a importância deste tema no desenvolvimento urbano.

Esta unidade está dividida em três seções (3.1; 3.2; e 3.3). Na Seção 3.1 abordaremos os principais dispositivos que compõem a microdrenagem e os critérios de projeto; os problemas comuns encontrados no sistema de microdrenagem, bem como seus controles; e o dimensionamento de sarjetas e sarjetões.

Na Seção 3.2, o assunto continua sendo a microdrenagem: compreenderemos os assuntos de alocação e dimensionamento dos variados tipos de bocas de lobo e poços de visita, bem como o dimensionamento e traçado de galerias.

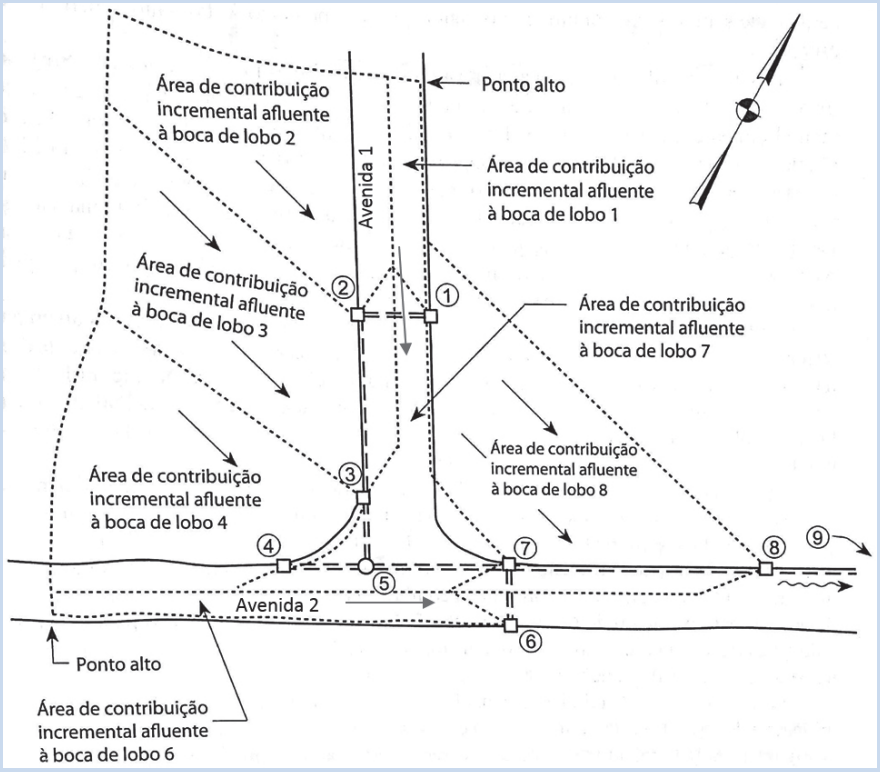
Já na Seção 3.3, o assunto abordado será a macrodrenagem. Desenvolveremos nosso aprendizado com relação aos dispositivos e critérios de projetos; drenagem em talvegues; bueiros e vãos livres de pontes; e também problemas comuns em sistemas de macrodrenagem.

Você terá, nesta unidade, o papel de engenheiro civil do órgão público

responsável pela gestão das águas pluviais urbanas de uma grande cidade. Você será responsável por planejar e projetar os dispositivos de drenagem da cidade, solucionando problemas de alagamentos, que atrapalham o fluxo normal da cidade em dias chuvosos, causam danos aos patrimônios públicos e privados e também transtornos aos munícipes.

Você foi designado para analisar um pré-projeto de drenagem urbana que será implantado em um trecho da cidade que sofre com problemas de alagamento. Esse pré-projeto já conta com a locação das bocas de lobo, o lançamento do traçado das galerias pluviais e a alocação de poços de visita.

Figura 3.1 | Projeto inicial de uma área que sofrerá intervenção para melhoria na drenagem urbana



Fonte: Gribbin (2014, p. 259).

A partir do ponto 9, representado na Figura 3.1, ocorre o lançamento final das águas coletadas no riacho que corta a região. Esse riacho tem seu leito preservado, porém, é prevista a retificação desse curso d'água. Está prevista, também, a construção de um bueiro para passagem de veículos leves.

Seção 3.1

Microdrenagem: conceitos gerais e introdução a dimensionamento

Diálogo aberto

Como engenheiro civil do órgão público responsável pela gestão das águas pluviais urbanas de uma grande cidade, você foi designado para analisar um pré-projeto de drenagem urbana que será implantado em um trecho da cidade que sofre com problemas de alagamento.

Analise os dados obtidos e sintetizados, apresentados a seguir, e verifique se os fluxos nas sarjetas atendem às recomendações de projeto, como altura máxima da lâmina de água. Determine também o espalhamento máximo permitido.

Os dados coletados são apresentados a seguir:

- Equação da chuva: $i = \frac{502{,}47 \cdot T_r^{0{,}1431}}{(t + 10{,}8)^{0{,}606}}$.
- Altura máxima da lâmina de água das sarjetas: 10 cm.
- Coeficiente de rugosidade de Manning: 0,015.
- Declividade transversal das vias: 0,03.
- Declividade longitudinal da Avenida 1: 0,005.
- Declividade longitudinal da Avenida 1: 0,006.
- Demais dados, já calculados, estão apresentados no quadro a seguir:

Tabela 3.1 | Dados da área de análise

Boca de lobo	Área de contribuição (km^2)	Tempo de concentração (tc, min.)	Coeficiente de deflúvio (C)	Intensidade pluviométrica (i, mm/h)	Vazão de projeto (Q, m^3/s)
1	0,000567	6	0,95	114,44	0,01712
2	0,003723	10	0,60	100,55	0,06244
3	0,004856	10	0,50	100,55	0,06787
4	0,005666	9	0,45	103,60	0,07343
6	0,000809	6	0,95	114,44	0,02446
7	0,001214	6	0,95	114,44	0,03669
8	0,005261	14	0,38	90,38	0,05023

Fonte: elaborada pelo autor.

Não pode faltar

Com base no seu conhecimento de hidrologia adquirido nas unidades anteriores, estudaremos agora o tema da drenagem urbana: uma aplicação da hidrologia no meio urbano.

Esta seção tem como objetivo explanar os critérios de projeto para a drenagem urbana, os principais dispositivos pertencentes à microdrenagem, os problemas apresentados na prática em relação à drenagem urbana e o dimensionamento dos dispositivos de encaminhamento de vazões, como as sarjetas e os sarjetões.

O propósito do gerenciamento de águas pluviais é melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas por meio da:

- Proteção da vida humana e redução de enchentes.
- Prevenção de danos às propriedades privadas e públicas.
- Minimização da interrupção das atividades urbanas cotidianas.
- Proteção dos corpos hídricos.

Dispositivos e critérios de projetos

Em áreas urbanas, as águas pluviais escoam pelas ruas e são coletadas e transportadas pelas sarjetas ao longo das vias, sendo, então, drenadas pelas bocas de lobo, que as encaminham às galerias subterrâneas que, por sua vez, têm o objetivo de transportar a água até o local do lançamento, geralmente cursos d'água, lagos, rios e o oceano (WURBS; JAMES, 2002).

O sistema pluvial pode ainda ser dividido em micro e macrodrenagem.

A microdrenagem é a parte do sistema que inicia nos limites dos lotes e das edificações, no qual recebe as instalações prediais de coleta de águas pluviais, prossegue no escoamento das sarjetas e é coletado pelas bocas de lobo, que direcionam essas águas para as galerias pluviais.

A macrodrenagem é a parte do sistema que recebe água coletada pelos sistemas da microdrenagem, cuidando dos fundos de vales e à que interessa mais a área total da bacia, seu escoamento natural, sua ocupação, a cobertura vegetal, os fundos de vale e os cursos d'água urbanos (AZEVEDO NETTO, 2015).

O sistema pluvial abrange calhas das ruas, galerias, bueiros, bocas de lobo, dispositivos de infiltração, escadarias e rampas até a chegada das águas aos córregos, riachos e rios, com o objetivo de evitar: erosões do terreno; do pavimento; alagamento da calha viária, e também com a função de eliminar pontos baixos sem escoamento, a fim de promover a chegada ordenada das águas aos cursos de água da região (BOTELHO, 2006; HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012).

Critérios de projeto

a) Tempo de recorrência ou de retorno (Tr)

Sendo a microdrenagem a solução para o escoamento das vazões de chuvas mais frequentes, portanto, com menores recorrências e menores intensidades, é admitida a ocorrência de alagamentos pontuais quando a intensidade das chuvas aumenta (AZEVEDO NETTO, 2015).

Valores de tempo de retorno são estabelecidos por legislações locais mas, em geral, tempo de retorno de 10 anos para microdrenagem tem sido adotado. Sendo assim, na média, o sistema ficará sobrecarregado uma vez a cada dez anos, o que resultará em pequena enchente HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012).

b) Tempo de concentração (tc)

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é definido como o tempo de percurso da água desde o ponto mais afastado da bacia até a seção de interesse, a partir do instante de início da precipitação (CANHOLI, 2015).

O tempo de concentração (t_c) é a soma dos tempos de entrada (t_e), que é definido como o tempo do percurso gasto pela água da chuva ao atingir o terreno nos pontos mais distantes até alcançar a primeira seção de captação (boca de lobo), e o tempo de percurso (t_p), que é o tempo de escoamento no interior das galerias.

$$t_c = t_e + t_p$$

c) Coeficiente de escoamento superficial ou deflúvio (C)

É a parcela da chuva precipitada que efetivamente chega ao sistema de drenagem, descontado-se as parcelas perdidas por infiltração, interceptação, armazenamento e evaporação. Sendo assim, o coeficiente de deflúvio depende da permeabilidade do solo, da cobertura vegetal, umidade antecedente do solo, da textura superficial do solo e da dimensão da bacia. Valores de deflúvio usualmente adotados são tabelados de acordo com o tipo de terreno, especialmente seu revestimento. Em terrenos mistos, utiliza-se médias ponderadas dos coeficientes tabelados. Em áreas cobertas, utiliza-se valores próximos a 0,8, podendo chegar a 0,9 e a 0,95; e, em áreas descobertas, os valores corriqueiros são da ordem de 0,3.



Reflita

Dada a urbanização das cidades, que ocorre muitas vezes de maneira desordenada e com alterações de terrenos e redução da permeabilidade por revestimento artificial, como você acha que isso interfere na gestão das águas pluviais urbanas?

d) Intensidade (i)

É geralmente baseada em dados locais, e normalmente decorre da utilização de equações ou curvas do tipo duração x intensidade x recorrência. A unidade de medida adotada é o mm/h.

e) Vazão de projeto (Q)

Para pequenas bacias, ou seja, com áreas inferiores a 50 ha, mais comuns em estudos de microdrenagem, utiliza-se o método racional de cálculo de vazões, por meio da equação:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3{,}6},$$

em que:

Q = vazão de projeto (m^3/s).

A = área drenada (km^2).

i = intensidade de chuva (mm/h).

C = coeficiente de deflúvio.

Dispositivos da microdrenagem

a) Guias ou meio-fio

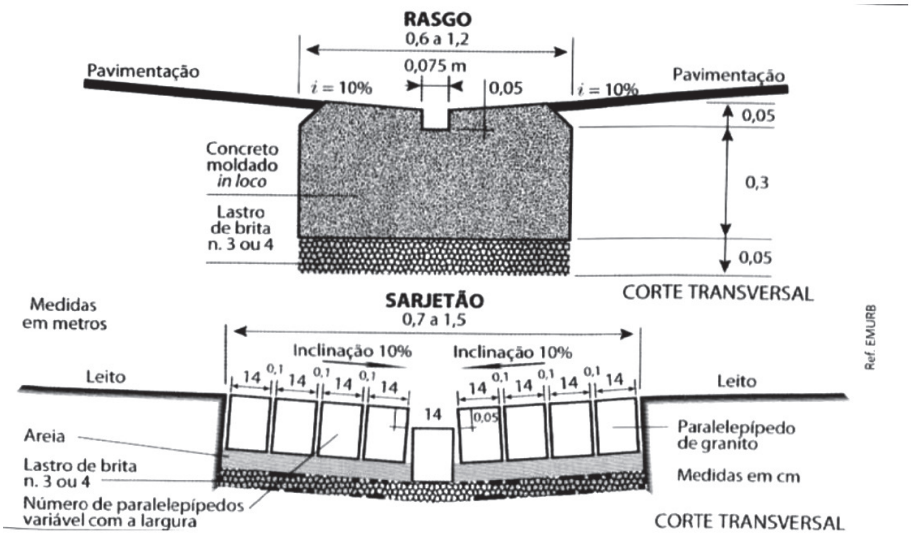
Têm a função de definir os limites do passeio e do leito carroçável (rua) (BOTELHO, 2006).

b) Sarjetas e sarjetões

Sarjetas são canais na lateral da rua. Nelas, as águas pluviais são transportadas para as bocas de lobo e galerias pluviais. O espalhamento, ou invasão do pavimento, é a largura superior da água que escoa na rua, medida a partir da guia ou meio-fio (SHAMMAS et al., 2013).

Os sarjetões e os rasgos, apresentados na Figura 3.2, são dispositivos de encaminhamento de fluxo superficiais, assim como as sarjetas. São utilizados para interligar pontos baixos próximos e contínuos sem a necessidade de bocas de lobo e galerias subterrâneas. Os sarjetões são formados pela própria pavimentação nos cruzamentos das vias públicas, formando calhas, que servem para orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas (AZEVEDO NETTO, 2015).

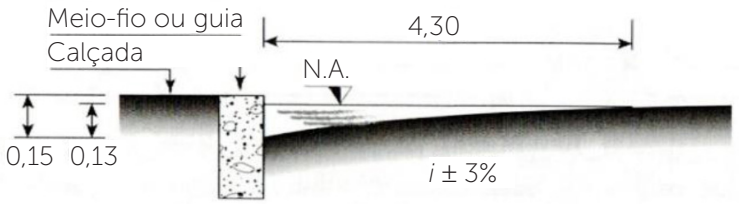
Figura 3.2 | Seção transversal de um sarjetão e de um rasgo



Fonte: Botelho (2006, p. 33).

As sarjetas (Figura 3.3) e os sarjetões comportam-se como canais de seção triangular. Geralmente, são dimensionados por critérios que não consideram sua função hidráulica. Deve-se determinar sua capacidade hidráulica (máxima vazão de escoamento) para comparação com a vazão originada da chuva de projeto e decidir sobre as posições das bocas de lobo que retiram essas águas da superfície das ruas (AZEVEDO NETTO, 2015).

Figura 3.3 | Seção transversal de uma sarjeta



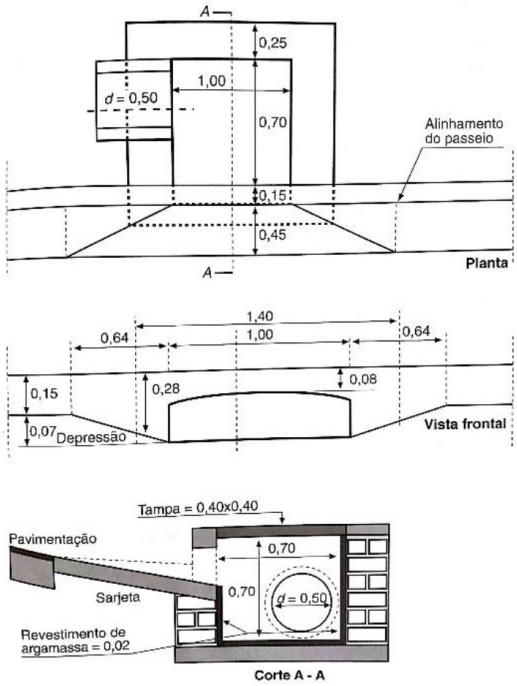
Fonte: Azevedo Netto (2015, p. 479).

O comprimento tolerável do espalhamento ou invasão do pavimento, que é determinado por normas locais, se baseia na classificação da rua. Uma rua com um limite de velocidade mais alto deve ter um espalhamento tolerável menor do que uma rua concebida para velocidades mais baixas, devido ao maior risco de aquaplanagem (SHAMMAS et al., 2013).

c) Bocas de lobo

As bocas de lobo (Figura 3.4) recebem as águas pluviais para o sistema de drenagem. Elas são posicionadas e projetadas de modo a concentrar e remover o escoamento nas sarjetas, quando se esgota sua capacidade hidráulica, a um custo mínimo e com interferência mínima, tanto para o pedestre quanto para o tráfego veicular. O objetivo principal desses dispositivos é minimizar o espalhamento de água pela rua, levando-a para as galerias (AZEVEDO NETTO, 2015; SHAMMAS et al., 2013).

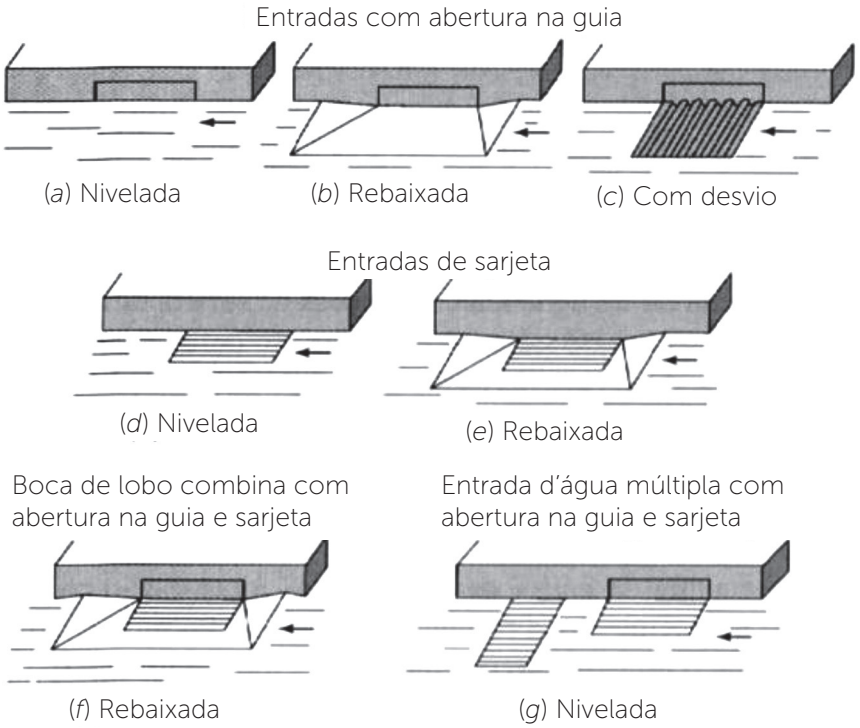
Figura 3.4 | Esquema de uma boca de lobo



Fonte: Azevedo Netto (2015, p. 479).

Quanto ao tipo de entrada, as bocas de lobo podem ser de: entradas com abertura na guia; entradas de sarjeta; e entradas conjuntas, que combinam aberturas na guia com aberturas na sarjeta (Figura 3.5). Apenas onde o tráfego é forçado a se mover lentamente, as superfícies e entradas com abertura na guia podem ser rebaixadas, para aumentar a capacidade de tomada d'água (capacidade de engolimento) (SHAMMAS et al., 2013).

Figura 3.5 | Tipos de bocas de lobo



Fonte: Shammas et al. (2013, p. 439).

As configurações mais comuns para as bocas de lobo são as com grelhas, as com abertura na guia (lateral) e as bocas de lobo combinadas.

Normalmente, a capacidade de engolimento de projeto de uma boca de lobo é fixada em 40 a 60 L/s por unidade (BOTELHO, 2006).

d) Tubos de ligação (TL)

São ligações entre as bocas de lobo e os poços de visita ou caixas de ligação. A Figura 3.6 apresenta alguns dispositivos de microdrenagem em detalhe, inclusive os tubos de ligação.

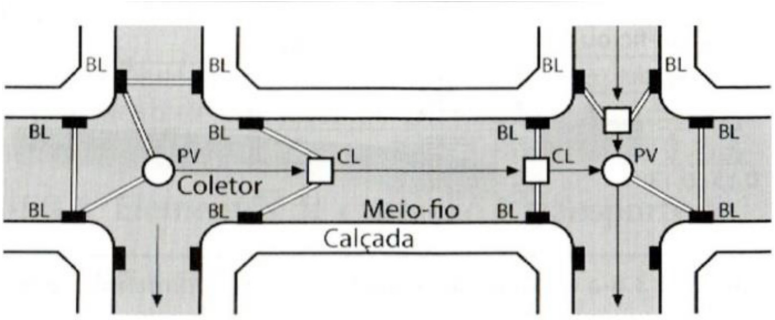
e) Caixas de ligação (CL)

São utilizadas para receber tubos de ligação de bocas de lobo intermediárias ou para evitar excesso de ligações no mesmo poço de visita. Não são visitáveis (AZEVEDO NETTO, 2015).

f) Poços de visita (PV)

São câmaras visitáveis com a função principal de permitir o acesso às galerias para inspeção e manutenção (desobstrução), além de receber ligações de bocas de lobo. Para otimizar esses objetivos, costumam ser alocados nos pontos de reunião dos condutos (cruzamento de ruas), mudanças de seção, de declividade e de direção (AZEVEDO NETTO, 2015; BOTELHO, 2006).

Figura 3.6 | Dispositivos de microdrenagem



PV - poço de visita; CL - caixa de ligação; BL - boca de lobo

Fonte: Azevedo Netto (2015, p. 480).

Problemas comuns em sistemas de microdrenagem e seus controles

Quanto mais superficial e livre for o sistema pluvial, menores serão os problemas de uso. Por exemplo, sempre é preferível usar sarjetões e rasgos às soluções de captação por bocas de lobo e galeria enterrada (BOTELHO, 2006).

As águas pluviais devem ser direcionadas às bocas de lobo. Um problema comum nos sistemas de microdrenagem é a boca de lobo não captar as águas afluentes, causando danos. Muitas vezes, as bocas de lobo estão mal locadas, fora do fluxo "normal" de drenagem. Por isso, para que o sistema funcione bem, o fluxo deve ser direcionado como projetado, através das sarjetas, sarjetões, rasgos etc.

A limpeza urbana é um fator de extrema importância no sistema de microdrenagem. O acúmulo de resíduos sólidos como sacolas plásticas, galhos, folhas e até areia podem comprometer a microdrenagem. Assim, os dispositivos de direcionamento, como sarjetas e sarjetões, podem não encaminhar as águas adequadamente para as bocas de lobo, e estas, uma vez obstruídas, têm sua capacidade de engolimento comprometida, não funcionando como projetadas, o que pode causar prejuízos.



Assimile

O sistema de drenagem urbana não funciona de forma adequada se gerenciado isoladamente dos outros componentes da infraestrutura urbana, especialmente de toda a redes subterrânea e, principalmente, do gerenciamento municipal de resíduos sólidos urbanos.

O mal funcionamento dos dispositivos de drenagem que permitem o acúmulo de água também pode ser um problema de saúde pública, já que promove um ambiente favorável ao desenvolvimento de vetores de diversas doenças, por exemplo, a dengue. Verificar a declividade natural do terreno e os caminhos preferenciais de fluxo é fundamental no projeto de drenagem.



Reflita

Lembre-se de que a função da drenagem urbana é coletar as águas evitando o empoçamento duradouro. Caso ocorram empoçamentos recorrentes, é porque o sistema foi mal projetado.

Além disso, um sistema de drenagem mal projetado e mal executado pode acarretar problemas mais graves que aqueles para os quais foram desenvolvidos para resolver. E o risco de erosões pode aumentar com o seu rompimento, o que soma danos ao patrimônio e às vidas humanas.

Segundo Botelho (2006), outros problemas que ocorrem com frequência no sistema de drenagem urbana são:

- Ligação clandestina de efluentes sanitários.
- Ligações clandestinas de despejos industriais.
- Resíduos sólidos.
- Águas de rebaixamento de lençol freático.
- Extravasão de reservatórios de água.
- Descargas de piscinas.

Pesquise mais

O link indicado contém uma notícia que relata os problemas enfrentados pelos moradores de um conjunto habitacional na cidade de Itatinga, SP, devido à falta de drenagem urbana adequada. Diante da situação, os próprios moradores tentaram minimizar o problema construindo valas para facilitar o escoamento da água de chuva.

Disponível em: <http://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2017/01/falta-de-infraestrutura-causa-alagamento-em-conjunto-habitacional.html>. Acesso em: 24 jan. 2017.

Dimensionamento e traçado de sarjetas e sarjetões

A localização dos coletores de modo a evitar que a água invada a rua combina a equação de Manning para a capacidade da sarjeta e a equação racional para a taxa de escoamento superficial. Dados a geometria da rua (informação da seção transversal e da declividade da rua), os critérios de invasão do pavimento (ou altura da sarjeta, dependendo dos limites de profundidade do fluxo no meio-fio) e o coeficiente de rugosidade de Manning, a capacidade da sarjeta é calculada.

Para o cálculo da sarjeta, pode-se utilizar toda a caixa da rua como condutora ou apenas das laterais das sarjetas. Nesse caso, a rua não poderá ser totalmente ocupada pelas águas. A capacidade de transporte das ruas com as águas escoando só pelas laterais das sarjetas é evidentemente inferior ao transporte de água ocupando toda a rua.

Para sarjetas triangulares, a expressão $\left(Q = 0{,}375 \cdot \left(\frac{1}{n \cdot S_x}\right) y_0^{8/3} \cdot S_0^{0,5}\right)$ é apresentada para verificação da capacidade de encaminhamento de água levando em consideração a altura do meio fio, visto que a água não pode transbordar, sendo que:

Q = vazão da sarjeta (m^3/s).

y_0 = altura da lâmina d'água na sarjeta (m).

S_0 = declividade longitudinal da sarjeta.

S_x = declividade transversal da sarjeta.

Usualmente, nas questões práticas de engenharia que envolvem a análise do fluxo em sarjetas, pela altura da lâmina d'água verifica-se se a sarjeta está adequada. Sendo assim, a expressão das sarjetas em função de y_0 é: $y_o = \left(\frac{n \cdot S_x \cdot Q}{0{,}375 \cdot S_0^{8,5}}\right)^{3/8}$.

A expressão para as sarjetas triangulares pode ser relacionada ao espalhamento da água (T), que se relaciona com a altura máxima da lâmina de água da seguinte forma:

$$y_0 = T \cdot S_x$$

$$Q = \frac{0,375}{n} \cdot S_x^{5/3} \cdot S_0^{0,5} \cdot T^{8/3}.$$

Exemplificando

Calcular a vazão de uma sarjeta na seguinte situação:

y_0 = altura da lâmina d'água na sarjeta (m).

$S_0 = 0,005$; $S_x = 0,02$

T = 3,66 m.

n = 0,016.

Cálculo da altura máxima da lâmina d'água:

$y_0 = T \cdot S_x = 366 \times 0,02 = 7,32cm$.

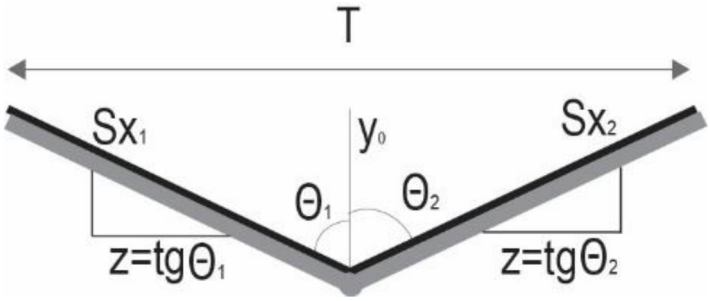
Cálculo da vazão:

$$Q = 0,375 \times \left(\frac{1}{n \times S_x} \right) y_0^{8/3} x S_0^{0,5}$$

$$Q = 0,375 \cdot \left(\frac{1}{0,016 \times 0,02} \right) 0,0732^{8/3} \cdot 0,005^{0,5}\ 0,0777 m^3/S.$$

Para os sarjetões, a Figura 3.7 apresenta um esquema da seção transversal para melhor compreensão do processo de cálculo do seu dimensionamento.

Figura 3.7 | Esquema de sarjetão



Fonte: elaborada pelo autor.

Na expressão de Nicklow (2001), a largura do sarjetão pode ser calculada da seguinte forma:

$$T = \left[\frac{Q \cdot n}{0{,}376 \cdot S_x \cdot S_l} \right]^{0{,}375},$$

em que:

S_x = média das declividades transversais S_{x1} e S_{x2} $\left(S_x = \frac{S_{x1} \cdot S_{x2}}{S_{x1} + S_{x2}} \right)$.

T = largura do sarjetão (m).

Q = vazão de projeto (m^3/s).

n = coeficiente de Manning.

S_l = declividade longitudinal do sarjetão (m/m).

Sem medo de errar

Você foi designado para analisar um pré-projeto de drenagem urbana que será implantado em um trecho da cidade que sofre com problemas de alagamento.

Analise os dados obtidos e sintetizados, apresentados a seguir, e verifique que os fluxos nas sarjetas atendem à recomendação de projeto, como altura máxima da lâmina de água. Determine também o espalhamento máximo permitido.

Os dados coletados são apresentados a seguir:

- Equação da chuva: $i = \frac{502{,}47 \cdot T_r^{0{,}1431}}{(t + 10{,}8)^{0{,}606}}$.
- Altura máxima da lâmina de água das sarjetas: 10 cm.
- Coeficiente de rugosidade de Manning: 0,015.
- Declividade transversal das vias (S_x): 0,03.
- Declividade longitudinal da Avenida 1 (S_0): 0,005.
- Declividade longitudinal da Avenida 1 (S_0): 0,006.
- Demais dados, já calculados, estão apresentados no quadro a seguir.

Tabela 3.2 | Dados da área de análise.

Boca de lobo	Área de contribuição (km^2)	Tempo de concentração (tc, min)	Coeficiente de deflúvio (C)	Intensidade pluviométrica (i, mm/h)	Vazão de projeto (Q, m^3/s)
1	0,000567	6	0,95	114,44	0,01712
2	0,003723	10	0,60	100,55	0,06244
3	0,004856	10	0,50	100,55	0,06787
4	0,005666	9	0,45	103,60	0,07343
6	0,000809	6	0,95	114,44	0,02446
7	0,001214	6	0,95	114,44	0,03669
8	0,005261	14	0,38	90,38	0,05023

Fonte: elaborada pelo autor.

Solução:

Cálculo do espalhamento máximo permitido para as vias:

$$y_0 = T \cdot S_x \therefore T\,\frac{y_0}{S_x} = \therefore T = \frac{0{,}1}{0{,}03} \therefore T = 3{,}33\text{m}.$$

Para verificar se o fluxo nas sarjetas atende ao valor de projeto recomendado (no caso, a altura da lâmina de água deve ser inferior a 10 cm), basta calcular as alturas das lâminas de água para as maiores vazões de cada uma das avenidas através da expressão $y_0 = \left(\frac{n \cdot S_x \cdot Q}{0{,}375 \cdot S_0^{0{,}5}} \right)^{3/8}$. Atendendo às maiores vazões, atenderá a todas as outras. As maiores vazões são de 0,06787 m^3/s e 0,07343 m^3/s para as Avenidas 1 e 2,

respectivamente. As bocas de lobo 3 e 4 são as vazões afluentes.

Para verificação, usando a expressão anterior, o que irá mudar entre as duas situações é a vazão e a declividade longitudinal da via, que é de 0,005 m/m para a Avenida 1 e de 0,006 m/m para a Avenida 2.

Verificação da altura da lâmina de água para a maior vazão da Avenida 1 (y_{o1}):

$$y_{o1} = \left(\frac{0{,}015 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}06787}{0{,}375 \cdot 0{,}005^{0{,}5}} \right)^{3/8} = 0{,}0791\ m \text{ ou } 7{,}91 \text{ cm.}$$

Como $y_{o1} \leq y_o \rightarrow OK!$

Verificação da altura da lâmina de água para a maior vazão da Avenida 1 ( ):

$$y_{o2} = \left(\frac{0{,}015 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}07343}{0{,}375 \cdot 0{,}006^{0{,}5}} \right)^{3/8} = 0{,}0787\ m \text{ ou } 7{,}87 \text{ cm.}$$

Como $y_{o2} \leq y_o \rightarrow OK!$

Como a verificação foi satisfatória para as maiores vazões de cada avenida, todas as outras sarjetas das mesmas avenidas também têm condição de fluxo satisfatório, ou seja, não é necessário fazer alterações nos projetos das sarjetas.

Avançando na prática

Comprimento máximo da sarjeta que permite o fluxo superficial

Descrição da situação-problema

Como engenheiro projetista especializado em drenagem, você foi contratado para dimensionar o sistema de drenagem de uma via urbana vital para o bom funcionamento da cidade. A via em questão possui quatro faixas (duas em cada sentido), cada uma com 3,5 m de largura, declividade transversal de 2% e longitudinal de 0,5%, com pavimento asfáltico n = 0,016. O sistema de drenagem superficial consiste de sarjetas triangulares, que foram dimensionadas para uma intensidade de chuva de 120 mm/h. A legislação local requer que pelo menos uma faixa de cada direção esteja livre do espalhamento de água. Determine o comprimento máximo das sarjetas sem necessidade de coletores, como bocas de lobo.

Resolução da situação-problema

Como a legislação local requer que pelo menos uma faixa em cada sentido esteja livre do espalhamento, então, o espalhamento máximo é a largura de uma faixa em

cada sentido, ou seja, T = 3,50 m.

Para o cálculo da altura da lâmina d'água na sarjeta, temos:

$y_0 = T \cdot S_x \therefore y_0 = 3{,}50 \cdot 0{,}02 \therefore y_0 = 0{,}07$ ou 7,00 cm.

Então, calcula-se a máxima vazão na sarjeta:

$$Q = 0{,}375 \cdot \left(\frac{1}{n \cdot S_x}\right) y_0^{8/3} \cdot S_0^{0{,}5}.$$

$$Q = 0{,}375 \cdot \left(\frac{1}{0{,}016 \cdot 0{,}02}\right) 0{,}07^{8/3} \cdot 0{,}005^{0{,}5} \therefore Q = 0{,}0689 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Agora, calcula-se a área de contribuição necessária para produzir a vazão Q calculada. Para isso, utiliza-se a intensidade pluviométrica, que é de 120 mm/h ($3{,}33 \times 10^{-5}$ m/s).

$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot h}{t}$, como a intensidade pluviométrica (i) é a altura pluviométrica por unidade de tempo:

$$Q = A \,.\, i \rightarrow A = \frac{Q}{i} \therefore A = \frac{0{,}0689}{3{,}33 \cdot 10^{-5}} \therefore A = 2067{,}29\ m^2.$$

Como as duas faixas em cada sentido contribuem para o escoamento na sarjeta, a largura da área de contribuição é de $2 \cdot 3{,}50 = 7{,}00m$ .Então, o comprimento máximo da sarjeta (L) é de: $L = \frac{2067{,}29\ m^2}{7{,}00\ m} \therefore L = 295{,}32$ m.

Portanto, 295,32 m é a distância que promove a máxima vazão, ou seja, é o espaçamento máximo dos coletores, como as bocas de lobo, que serão estudadas na próxima seção.

Faça valer a pena

1. O propósito geral da drenagem urbana e da gestão das águas pluviais é melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas. A drenagem urbana é umas das disciplinas que compõem o saneamento básico. Com base nisso, avalie as afirmações correspondentes aos seus propósitos.

I. Proteção da vida humana.

II. Prevenção de danos às propriedades privadas e públicas.

III. Redução de enchentes.

IV. Tratamento dos efluentes sanitários.

V. Proteção dos corpos hídricos.

São afirmativas corretas:

a) II e V, apenas.

b) III e IV, apenas.

c) I, IV e V, apenas.

d) I, II ,III e V, apenas.

e) I, II, III, IV e V.

2. Em áreas urbanas, as águas pluviais escoam pelas ruas e são coletadas e transportadas pelos dispositivos de microdrenagem até o lançamento final em corpos d'água ou em redes de macrodrenagem.

A opção que contém apenas dispositivos de microdrenagem é:

a) Sarjeta, meio-fio e piscinão.

b) Sarjeta, sarjetão e boca de lobo.

c) Boca de lobo, pôlder e sarjeta.

d) Sarjeta, boca de lobo e dique.

e) Rasgo, sarjeta e lagoa de retenção.

3. Dentre os critérios hidrológicos para projeto dos dispositivos de drenagem estão o tempo de retorno ou recorrência, intensidade da chuva, coeficiente de deflúvio, tempo de concentração da bacia e vazão de projeto.

O período em que uma chuva de projeto é superada pelo menos uma vez é chamado de:

a) Tempo de concentração da bacia.

b) Tempo de entrada no sistema de drenagem.

c) Tempo de retorno.

d) Tempo de percurso da galeria.

e) Tempo de precipitação.

Seção 3.2

Microdrenagem: dimensionamento

Diálogo aberto

Após termos estudado as sarjetas na seção anterior, faremos, agora, a verificação da capacidade de coleta da vazão transportada pelas sarjetas paras as bocas de lobo. Verifique se as quantidades de bocas de lobo são suficientes, sabendo que a boca de lobo padrão adotada pela prefeitura é do tipo de abertura na guia com largura de abertura de 1,0 m.

Os dados coletados são os seguintes:

- Altura máxima da lâmina de água das sarjetas: 10 cm.
- Coeficiente de rugosidade de Manning: 0,015.
- Declividade transversal das vias: 0,03.
- Declividade longitudinal da Avenida 1: 0,005.
- Declividade longitudinal da Avenida 1: 0,006.
- Demais dados, já calculados, estão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 3.3 | Dados da área de análise

Boca de lobo	Área de contribuição (km^2)	Tempo de concentração (tc, min)	Coeficiente de deflúvio (C)	Intensidade pluviométrica (i, mm/h)	Vazão de projeto (Q, m^3/s)
1	0,000567	6	0,95	114,44	0,01712
2	0,003723	10	0,60	100,55	0,06244
3	0,004856	10	0,50	100,55	0,06787
4	0,005666	9	0,45	103,60	0,07343
6	0,000809	6	0,95	114,44	0,02446
7	0,001214	6	0,95	114,44	0,03669
8	0,005261	14	0,38	90,38	0,05023

Fonte: elaborada pelo autor.

Não pode faltar

Continuando o estudo dos dispositivos de microdrenagem urbana, nesta seção, iremos estudar mais profundamente os tipos de bocas de lobo; o dimensionamento de bocas de lobo; os poços de visita e sua alocação; e o dimensionamento das galerias de águas pluviais.

Dimensionamento e capacidade de bocas de lobo

Como já definido na seção anterior, as bocas de lobo são dispositivos localizados em pontos estratégicos, geralmente nas sarjetas, para captação das aguas pluviais.

Segundo Botelho (2006), a capacidade de cada captor se dá em função de sua largura; da existência ou não de rebaixo na sarjeta; da altura da lâmina d'água; da declividade longitudinal da rua; e, principalmente, do grau de limpeza (obstruções) da boca de lobo (BOTELHO, 2006).

Deve-se conferir a capacidade da grelha/boca de lobo de entrada de água pluvial. Se a vazão exceder a capacidade de engolimento da boca de lobo, é preciso adicionar outra entrada (boca de lobo dupla) ou diminuir a distância entre as bocas de lobo, reduzindo a área de drenagem (outra boca de lobo posicionada mais a montante).

Pode-se associar a cada boca de lobo a capacidade de engolimento de 50 L/s e, quando se usa uma boca de lobo acoplada a caixas com grelhas, a capacidade de engolimento é fixada em 80 L/s (BOTELHO, 2006).

Hidraulicamente, a capacidade de engolimento das bocas de lobo de meio-fio podem ser calculadas considerando-as como um vertedor de parede espessa, cuja expressão é:

$$Q = 1{,}71 \cdot L \cdot H^{3/2},$$

em que:

Q = vazão de engolimento da boca de lobo (m^3/s).

L = comprimento da abertura (m).

H = altura da lâmina de água (m) – (0,13 m como sugestão).

Para a boca de lobo de sarjeta, pode ser utilizada a mesma expressão, substituindo-se L por P (em que P é o perímetro da área livre do orifício em metro).

Localização das bocas de lobo

Segundo Azevedo Netto (2015) e Houghtalen, Hwang e Akan (2012) as bocas de lobo devem ser alocadas em:

- Todos os pontos baixos onde a água se acumule e não haja outra saída.
- Ao longo do meio-fio, quando a capacidade da sarjeta é excedida.
- Ao longo do meio-fio, quando a água se espalha pela rua a uma distância capaz de atrapalhar o fluxo ou a segurança do tráfego (critério local para "invasão" do pavimento).
- Ao longo do meio-fio, antes de um cruzamento. Por razões de segurança de trânsito, devem estar a montante do vértice de interseção das sarjetas, para evitar enxurradas convergentes, com prejuízo para o trânsito de pedestres.

Para Gribbin (2014), além de escolher os pontos baixos, outros fatores são importantes, como:

- Nivelamento: posicionamento das bocas de lobo no sentido do fluxo, utilizando-se os meios-fios, sarjetas, sarjetões e modelamento do solo para o encaminhamento do fluxo.
- Espaçamento: devem estar próximas o suficiente para funcionar na capacidade ideal de engolimento e afastadas o suficiente para não encarecer desnecessariamente o sistema. Devem estar espaçadas em torno de 75 m a 100 m quando alinhadas, permitindo acesso aos tubos para inspeção e manutenção.
- Mudança de direção: como os tubos de coletores pluviais devem ser retos, precisam formar ângulos pronunciados (acentuados) em cada mudança de direção. Para prevenir obstrução nos pontos de curva e fornecer acesso aos tubos, são instalados os poços de visita ou bocas de lobo.
- Mudança de declividade ou de diâmetro do tubo: pelas mesmas razões da mudança de direção, bocas de lobo ou poços de visita devem ser colocados

em cada ponto onde houver mudança de declividade ou de diâmetro do tubo.

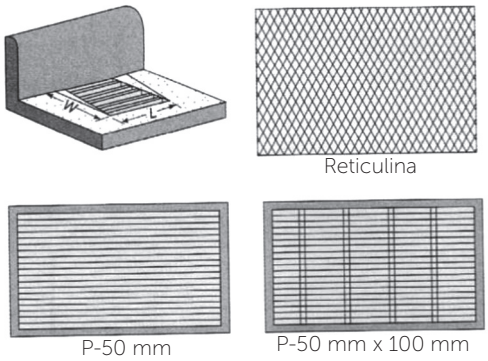
Tipos de bocas de lobo e seus dimensionamentos

Bocas de lobo com grelhas:

As bocas de lobo de drenagem capturam tipicamente o escoamento frontal ( ) com mais eficiência do que o escoamento lateral. No projeto da boca de lobo de drenagem, é aconselhável maximizar a eficiência da grelha da boca de lobo, aumentando a declividade transversal da sarjeta ou aumentando a largura do rebaixamento da sarjeta ou da grelha que se estende para a rua (SHAMMAS et al., 2013).

Bocas de lobo com grelha (Figura 3.8) são mais eficientes que bocas de lobo com abertura na guia quando a rua é nivelada. Para isso, o engenheiro precisa escolher um tipo de grelha adequado para a rua que está sendo projetada, mas as entradas com grelhas têm maior facilidade de entupimento do que outros tipos de bocas de lobo (SHAMMAS et al., 2013).

Figura 3.8 | Bocas de lobo com grelhas



Fonte: Shammas et al. (2013, p. 443).

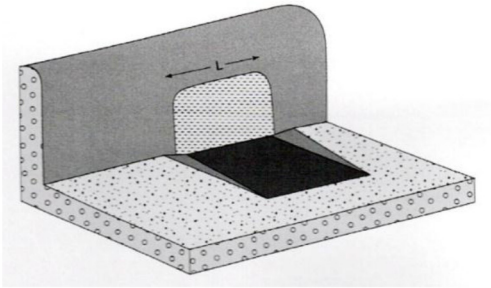
Reflita

As vias urbanas fazem parte da infraestrutura urbana compartilhada pelos diversos modais de mobilidade, como os automóveis, pedestres e ciclistas. Uma pergunta para reflexão: Em uma via com alto tráfego de ciclistas, é prudente instalar bocas de lobo com grelhas longitudinais no sentido da via?

Bocas de lobo com abertura na guia

As bocas de lobo com abertura na guia (Figura 3.9) são aberturas dentro da própria guia e são mais eficientes em áreas onde as bocas de lobo com grelha estariam mais propensas ao entupimento. A eficiência de uma boca de lobo com abertura na guia se baseia na proporção do comprimento real da boca de lobo para que seu comprimento necessário capture 100% do escoamento total. Esse tipo de boca de lobo é corriqueiramente instalado no pavimento, criando uma pequena declividade no local.

Figura 3.9 | Boca de lobo com abertura na guia



Fonte: Shammas et al. (2013, p. 446).

O comprimento da abertura na guia L_T, necessário para interceptar todo a vazão de escoamento Q_i em uma seção da rua com uma declividade transversal uniforme, é definida por:

$$L_T = 0{,}814 \cdot Q^{0{,}42} \cdot S_L^{0{,}3} \cdot \left(\frac{1}{nS_x} \right)^{0{,}6}$$

em que:

S_L = declividade longitudinal da via.

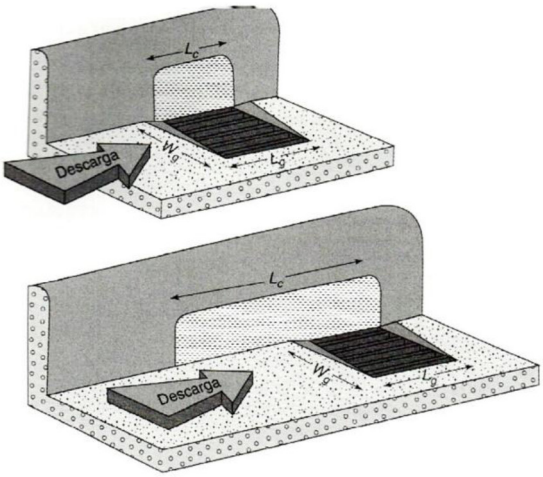
S_x = declividade transversal da via.

n = coeficiente de rugosidade de Manning.

Bocas de lobo combinadas

As bocas de lobo combinadas (Figura 3.10) são a combinação de bocas de lobo com grelhas e de abertura na guia. A boca de lobo com abertura na guia funciona como uma varredura, removendo os detritos do escoamento antes que eles possam obstruir a boca de lobo com grelha.

Figura 3.10 | Bocas de lobo combinadas



Fonte: Shammas et al. (2013, p. 448).

O escoamento total interceptado é calculado pela soma do escoamento interceptado pela porção da abertura na guia localizada a montante da grelha e do escoamento que ultrapassou a abertura na guia a montante, e é interceptado apenas pela grelha.

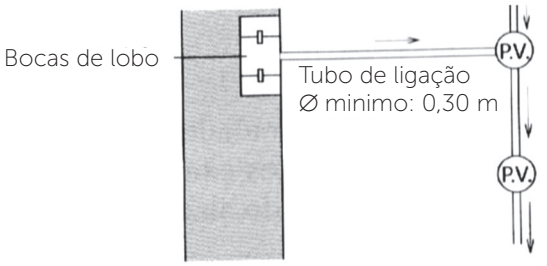
Poços de visita (PV)

Como visto na seção anterior, PV são câmaras que permitem a visita humana, cuja função principal é a de permitir o acesso de pessoas às galerias para a inspeção e desobstrução, além de receber ligações de bocas de lobo. Para otimizar esses objetivos, eles costumam ser alocados nos pontos de reunião dos condutos (BOTELHO, 2006; AZEVEDO NETTO, 2015).

Os poços de visita devem atender às mudanças de direção, de diâmetro e de declividade, à ligação das bocas de lobo, ao entroncamento dos diversos trechos e ao afastamento máximo admissível, que deve ser em média de 100 m para facilitar a inspeção e limpeza, além de ser o ponto inicial das galerias (GRIBBIN, 2014; BOTELHO, 2006).

A água captada em bocas de lobo e/ou outros dispositivos de captação precisa ser conduzida à canalização principal via PV. Normalmente, o diâmetro utilizado é de 300 mm, como apresentado na Figura 3.11.

Figura 3.11 | Esquema da ligação boca de lobo/poços de visita



Fonte: Botelho (2006, p. 76).

Redes de águas pluviais

A rede de drenagem urbana pode ser alocada no eixo das vias ou junto ao meio fio, e tem prioridade na hierarquização da locação da infraestrutura subterrânea devido aos grandes diâmetros das tubulações.

Para o dimensionamento da tubulação para águas pluviais, a análise começa no primeiro coletor (cota mais alta) e segue até o ponto de saída (HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012).

Azevedo Netto (2015) afirma que o "método racional" é utilizado para se definirem as vazões de projeto de cada trecho da galeria. Para isso, o autor pressupõe que:

- A duração da chuva que resulta na vazão máxima é igual ao tempo de concentração.
- A intensidade permanece constante na duração da chuva.
- A permeabilidade da superfície não se altera na duração da chuva.
- O escoamento nas galerias é por meio de conduto livre em regime permanente e uniforme.

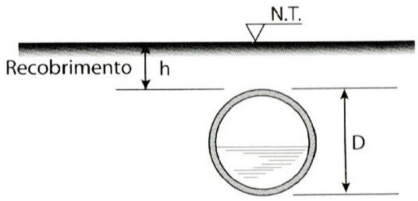
Para os projetos de galerias de águas pluviais, as seguintes condições devem ser atendidas, sabendo-se que é possível que haja variações de local para local:

- O diâmetro mínimo da canalização principal será de DN 300 mm. Para a cidade de São Paulo, o diâmetro mínimo é de 500 mm.

- O recobrimento mínimo de 1,0 m em relação às arestas superiores externas (AZEVEDO NETTO, 2015). Botelho (2006) sugere as seguintes alturas de recobrimento, apresentadas no Quadro 3.1:

Quadro 3.1 | Alturas dos recobrimentos

Tubo	Recobrimento (m)
Concreto Simples	0,6
Concreto Armado:	
DN 700 mm	0,7
DN 800 mm	1
DN 1000 mm	1
DN 1200 mm	1,2
DN 1500 mm	1,5



Fonte: Botelho (2006, p. 76).

- Profundidade máxima de 3,50 m em relação às arestas inferiores externas.
- Sempre que possível, as declividades do tubo se combinam com as declividades sobrejacentes do solo para facilitar a manutenção e minimizar os custos em escavação, reposição, compactação, escoramento de valas e, em alguns casos, o rebaixamento do lençol freático (HOUGHTALEN et al., 2012; BOTELHO, 2006).

Botelho (2006) sugere as seguintes declividades mínimas em relação ao diâmetro da galeria, apresentadas no Quadro 3.2:

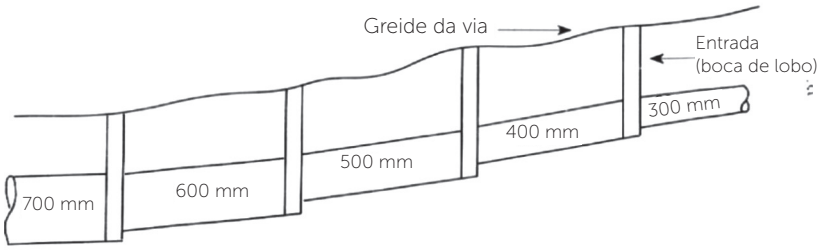
Quadro 3.2 | Declividades mínimas sugeridas

Diâmetro (mm)	Declividade mínima (m/m)
300	0,0030
350	0,0023
400	0,0019
500	0,0014
600	0,0011
700	0,0009
800	0,0007
900	0,0006
1000	0,0005
1200	0,0004

Fonte: Botelho (2006, p. 77).

- A velocidade mínima de escoamento é de 0,75 m/s (evitar a sedimentação), e a velocidade máxima é de 5,0 m/s (AZEVEDO NETTO, 2015).
- Os diâmetros dos tubos nunca são reduzidos a jusante (Figura 3.12), mesmo se as declividades acentuadas oferecerem a capacidade de fluxo ideal (GRIBBIN, 2014).

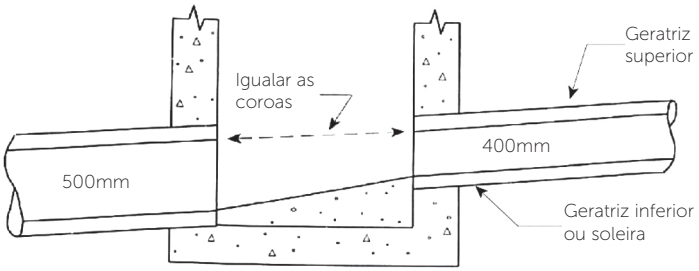
Figura 3.12 | Corte transversal esquemático de uma galeria de águas pluviais



Fonte: Gribbin (2014, p. 254).

- Ao fazer a transição de um tubo de menor diâmetro para outro de maior diâmetro, o alinhamento deve ser feito pela geratriz superior, e não pelas soleiras. Veja um esquema correto na Figura 3.13.

Figura 3.13 | Esquema da transição de diâmetros



Fonte: Gribbin (2014, p. 254).

A equação de Manning é usada para se obter o diâmetro do tubo capaz de transportar a vazão de escoamento sem que esteja totalmente cheio, para que ele não esteja sob pressão. As redes de águas pluviais devem suportar as contribuições locais, bem como os fluxos coletados a montante. O tempo de concentração é calculado usando-se a combinação mais longa do tempo de fluxo do coletor e do tempo de fluxo do tubo até o ponto de projeto (GRIBBIN, 2014).

Dados de entrada para o dimensionamento das galerias de águas pluviais:

- Cotas do terreno de montante CT_M e de jusante CT_J do trecho.
- Comprimento do trecho L (m).
- Declividade do terreno no trecho (m/m): $S = \frac{CT_m - CT_j}{L}$.

Exemplificando

Calcule a declividade do terreno, sabendo que a cota de montante é 823 m e a cota de jusante é 819 m, considerando que o trecho tem extensão de 64 m.

$$S = \frac{CT_m - CT_j}{L} \therefore S = \frac{823 - 819}{64} \therefore S = 0{,}063.$$

- Coeficiente de deflúvio (C) da área contribuinte, podendo ser uma média ponderada de coeficientes de deflúvio no trecho.
- Área de drenagem da área contribuinte.
- Tempo de concentração do ponto a montante dos trechos. Nos demais

trechos, no tempo de concentração será incluído o tempo de escoamento dos trechos anteriores.

- Curva ou equação de chuvas intensas (IDF) para a localidade.
- Cálculo da vazão – "método racional": $Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}$, com Q em m^3/s; i em mm/h e A em km^2.
- Diâmetro da galeria é calculado por meio da fórmula de Manning:

$$D = \left(\frac{3,21 \cdot n \cdot Q}{S^{0,5}} \right)^{3/8},$$

em que:

D = diâmetro (m).

n = coeficiente de rugosidade.

Q = vazão do trecho (m^3/s).

S = declividade (m/m).

- A profundidade dos tubos das galerias é determinada pela soma da altura do cobrimento mais o diâmetro do tubo.



Assimile

Para uma certa vazão calculada, o dimensionamento da tubulação é uma relação entre diâmetro e declividade, com o objetivo de se manter a velocidade do fluxo sempre dentro da faixa determinada.

- Tempo de escoamento na galeria no trecho (te): $t_e = \frac{L}{60 \cdot v_{plena}}$.



Pesquise mais

Para saber mais detalhadamente sobre como dimensionar a rede de drenagem urbana com todos os elementos de cálculo, assista ao vídeo disponível em: <https://youtu.be/_IiBQchOKBw? list=PL2AWvQX4E2wCvl2rZPkELjdInDd5aWVFJ>. Acesso em: 30 jan. 2017.

Sem medo de errar

Após a análise das sarjetas na seção anterior, verifique se as quantidades de bocas de lobo são suficientes, sabendo que a boca de lobo padrão adotada pela prefeitura é do tipo de abertura na guia com largura de abertura de 1,0 m.

Inicialmente, deve-se calcular a vazão máxima de interceptação das bocas de lobo utilizando-se a expressão geral da boca de lobo, $Q = 1{,}71 \cdot L \cdot H^{3/2}$, com abertura de 1 ,0 m e altura da lâmina da água de 10 cm. Conhecendo a vazão máxima das bocas de lobo e comparando-a com as vazões afluentes já calculadas, determina-se se a quantidade de bocas de lobo propostas é suficiente.

Vazão das bocas de lobo: $Q_{BLP} = 1{,}71 \cdot L \cdot H^{3/2}$ 0,053759 m^3/s

Dividindo a vazão de projeto, fornecida no quadro, pela vazão da boca de lobo, chega-se ao número necessário de bocas de lobo nos pontos escolhidos.

Quadro 3.3 | Determinação da quantidade de bocas de lobo

Boca de lobo	Vazão de projeto (Q, m^3/s)	Vazão da boca de lobo padrão (Q_{BLP}), m^3/s)	Número de bocas de lobo necessárias (Q/Q_{BLP})
1	0,01712	0,053759	0,32
2	0,06244	0,053759	1,16
3	0,06787	0,053759	1,26
4	0,07343	0,053759	1,37
6	0,02446	0,053759	0,46
7	0,03669	0,053759	0,68
8	0,05023	0,053759	0,93

Fonte: elaborado pelo autor.

As bocas de lobo BL2, BL3 e BL4 estão subdimensionadas. Como a boca de lobo padrão é única e possui 1 m de largura, nos pontos 2, 3 e 4 deverão ser adotadas bocas de lobo duplas.

Avançando na prática

Problema de dimensionamento do diâmetro e declividade da galeria

Descrição da situação-problema

Você, como engenheiro projetista, especializado em solucionar problemas relacionados à drenagem urbana, é designado a dar continuidade a uma rede de drenagem já existente. O novo trecho terá 65 m de comprimento e transportará uma vazão de 0,5 m^3/s. A declividade para manter a cobertura mínima necessária é de 0,001 m/m. O diâmetro da galeria do trecho anterior é de 600 mm e a faixa de velocidade permitida é de 0,7 m/s a 5,0 m/s. Determine o diâmetro e a declividade correspondentes do novo trecho da galeria. Use n = 0,013.

Resolução da situação-problema

A declividade para atender à cobertura mínima é dada como: $S_{ref\,1} = 0{,}001$.

Assumindo D = 600 mm, que é igual ao diâmetro da galeria a montante, e usando a equação de Manning $D = \left(\frac{3{,}21 \cdot n \cdot Q}{S^{0,5}}\right)^{3/8}$ que explicita a declividade, temos:

$$S_{ref\,2} = \left(\frac{n \cdot Q}{0{,}312 \cdot D^{8/3}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}013 \cdot 0{,}5}{0{,}312 \cdot 0{,}6^{8/3}}\right)^2 = 0{,}00660\ m/m.$$

Para determinar a declividade, $S_{ref\,3}$ necessária para alcançar a velocidade mínima requerida sob condição de seção plena, a equação de Manning fornece:

$V_{min} = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_{ref\,3}^{1/2} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{4}\right) \cdot S_{ref\,3}^{1/2}$. Rearranjando a equação para determinação de $S_{ref\,3}$, temos: $S_{ref\,3} = 6{,}35 \cdot \left(\frac{n \,.\, V_{min}}{D^{2/3}}\right) = 6{,}35 \cdot \left(\frac{0{,}013 \cdot 0{,}7}{0{,}6^{2/3}}\right)^2 = 0{,}00104\ m/m$.

Então, a declividade mínima (So) para um tubo de 600 mm é o maior entre as declividades calculadas, ou seja, So = $S_{ref\,3}$ = 0,00660 m/m.

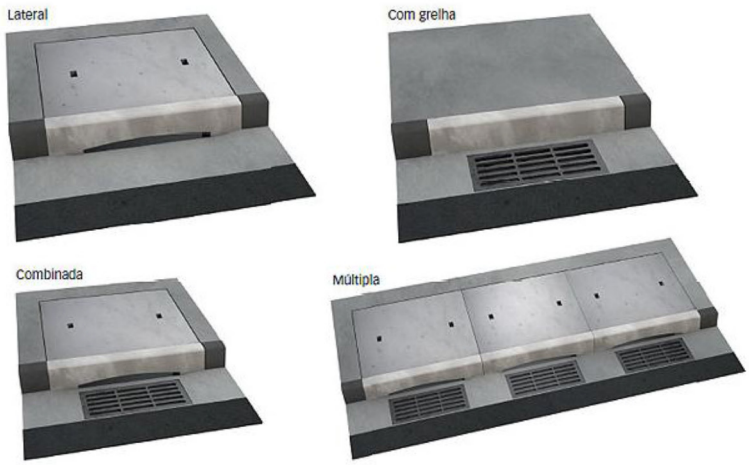
Com a declividade de 0,00660, a velocidade é calculada por:

$V_{plena} = \frac{Q}{A} = \frac{0{,}5}{\frac{\pi}{4} \,.\, 0{,}6^2} = 1{,}77\ m/s$. Sob essas condições de projeto, a velocidade é menor que a velocidade máxima permitida.

Os cálculos mostram que usando-se um diâmetro de 600 mm e declividade de 0,0066 m/m, as exigências de projeto são atendidas. A declividade de 0,0066 m/m é maior que a declividade do terreno de 0,001 m/m, e a cobertura mínima necessária é excedida no final da tubulação.

Faça valer a pena

1. Em um projeto de drenagem urbana, para escolher o tipo de boca de lobo a ser implantada na localidade, é preciso aliar técnica e economia, adotando-se a melhor configuração para a situação. As configurações mais comuns para as bocas de lobo são as com grelhas, as com abertura na guia (lateral) e as bocas de lobo combinadas.



Fonte: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/8/imagens/i300789.jpg>. Acesso em: 30 jan. 2017.

Dessa forma, em relação às bocas de lobo, é correto afirmar que:

a) As bocas de lobo combinadas são as que possuem menor capacidade de interceptação da vazão afluente.

b) As bocas de lobo com abertura na guia são mais eficientes quando instaladas em vias niveladas.

c) Em vias com alto tráfego de ciclistas, não devem ser instaladas bocas de lobo com abertura na guia.

d) As bocas de lobo com grelhas são menos suscetíveis ao entupimento.

e) As bocas de lobo com grelha são mais eficientes em ruas niveladas.

2. Os poços de visita (PV) são câmaras, e são adotados em projetos de drenagem urbana que permitem a visita humana, cuja função principal é permitir o acesso de pessoas às galerias para a inspeção e desobstrução, além de receber ligações de bocas de lobo. Sobre a localização dos poços de visita, afirma-se:

I. Não devem ser alocados em cruzamentos de vias.

II. Devem ser instalados sempre que houver mudança de diâmetro da tubulação.

III. Devem ser instalados a montante da rede, no seu ponto inicial.

IV. São dispensados em locais com apenas mudança de declividade.

É correto o que se afirma em:

a) I e IV, apenas.

b) I, II e IV, apenas.

c) II, III e IV, apenas.

d) II e III, apenas.

e) II e IV, apenas.

3. As galerias de águas pluviais ou rede de drenagem urbana são responsáveis por transportar as águas pluviais coletadas nos dispositivos superficiais, como as bocas de lobo. Para o dimensionamento da rede, é utilizado o método racional. Para isso, pressupõe-se que:

I. A intensidade da chuva não permanece constante.

II. O escoamento nas galerias é em conduto livre em regime permanente e uniforme.

III. A duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia, resultando na vazão máxima.

IV. A permeabilidade da superfície se mantém constante durante a chuva.

São afirmativas corretas:

a) I, II e IV, apenas.

b) I, III e IV, apenas.

c) II, III e IV, apenas.

d) I e IV, apenas.

e) I, II, III e IV.

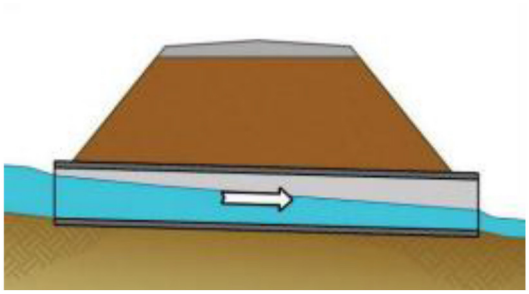
Seção 3.3

Macrodrenagem: conceitos gerais

Diálogo aberto

Depois de coletadas e transportadas, as águas pluviais são lançadas em um curso d'água que tem fluxo de 3,00 m^3/s e declividade de 0,30%. A vazão acrescida do sistema de microdrenagem é de 0,33 m^3/s. Pretende-se construir uma passagem de veículos no curso d'água. Para isso, foi proposto um sistema de bueiros duplos, cada um com 1,00 m de diâmetro, que será instalado em um aterro com altura de 4,00 m.

Figura 3.14 | Bueiro tipo canal livre



Fonte: Tomaz (2015, p. 7-1).

Verifique se o sistema com dois bueiros de 1,00 m de diâmetro é suficiente para a vazão afluente, sabendo que o bueiro deve funcionar como canal livre. O coeficiente de rugosidade de Manning é 0,015.

Não pode faltar

A macrodrenagem consiste nas intervenções em fundos de vales que coletam águas pluviais de áreas providas de microdrenagem ou não. A macrodrenagem busca evitar as enchentes devido à bacia urbana, isto é, por meio da construção de canais, revestidos ou não, com maior capacidade de transporte que o canal natural e também por meio de reservatórios de amortecimento de ondas de cheias (TUCCI, 2012).

Critério de projetos

Para as obras de macrodrenagem, a canalização projetada deve ser capaz de conduzir a chuva de projeto, que deve considerar a ocupação futura da bacia, um período de retorno de 100 anos e duração da chuva de 24 horas nos cálculos hidrológicos, que devem ser realizados utilizando-se o hidrograma e modelos de simulação matemática. Por carência de dados, normalmente são adotados modelos matemáticos tipo chuva x vazão para a definição dos hidrogramas de projeto (TUCCI, 2012; CANHOLI, 2015).

Para Canholi (2015), os principais dados necessários para a elaboração de estudos de drenagem compreendem as características hidráulicas e geomorfológicas da bacia, as condições de impermeabilização local, os tempos de concentração e as precipitações de projeto. Para os dados pluviométricos devem ser utilizados, onde for disponível, as relações I-D-F (intensidade – duração - frequência).

Dispositivos

Canais: são estruturas hidráulicas que possuem o objetivo de conduzir as águas de forma a compatibilizar as necessidades com os volumes disponíveis no tempo e no espaço. No caso da macrodrenagem, incluem-se os cursos d'agua nos canais, revestidos artificialmente ou não. Os canais podem ser não revestidos, como no caso de cursos d'água naturais, ou revestidos com solos, gramados, rochas, concreto e gabiões. Os canais podem ainda funcionar como um dispositivo de armazenamento, atrasando a onda de cheia.

Pesquise mais

Um túnel para transporte de veículos em Kuala Lumpur, Singapura, funciona, em caso de possibilidade de enchentes, como uma grande galeria de águas pluviais. De acordo com a intensidade da chuva, trechos do túnel são disponibilizados para o transporte da enxurrada.

Disponível em: <http://impeller.xyleminc.com/pt-br/smart-uma-solucao-inteligente-para-as-aguas-pluviais/>. Acesso em: 4 fev. 2017.

Reservatórios: podem ser diferenciados entre bacias de retenção e bacias de detenção e, em alguns casos, em bacias de sedimentação. A utilização de reservatórios, popularmente conhecidos como piscinões, deve levar em conta a fundamental importância paisagística e de lazer, especialmente no que diz respeito à aceitação dessas obras pelas comunidades (CANHOLI, 2015).

Bacias de detenção: são medidas estruturais que visam o armazenamento de água de curtos períodos, reduzindo as vazões de pico dos hidrogramas de cheia e aumentando o tempo de base desses hidrogramas. Esses reservatórios não reduzem o volume de escoamento direto, mas redistribuem as vazões ao longo do tempo. Eles são totalmente drenados em menos de um dia, e têm o objetivo de reduzir problemas de inundações localizadas; reduzir os custos de um sistema de galerias de drenagem (redução das dimensões das galerias); melhorar a qualidade da água; aumentar o tempo de resposta do escoamento superficial; melhorar as condições para reuso da água e recarga dos aquíferos; e reduzir as vazões máximas de inundação a jusante.

Bacias de retenção: são reservatórios superficiais que armazenam um certo volume de água permanentemente para servir a finalidades recreacionais, paisagísticas ou até para abastecimento de água (CANHOLI, 2015). Podem ser, também, pequenos reservatórios com vegetação ao longo do perímetro (*wetland*). Têm grande valor paisagístico, e são incorporados ao lazer da comunidade onde estão inseridos. Os reservatórios de detenção podem ser usados para melhorar a qualidade da água, projetados para remover poluentes das águas pluviais por meio de processos de tratamento físico (sedimentação), químico (floculação química, em casos específicos) e biológico (filtração através da vegetação), podendo remover de 70 a 90% dos sólidos suspensos no afluente do reservatório (WURBS; JAMES, 2002).



Reflita

A principal função dos reservatórios é reter/deter um certo volume de água para atrasar a onda de cheia a jusante, mas se o reservatório de retenção estiver sempre na cota máxima no período seco, o que ocorre no caso de uma chuva intensa?

Bacias de sedimentação: são reservatórios com função principal de reter sólidos em suspensão ou absorver poluentes carregados pelas águas pluviais drenadas (CANHOLI, 2015).

Pôlders: são sistemas compostos por diques de proteção, redes de drenagem e sistema de bombeamento, que visam a proteger áreas ribeirinhas ou litorâneas que se situam em cotas inferiores às dos níveis d'água durante os períodos de enchentes ou marés (CANHOLI, 2015).

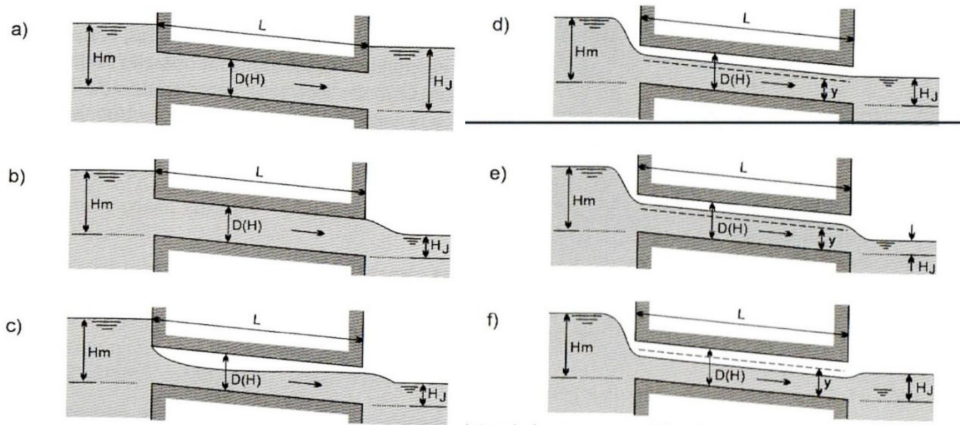
Bueiros: são estruturas hidráulicas, construídas nos pontos baixos dos vales, com o objetivo de permitir a passagem das águas dos talvegues sob as obras de terraplenagem. Os bueiros serão tratados mais especificamente no item a seguir.

Drenagem de talvegues – bueiros

Como definido anteriormente, os bueiros são estruturas hidráulicas com o objetivo de permitir a transposição de cursos d'agua sob as obras de terraplenagem.

São condutos simples, em geral retilíneos e com curta extensão, compostos por: boca de entrada, a montante; pelo corpo da obra; e, a jusante, pela boca de saída. Têm três funcionamentos hidráulicos (Figura 3.15) distintos, como: canal (escoamento livre), como orifício (carga hidráulica a montante) e conduto forçado (submergência das duas extremidades).

Figura 3.15 | Condições de funcionamento hidráulico dos bueiros: (a) como conduto forçado; (b) e (c) como orifício; (d), (e) e (f) como canal



Fonte: Baptista e Coelho (2010, p. 359).

Quanto à forma, os bueiros podem ser tubulares (seções circulares) ou celulares (seção transversal retangular ou quadrada) (BAPTISTA; COELHO, 2010).

O dimensionamento de obras novas é realizado considerando-se a hipótese de funcionamento do bueiro como canal, ou seja, sem admitir-se carga hidráulica a montante, sendo aceitável uma pequena carga hidráulica, limitada a 20% da dimensão vertical da obra. As velocidades dos escoamentos são limitadas a 4,5 m/s para bueiros em concreto e 6,0 m/s para bueiros em material metálico. A condição de não formação se carga hidráulica a montante, indicando que a vazão afluente é igual ou inferior à vazão admissível na obra, é verificada usualmente para profundidades a montante (H_m) até 20% superior à dimensão vertical do bueiro (D ou H) (BAPTISTA; COELHO, 2010).

O primeiro passo para o dimensionamento do bueiro é determinar o regime de funcionamento, que é feito por meio da comparação da declividade de assentamento do bueiro com a declividade crítica (S_C), calculada para bueiros tubulares por $\left(S_C = 32{,}82 \cdot \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}}\right)$; e, para bueiros celulares, por meio de $\left(S_C = \frac{2{,}6 \cdot n^2}{\sqrt[3]{H}} \cdot \left(3 + \frac{4 \cdot H}{B}\right)^{4/3}\right)$. O regime é subcrítico quando a declividade de implantação for inferior à crítica e, para declividades superiores à crítica, o funcionamento se dará no regime supercrítico.

Para o dimensionamento subcrítico (escoamento uniforme), incluindo a folga de 20%, a vazão admissível (Q_{adm}) e a velocidade do fluxo *(V)*, para bueiros tubulares, são calculadas por: $\left(Q_{adm} = \frac{0{,}305}{n} \cdot D^{8/3} \cdot S^{1/2}\right)$ e $\left(V_{adm} = \frac{0{,}452}{n} \cdot D^{2/3} \cdot S^{1/2}\right)$.

Para os bueiros celulares, as expressões são: $\left(Q_{adm} = \left[\frac{(0{,}8 \cdot B \cdot H)^5}{(B + 1{,}6 \cdot H)^2}\right]^{1/3} \cdot \frac{S^{1/2}}{n}\right)$ e $\left(V = \frac{Q_{adm}}{0{,}8 \cdot B \cdot H}\right)$.

No dimensionamento para o regime supercrítico, deve-se limitar a vazão admissível à vazão correspondente ao regime crítico, com altura característica da energia específica igual ao seu diâmetro ou altura. Sendo assim, as expressões para os bueiros tubulares são: $(Q_{adm} = 1{,}533 \cdot D^{5/2})$ e $(V = 2{,}56 \cdot \sqrt{D})$.

Para os bueiros celulares, as expressões são:

$(Q_{adm} = 1{,}705 \cdot B \cdot H^{3/2})$ e $(V = 2{,}56 \cdot \sqrt{H})$.

Para todas as expressões,

D = diâmetro dos bueiros, em metros.

B = base e H a altura dos bueiros celulares, também em metros.

n = coeficiente de rugosidade de Manning.

A vazão (Q) é dada em m^3/s; a velocidade (V), em m/s; e as declividades (S), em m/m.

No caso de associações de bueiros duplos, triplos etc., adota-se uma redução da capacidade de vazão de 5% para cada acréscimo.

Exemplificando

Exemplo: dois bueiros de 1,0 m estão alinhados e a vazão admissível calculada para um bueiro é de 1,1 m^3/s. Qual será a vazão de projeto para os dois bueiros?

Considerando-se a redução de 5% por bueiro alinhado, tem-se:

$Q_{adm} = 2 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}10 = 2{,}090\ m^3/s$.

Drenagem de talvagues - vãos livres de pontes

As pontes são estruturas de obras de arte especiais destinadas à transposição de cursos d'água de porte mais significativo, que não poderiam ser vencidas por outras estruturas, como os bueiros, por exemplo.

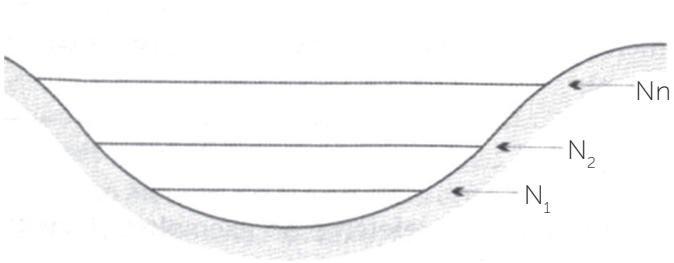
Neste texto, será abordada a análise hidráulica referente à definição da seção de vazão necessária à transposição adequada de curso d'água, considerando-se o escoamento como sendo uniforme.

Segundo Baptista e Coelho (2010), para a análise hidráulica das pontes, se fazem necessários estudos hidrológicos para determinação da vazão afluente a ser considerada no projeto, além de levantamentos topográficos e batimétricos do local para determinação da declividade e das características geométricas da seção de cálculo; e também a caracterização geotécnica do local da obra. Além disso, é importante determinar, através de inspeção de campo, a rugosidade do local.

Para o cálculo do vão da ponte, é necessária a determinação em campo da cota máxima já atingida pelo nível d'água (NA) no local da obra. Essa cota é chamada de máxima cheia de vestígio (MCV).

Com os dados de campo já determinados, aplica-se a equação de Manning, agrupando-se as variáveis hidráulicas e geométricas: $\left(\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} = A \cdot R_h^{2/3}\right)$. Todas as variáveis do lado esquerdo da equação são conhecidas previamente, assim como a seção do curso d'água. A determinação da área (A) e do perímetro molhado, necessário para determinação do R_h da seção é feito para cada nível d'água, conforme Figuras 3.16 e 3.17:

Figura 3.16 | Esquema de estudo hidráulico de uma ponte



Fonte: Baptista e Coelho (2010, p. 353).

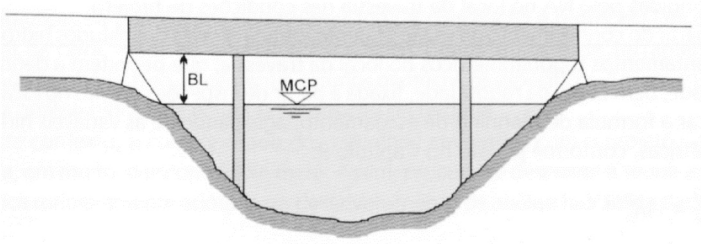
Com isso, são calculados os produtos ($A \cdot R_h^{2/3}$) para diferentes níveis. É também traçado o gráfico auxiliar de cálculo.

Assimile

Gráficos auxiliares são valores padronizados em tabelas e gráficos que são calculados a partir dos dados geométricos da seção para auxiliar nos cálculos, reduzindo-se os cálculos interativos necessários para o dimensionamento dos tamanhos dos canais.

E com o valor conhecido da velocidade, determina-se o nível atingido pelo NA para a máxima cheia de cálculo (MCC). Os valores determinados de MCV e MCC devem ser analisados e confrontados a fim de se determinar a cota de máxima cheia de projeto (MCP). Assim, determina-se a cota correspondente à face inferior da longarina da ponte. Para a cota da longarina, deve ser considerado o valor da borda livre (BL) ou folga, que é função do grau de segurança desejado. Porém, usualmente, adota-se 2 m, em função da possibilidade de transporte de materiais pelos cursos d'água passíveis de ficarem retidos na estrutura.

Figura 3.17 | Perfil longitudinal esquemático de uma ponte



Fonte: Baptista e Coelho (2010, p. 354).

Problemas comuns em sistemas de macrodrenagem

Em muitos casos, a aceleração dos escoamentos resultante das canalizações convencionais dos sistemas de drenagem tornam-se mais deletéria quanto ao potencial de provocar inundações do que a própria impermeabilização da bacia (CANHOLI, 2015). A implantação de sistemas de drenagem, que normalmente consideram velocidades elevadas para o escoamento nos condutos, provoca grande aumento nas vazões drenadas. Em contraposição, se a drenagem fosse realizada de forma a manter-se em condições próximas às naturais, o impacto da impermeabilização seria bem menor.



Vocabulário

Deletéria: prejudicial, nociva.

Gabião: sistema de contenção formado por caixas ou sacos metálicos, preenchidos com pedregulhos. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/108/artigo287069-1.aspx>. Acesso em: 9 fev. 2017.

Para Canholi (2015), as seguintes recomendações devem ser seguidas para melhor desempenho do sistema de macrodrenagem:

- Manutenção, tanto quanto possível, do traçado natural do córrego original, fixando-se as curvas e eventuais alargamentos existentes. Caso se necessite majorar a capacidade de vazão, pode-se promover a ampliação das calhas.
- Redução das declividades a partir da introdução de degraus ou a manutenção das declividades naturais.
- Adoção de revestimento naturais, sempre que possível, como vegetação e grama, desde que compatíveis com as velocidades que se pretenda manter.
- Inserção de patamares (seções mistas) na seção hidráulica, mantendo as vazões mais frequentes contidas no leito menor. No leito maior, devem ser previstos parques e áreas de lazer, implantando-se vegetação arbustiva e gramados.

Além disso, outro problema comum que ocorre nas bacias de detenção é a ligação clandestina de esgoto. Os reservatórios se tornam lagoas de esgoto, proliferando vetores, exalando mau cheiro, degradando a vizinhança. Os reservatórios de retenção têm que permanecer vazios para cumprir sua principal função, que é a de reter a onda de cheia. Os reservatórios de detenção também têm que permanecer com o nível de água máximo para o qual foi projetado. Caso contrário, não amortecerá a chuva.

Sem medo de errar

Sabendo que o bueiro deve funcionar como canal livre, temos a verificação da condição de funcionamento hidráulico:

$$S_C = 32{,}82 \cdot \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} = 32{,}82 \cdot \frac{0{,}015^2}{\sqrt[3]{1}} = 0{,}00738 \text{ ou } 0{,}74\% .$$

S(0,30%) **<** S_c (0,74%). OK! Então, o canal está no funcionamento subcrítico.

Cálculo da vazão admissível:

$$Q_{adm} = \frac{0{,}305}{n} \cdot D^{8/3} \cdot S^{1/2} = \frac{0{,}305}{0{,}015} \cdot 1^{8/3} \cdot 0{,}003^{1/2} = 1{,}114 \text{ m}^3/\text{s} .$$

Bueiro duplo, redução de 5%: $Q_{adm} = 2 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}114 = 2{,}116 \text{ m}^3/\text{s}$.

A vazão afluente é a soma da vazão do córrego e da vazão adicional do sistema de microdrenagem: $Q_{afl} = 3 + 0{,}33 = 3{,}33 \text{ m}^3/\text{s}$.

Como Q_{afl} = (3,33 m³/s) **>** Q_{adm} (2,116 m³/s), a estrutura proposta não é suficiente para essa vazão. Portanto, aumenta-se o diâmetro para 1,20 m e faz-se as verificações.

Verificação da condição de funcionamento hidráulico:

$$S_C = 32{,}82 \cdot \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} = 32{,}82 \cdot \frac{0{,}015^2}{\sqrt[3]{1{,}20}} = 0{,}00694 \text{ ou } 0{,}69\%.$$

S(0,30%) < S_c (0,69%). OK! Então, o canal está no funcionamento subcrítico.

Cálculo da vazão admissível:

$$Q_{adm} = \frac{0{,}305}{n} \cdot D^{8/3} \cdot S^{1/2} = \frac{0{,}305}{0{,}015} \cdot 1{,}20^{8/3} \cdot 0{,}003^{1/2} = 1{,}811 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Bueiro duplo, redução de 5%: $Q_{adm} = 2 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}811 = 3{,}441 \text{ m}^3/\text{s}$.

Como Q_{afl}(3,33 m³/s) **<** Q_{adm}(3,441 m³/s), a estrutura proposta, contendo dois bueiros, com diâmetros de 1,20 m feitos em concreto, é suficiente para essa vazão afluente.

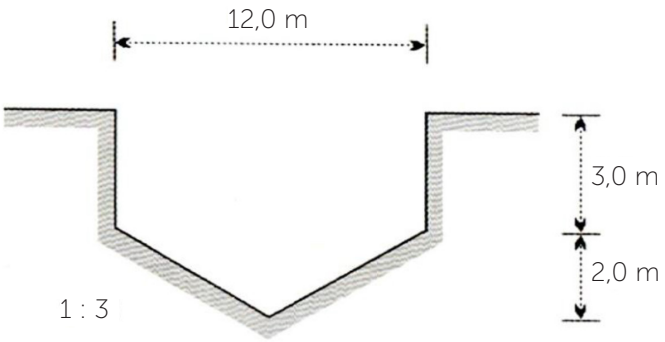
Avançando na prática

Dimensionamento de vão de ponte

Descrição da situação-problema

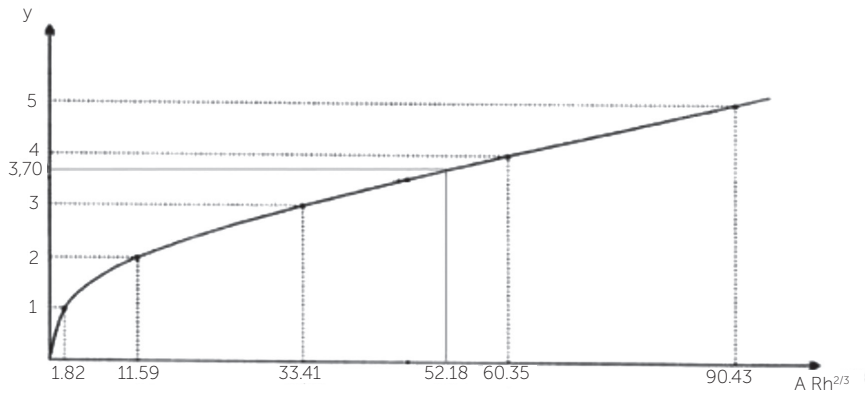
Você, como engenheiro, precisa avaliar a qual altura pode-se construir uma ponte sobre um canal retificado e revestido com placas de concreto (n = 0,015), com seção transversal composta, conforme a Figura 3.18. O canal tem 12 m de largura e altura total de 5 m. A vazão máxima do fluxo é de 110 m^3/s e declividade local de 0,001 m/m. O projeto exige uma borda livre mínima de 1,00 m. Determine a cota com a qual a ponte pode ser construída. Utilize o gráfico auxiliar fornecido.

Figura 3.18 | Seção transversal do canal



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 3.19 | Gráfico auxiliar



Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

Utiliza-se o gráfico auxiliar para determinação da lâmina d'água. Para isso, é necessário calcular $\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}}$:

$$\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} = \frac{110 \cdot 0{,}015}{0{,}001^{1/2}} = 52{,}18$$

Entrando no gráfico com o valor de 52,18, encontra-se a lâmina d'agua correspondente de 3,70 m, sendo esse o valor de MCP.

Como o canal tem 5,00 m de profundidade total, a viga pode ser posicionada na cota correspondente ao topo do canal e garantir a borda livre mínima de 1,00 m, exigida no projeto.

BL = 5,0 m – 3,70 m = 1,3 0m **>** 1,00 m. OK!

Faça valer a pena

1. Juntamente com a microdrenagem, a macrodrenagem compõe a gestão de águas pluviais urbanas. A microdrenagem é a responsável pela primeira coleta e encaminhamento das águas pluviais em pequenas e médias bacias urbanas.

Sobre a microdrenagem e a macrodrenagem, é correto afirmar:

a) A microdrenagem trata de eventos com precipitações pequenas, enquanto a macrodrenagem trata de grandes precipitações.

b) A microdrenagem tem a função primordial de evitar enchentes.

c) A macrodrenagem consiste nas intervenções em fundos de vales que coletam águas pluviais de áreas providas de microdrenagem ou não.

d) O período de retorno mais adotado em obras de macrodrenagem é de 10 anos.

e) Canais, bacias de sedimentação e bocas de lobo são dispositivos da macrodrenagem.

2. Com relação aos dispositivos pertencentes à macrodrenagem, analise as afirmações a seguir:

I. Os canais, além da função de transporte, podem servir como dispositivo de amortecimento da onda de cheia.

II. Entende-se por canais os condutos construídos artificialmente, apenas, e revestidos para melhor conduzir o fluxo de montante a jusante.

III. Os pôlders são sistemas que têm a função principal de proteção de áreas ribeirinhas e costeiras.

IV. A principal função dos reservatórios de retenção é a de armazenar água para futuro abastecimento com fins potáveis.

É correto o que se afirma em:

a) I e IV, apenas.

b) II e IV, apenas.

c) I e III, apenas.

d) I, II e III, apenas.

e) I, II, III e IV.

3. Os reservatórios são unidades hidráulicas de acumulação e passagem de água instalados em pontos estratégicos para atender a objetivos diversos. Sobre os reservatórios de amortecimento de enxurradas, analise as afirmações a seguir:

I. Os reservatórios são obras de engenharia com função fundamental na gestão de águas pluviais. Sendo assim, a implantação deve ser somente técnica.

II. Os reservatórios (ou bacias) de detenção têm função de armazenamento de curto período, reduzindo a vazão de pico dos hidrogramas de cheia.

III. Os reservatórios de retenção e sedimentação têm a função de sedimentar partículas sólidas, melhorando a qualidade da água a jusante. Ambos devem ser drenados por completo em menos de um dia.

IV. Os reservatórios de retenção têm como vantagem, em relação aos reservatórios de detenção, a melhor qualidade de água disposta à jusante, e a melhor integração ao meio urbano.

V. Os reservatórios de retenção devem ser mantidos secos entre precipitações. Caso contrário, não terão função de amortecer os picos de vazão.

Sobre as afirmações dadas, é correto o que se afirma em:

a) II, IV e V, apenas.

b) I, II e V, apenas.

c) IV e V, apenas.

d) II, III e IV, apenas.

e) I, II, III, IV e V.

Referências

AZEVEDO NETTO, José M. de. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia M. Lara Pinto. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2010.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva**: engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

CANHOLI, Aluísio. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CRUZ, Tiago. **Águas pluviais dimensionamento**: planilha atualizada.. 2015. Disponível em: <https://youtu.be/_IiBQchOKBw?list=PL2AWvQX4E2wCvl2rZPkELjdInDd5aWVFJ>. Acesso em: 30 jan. 2017.

G1 Bauru e Marilia. Falta de infraestrutura causa alagamento em conjunto habitacional. **G1**, 4 jan. 2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2017/01/falta-de-infraestrutura-causa-alagamento-em-conjunto-habitacional.html>. Acesso em: 24 jan. 2017.

GRIBBIN, John E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

HOUGHTALEN, Robert J.; HWANG, NHC; AKAN, A. O. **Engenharia hidráulica**. 4. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

IMPELLER. **SMART, uma solução inteligente para as águas pluviais**. 29 ago. 2012. Disponível em: <http://impeller.xyleminc.com/pt-br/smart-uma-solucao-inteligente-para-as-aguas-pluviais/>. Acesso em: 4 fev. 2017.

NICKLOW, JOHN W. Design of stormwater inlets. In: MAYS, Larry W. **Stormwater collection systems design handbook.** New York: McGraw-Hill Professional, 2001.

SHAMMAS, N. K. et al. **Abastecimento de água e remoção de resíduos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TOMAZ, P. Bueiros ou travessias. In: ____. **Curso de manejo de águas pluviais**. [s.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/bueiros_travessia/capitulo_07_Bueiros_ou_travessias.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2017.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

WURBS, Ralph Allen; JAMES, Wesley P. **Water resources engineering**. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

Técnicas compensatórias em drenagem urbana

Convite ao estudo

Olá, aluno! Seja bem-vindo!

Embasados no conhecimento prévio adquirido no tema de hidrologia, micro e macrodrenagem, nesta unidade estudaremos a aplicação da drenagem no meio como um todo, incluindo os sistemas estruturais e não estruturais. Ao final desta você estará apto a elaborar um relatório com a solução de redimensionamento de canal, e de outras soluções estruturais cabíveis e não estruturais.

O estudo da drenagem urbana é abrangente, mas, pensando em uma situação comum da realidade, imagine você trabalhando em uma incorporadora que lançará um grande loteamento. Um empreendimento como esse exige um estudo profundo dos impactos ambientais e urbanos. Você ficou responsável por preparar um relatório, importante na legalização do loteamento, com todo o levantamento do sistema de drenagem urbana existente para estimar quais serão as estruturas que deverão ser redimensionadas ou recuperadas e quais são as obras estruturais e não estruturais que deverão ser executadas.

Esta unidade está dividida em três seções. Na Seção 4.1 serão abordados os temas referentes à estabilidade de taludes, à restauração de canais naturais, ao controle do processo de erosão e ao assoreamento de canais, à retificação e renaturalização de canais, além das formas de controle do escoamento na fonte.

Na Seção 4.2, abordaremos a retificação e o consequente aumento da capacidade de hidráulica dos canais e as medidas de retenção e detenção de águas pluviais para amortecimento das ondas de cheia, captação e detritos e a melhoria na qualidade da água.

Já na Seção 4.3, serão abordadas as medidas não estruturais em drenagem urbana, como o controle de ocupação urbana, o sistema de alerta e seguros, os sistemas de educação ambiental e a integração do plano diretor de drenagem urbana com os outros planos diretores municipais.

Seção 4.1

Técnicas compensatórias em drenagem urbana: conceitos gerais e introdução às medidas estruturais

Diálogo aberto

Você, como engenheiro projetista responsável pela legalização de um novo loteamento, é informado pelo poder público municipal que, para ter a obra autorizada será necessário adotar medidas sustentáveis de gestão das águas pluviais, desonerando a infraestrutura pública local. O ambiente no qual o loteamento será inserido é rodeado por córregos e rios que sofrem com processos erosivos e transbordamento das calhas em períodos de cheias.

Proponha medidas de controle de escoamento na fonte para que o loteamento atenda às exigências municipais e o mínimo do escoamento superficial seja lançado na rede pública de drenagem.

Não pode faltar

1. Estabilidade de taludes e de restaurações de canais naturais

O propósito fundamental da estabilização e proteção de margens, sob o ponto de vista hidráulico, é manter a seção do curso d'água estável e dentro dos limites estabelecidos para sua utilização, seja como via de navegação, componente de um sistema de drenagem, aproveitamento hidrelétrico ou abastecimento de água (BRIGHETTI; MARTINS, 2001).

Segundo Brighetti e Martins (2001), os principais objetivos da estabilização dos taludes e margens são:

- Evitar a erosão das margens com perda de material e dados aos terrenos adjacentes;

- Melhorar o alinhamento do fluxo, manter a forma da seção transversal;
- Contribuir com a estabilidade geotécnica;
- Contribuir com a manutenção, aspectos visuais e paisagísticos, limpeza etc.

A ação hidráulica sobre as margens ocorre na forma de correntes, que arrastam o material constituinte, e na forma de ondas, provocadas pelo próprio escoamento, vento, pela operação de estruturas hidráulicas ou pelo movimento das embarcações.

As formas de proteção usualmente empregadas contra a ação hidráulica são classificadas em dois grupos, os **revestimentos** ou proteções diretas ou contínuas e os **diques** e **espigões**, também considerados como proteções indiretas ou descontínuas (BRIGHETTI; MARTINS, 2001).

As proteções diretas ou contínuas são normalmente apoiadas ou executadas diretamente no talude das margens e consistem na redução do ângulo de talude, do revestimento das margens com pedregulhos, cascalhos, pedras britadas, vegetação, revestimento asfáltico, enrocamento com pedras lançadas, gabiões, cortinas contínuas e muros. Elas têm a vantagem de não necessitar da diminuição da área hidráulica do rio; são normalmente mais eficientes e garantem a fixação definitiva das margens. No entanto, apresentam a desvantagem de necessitar de uma construção mais complicada e precisa, podendo encarecer a obra, além de manutenção cuidadosa para não pôr em perigo toda proteção.

As proteções indiretas ou descontínuas são obras construídas a uma certa distância da margem para desviar as correntes e provocar a decantação de material sólido transportado pela água, sendo constituídas de espigões e diques de proteção. Têm como vantagem serem normalmente mais econômicas, os custos da manutenção diminuem no tempo, a destruição em um trecho da obra não põe em perigo todo o resto, podem ser construídas por etapas e a retenção de sedimentos proporciona uma proteção adicional. E suas desvantagens são a menor eficiência e menor garantia da proteção, diminuição da área hidráulica do rio, aumento da rugosidade das margens, produção de perdas de carga adicionais, não são aconselhadas para raios hidráulicos menores ou iguais a duas vezes a largura do curso d'água e podem não fixar a margem entre elas (BRIGHETTI; MARTINS, 2001).

Controle do processo de erosão e assoreamento em canais

A erosão das margens e o transporte de sedimentos podem causar o assoreamento nos canais. As ações erosivas das correntes consideram as forças erosivas críticas sobre o material constituinte do leito e das margens. Se a força erosiva atuante for superior à erosiva crítica ou ao limite do material, ocorrerá a erosão. Segundo Brighetti e Martins (2001), os recuos das margens ocorrem quando há a erosão do pé do talude,

provocando seu solapamento, o que pode provocar o assoreamento nos canais, dependendo do grau da erosão e da geometria do canal.

As águas dos rios e canais transportam sólidos, desde muito finos até granulares. Os sólidos que os rios transportam seguem apenas um sentido, o da gravidade, e não retornam, naturalmente, às cabeceiras das bacias ou das partes superiores dos leitos (VIDE, 2016).

O transporte de sedimento por um rio pode ser classificado segundo o critério do método de transporte, que pode ser em suspensão ou pelo fundo (rodando ou saltando), e de acordo com o método da origem do material, que é a bacia hidrográfica. O transporte total de sedimentos é a soma dos sedimentos transportados por arraste e os transportados em suspensão.

A tensão de arraste corresponde à tensão de cisalhamento exercida pela água em escoamento junto ao leito e às margens do curso d'água. Na hipótese de escoamento uniforme, pode ser obtida por:

$$\tau = \gamma \cdot R_h \cdot S$$

Em que τ é a tensão de arraste, em kgf/m^2; γ é o peso específico da água em kgf/m^3, R_h é o raio hidráulico, em m; e S é a declividade, em m/m.

Porém, as tensões de arraste não se distribuem igualmente na seção transversal do canal, sendo maior no fundo que nos taludes dos canais. Em seções de forma trapezoidal, forma aproximada para a maioria dos cursos naturais, podem ser definidas duas expressões para tensão de arraste (BAPTISTA; COELHO, 2010). Para o leito, a tensão de arraste é calculada por $\tau_0 = \gamma \cdot y \cdot S$ e, para os taludes, ela é calculada por $\tau_t = 0{,}76 \cdot (\gamma \cdot y \cdot S)$, em que y é a altura do canal, em m.

Quando as duas tensões de arraste efetivas forem inferiores a uma tensão de arraste crítica (τ), o canal estará estável (BAPTISTA; COELHO, 2010).

A tensão de arraste crítica é a função do material constituinte do canal e das características do sedimento eventualmente transportado pela água.

O processo de assoreamento numa bacia hidrográfica encontra-se intimamente relacionado aos processos erosivos, uma vez que são estes que fornecem os materiais que, ao serem transportados e depositados, darão origem ao assoreamento.

Este ocorre em regiões rebaixadas, como o fundo de vales, rios, mares ou qualquer outro lugar em que o nível de base da drenagem permita um processo de deposição.

A quantidade e a granulometria do material transportado pelas águas são em função de sua velocidade (energia) e de seu volume. Águas com pouca energia transportam material mais fino, enquanto que energias mais altas transportam, além do material

fino em suspensão, material grosseiro que é arrastado e desce aos saltos por meio do talvegue do rio

À medida que a água perde energia, o material mais grosseiro começa a assentar-se (depositar) na calha dos rios ou nos remansos dos meandros, dando origem aos depósitos fluviais.

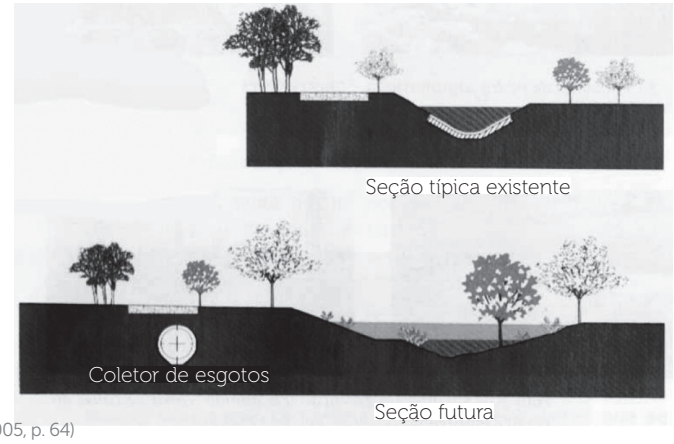
Os sedimentos que atingem os dispositivos de drenagem se depositam no leito, devido à redução da declividade e da capacidade de transporte. Os sedimentos depositados reduzem a capacidade de escoamento de cheias dos canais da macrodrenagem e as inundações se tornam mais frequentes. O reparo para esse problema, na maioria dos casos, é feito utilizando o processo de dragagem. No entanto, problemas como os o alto custo da operação, a necessidade de uma área para depositar o material dragado, a degradação das margens e as interrupções no trânsito que ocorrem, se o material é retirado por caminhões, estão associados a estas atividades. A redução da capacidade dos condutos é um problema mais sério, já que a limpeza deles representa custos significativos (TUCCI; COLLISCHONN, 1998).

Retificação, renaturalização e desvios

A retificação, a renaturalização e os desvios são técnicas de intervenção em canais ou rios.

A renaturalização consiste na intervenção em canais (Figura 4.1), nos quais se busca voltar às condições naturais do rio tal qual era antes da retificação. Voltar ao que era tal qual era antes da intervenção humana é impossível, mas se busca voltar às condições mais próximas, considerando a capacidade de transporte, o revestimento natural e a inclinação do leito natural e, como consequência disso, buscar a revitalização do ecossistema natural.

Figura 4.1 | Seções típicas antes e depois da renaturalização



Fonte: Canholi (2005, p. 64)

Pesquise mais

A tendência atual é a renaturalização dos rios urbanos. Um exemplo disso é a recuperação do Rio Cheonggyecheon, em Seul. Disponível em: <http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/234/restauracao-do-cheonggyecheon-seul-coreia-do-sul-296126-1.aspx>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Com a retificação de um rio, além da mudança geométrica do traçado, procura-se melhorar as condições de escoamento e estabilidade, possibilitar o rebaixamento da linha d'água das cheias, viabilizar a navegação e recuperar o terreno marginal.

Segundo Canholi (2005), para diminuição dos impactos no meio, a retificação ou canalização deve:

- Manter, o quanto possível, o traçado natural do córrego original, ficando-se as curvas e eventuais alargamentos existentes. Caso necessite majorar a capacidade de vazão, pode-se promover a ampliação da calha.
- A redução das declividades a partir de inclusão de degraus, ou preferencialmente, a manutenção das declividades naturais.
- A adoção de revestimentos rugosos, como gabiões e enrocamento, ou de revestimento naturais, como vegetação e grama, desde que compatíveis com as velocidades que se pretenda manter.
- Adotar seção hidráulica de patamares (seções mistas), mantendo as vazões mais frequentes contidas no leito menor. No leito maior devem ser previstos parques e áreas de lazer.

Já os desvios são canais artificiais, revestidos ou não, adjacentes ao rio ou ao canal existente, que transportará parte da vazão afluente do canal para uma outra finalidade.

Assimile

Retificação: intervenção em curso d'água natural, alteração no percurso natural do curso, tornando-o mais retilíneo, na maioria dos casos, alterando o revestimento natural.

Renaturalização: intervenção em curso d'água já modificado anteriormente com o objetivo de retornar características (percurso, revestimento e declividade) próximas às naturais.

Controle de escoamento na fonte

De forma geral, são dispositivos de pequenas dimensões e localizados próximos aos locais nos quais os escoamentos são gerados, ou seja, na fonte do problema. Apesar dos custos de implementação poderem ser simplificados, por causa da menor sobrecarga para cada área controlada e da relação direta que é possível estabelecer entre área urbanizada e deflúvio, os custos de manutenção e operação podem elevar-se devido à multiplicação das unidades implementadas (CANHOLI, 2005).

A disposição no local é voltada ao controle em lotes residenciais e vias de circulação, no qual se promove ou incrementa a infiltração e percolação das águas coletadas (CANHOLI, 2005).

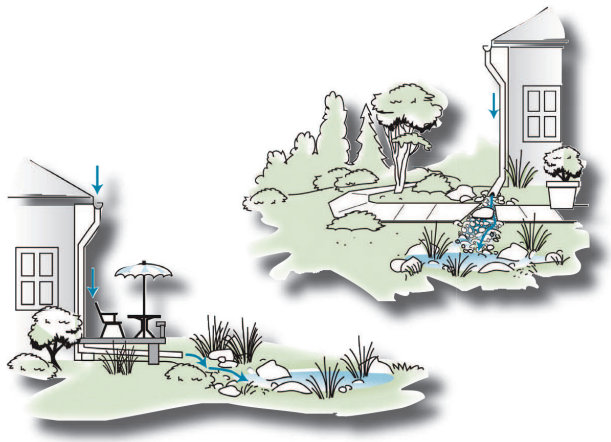
O objetivo é reduzir os picos de vazões veiculadas para a rede de drenagem. Além disso, a contenção na fonte pode promover a recarga de aquíferos e possibilitar o aproveitamento das águas reservadas para usos diversos (CANHOLI, 2005).

A capacidade de absorção do solo depende de fatores, como: cobertura vegetal, tipo de solo, condições do nível freático e qualidade das águas de drenagem.

Métodos:

Superfícies de infiltração: é a forma mais simples de disposição na fonte, que permite que as águas superficiais escoem em um terreno vegetado possibilitando a infiltração no solo (CANHOLI, 2005; WILSON et al., 2009). Sendo necessário apenas a desconexão dos dispositivos de captação do sistema, permitindo que a água infiltre no terreno (Figura 4.2).

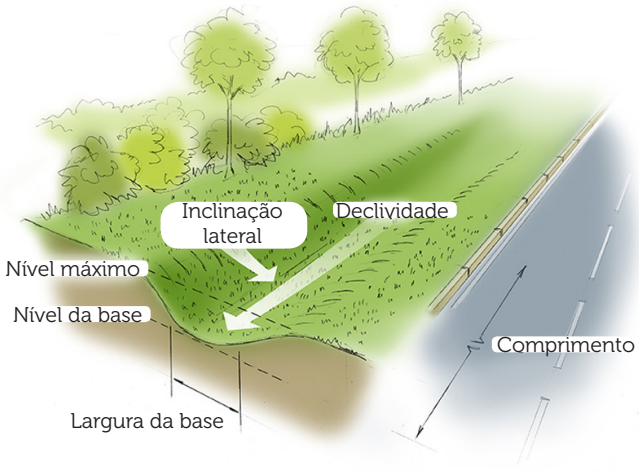
Figura 4.2 | Superfícies de infiltração



Fonte: <https://goo.gl/Ta1Jg7>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Valas abertas de infiltração: são valetas que podem ser revestidas ou não com vegetação, locadas nas adjacências das vias e estradas, ou em estacionamentos, que permitem a infiltração. A vegetação ajuda a proteger o solo da colmatação das partículas finas decantadas, mantendo a capacidade de percolação do solo (Figura 4.3).

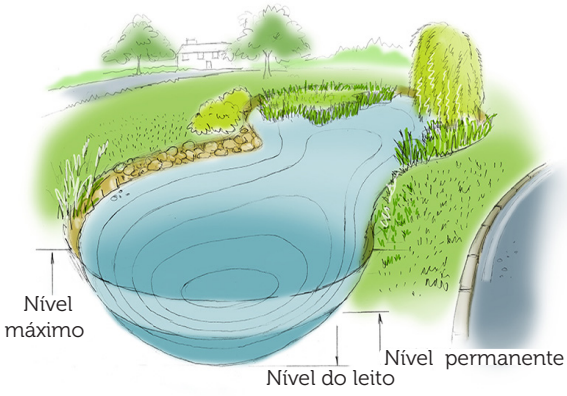
Figura 4.3 | Valas abertas de infiltração



Fonte: adaptada de <https://goo.gl/4PF1i4>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Lagoas de infiltração: são pequenos reservatórios de detenção (Figura 4.4), projetados para permanecer com um nível permanente de água. Muito utilizado para compor paisagismo de loteamentos e condomínios (WILSON et al., 2009).

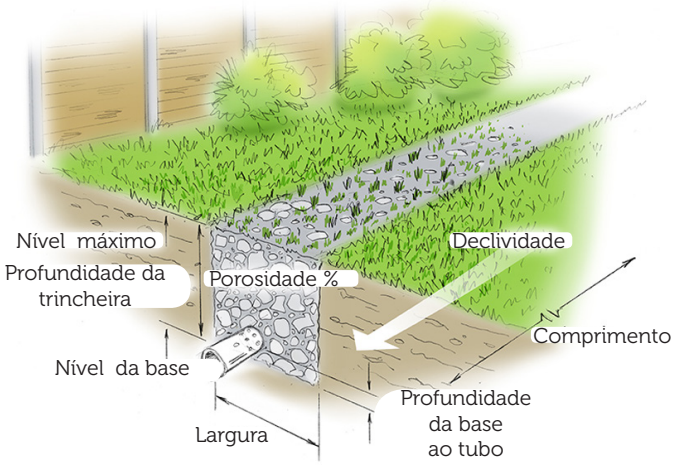
Figura 4.4 | Lagoas de infiltração



Fonte: adaptada de <https://goo.gl/Qlwge3>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Bacias e trincheiras de percolação: constitui-se de uma escavação de uma valeta que é preenchida com material granular, como brita ou cascalho, e sua superfície é reaterrada (Figura 4.5). O material granular promove a reservação temporária do escoamento, enquanto ocorre a percolação da água para o subsolo (CANHOLI, 2005).

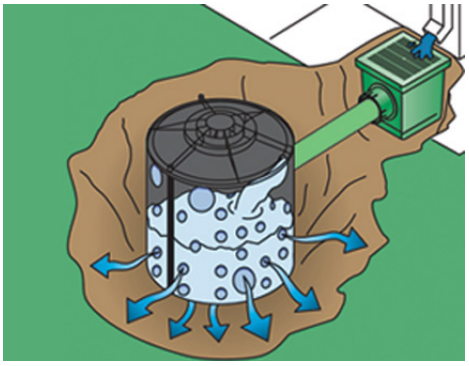
Figura 4.5 | Bacias e trincheiras de percolação



Fonte: adaptada de <https://goo.gl/4zctlH>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Poços de infiltração: são poços escavados, como sumidouros, que permitem a infiltração das águas pluviais para o subsolo (Figura 4.6). É a medida mais recomendada, quando não se dispõe de espaço ou quando a urbanização existente, já consolidada, inviabiliza a implantação das medidas dispersivas de aumento da infiltração (CANHOLI, 2005).

Figura 4.6 | Poços de infiltração



Fonte: <https://goo.gl/35OTYN>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Reservatórios domiciliares: os reservatórios domiciliares, ou as piscininhas, permitem a reservação de uma parcela das águas de chuva, que se infiltram lentamente no solo ou ainda podem ser reaproveitadas para usos diversos, enquadrando-se nesse sistema as cisternas (Figura 4.7).

Figura 4.7 | Reservatórios domiciliares



Fonte: <https://goo.gl/OugWJW>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Reflita

Em meio a escassez de água de boa qualidade, os reservatórios domiciliares não seriam uma ótima solução para o uso menos nobre da água?

Para a cidade de São Paulo, a Lei Municipal nº 13.276/2002, regulamentada pelo Decreto nº 41.814/2002, torna obrigatória a execução de reservatórios para águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m^2. O volume a ser armazenado é proporcional à área impermeabilizada do terreno, de acordo com a seguinte formulação:

$$V_{res} = 0{,}15 \cdot A_I \cdot P \cdot t$$

Em que V_{res} é o volume do reservatório (m^3), A_I é a área impermeável do terreno (m^2), t é a duração da chuva (1h) e P é a precipitação de 60 mm/h.

Exemplificando

Calcule o volume do reservatório necessário para atender uma residência com 250 m^2 de área impermeável. Adotar duração de chuva de 1h e precipitação de 60 mm/h.

$$V_{res} = 0{,}15 \cdot A_l \cdot P \cdot t$$

$$V_{res} = 0{,}15 \cdot 250 \cdot \frac{60}{1000} \cdot 1$$

$$V_{res} = 0{,}15 \cdot 250 \cdot 0{,}06(m/h) \cdot 1$$

$$V_{res} = 2{,}25 m^3$$

Pesquise mais

As cisternas são um dispositivo de múltiplos benefícios. Além de retardar as ondas de cheias, elas permitem o reaproveitamento da água armazenada. Para isso, é necessário o descarte do primeiro milímetro do escoamento responsável pela lavagem da superfície. O vídeo a seguir exemplifica o dimensionamento desse dispositivo:

ROBERTO CARVALHO. **Água de chuva**: desviUFPE guia de dimensionamento e montagem. 2014. Disponível em: <https://youtu.be/tgvv06essYs>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Sem medo de errar

Você, como engenheiro projetista responsável pela legalização de um novo loteamento, é informado pelo poder público municipal que para ter a obra autorizada será necessário adotar medidas sustentáveis de gestão das águas pluviais, desonerando a infraestrutura pública local. O ambiente no qual o loteamento será inserido é rodeado por córregos e rios que sofrem com processos erosivos e transbordamento da calha em períodos de cheias.

Como solução, você deve propor medidas de controle de escoamento na fonte para que o loteamento atenda às exigências municipais e o mínimo do escoamento superficial seja lançado na rede pública de drenagem.

Portanto, a fim de atender às exigências do poder público municipal, o loteamento adotará diversas medidas de controle do escoamento na fonte objetivando o máximo reaproveitamento da água e minimizando o lançamento na rede pública de drenagem.

Para isso, será obrigatório o uso de cisternas em cada lote construído, possibilitando o reaproveitamento das águas pluviais para os usos menos nobres nas atividades domésticas, como irrigação, lavagem de piso ou ainda o reaproveitamento em bacias sanitárias. O excesso não coletado nas cisternas deverá ser infiltrado no solo através de poços ou trincheiras de infiltração.

Valas abertas de infiltração serão construídas ao longo das vias internas do loteamento com o objetivo de coletar e transportar o excesso do escoamento não infiltrado nos lotes, funcionando como sarjetas que permitem a infiltração, coletando também a parte da precipitação que escoa sobre as vias. Todo excesso de água que não foi infiltrado nas valas será coletado por bocas de lobo posicionadas estrategicamente. O excesso do escoamento coletado pelas bocas de lobo será transportado por tubos perfurados, que permitem a infiltração no solo, até a lagoa de infiltração localizada no centro do loteamento que, além da função estrutural na drenagem do loteamento, tem também função paisagística que permitirá atividades de lazer para os moradores.

Para as áreas comuns do loteamento, as águas pluviais devem ser encaminhadas para as áreas verdes, permitindo a infiltração. Em locais sem áreas verdes próximas deverão ser construídos poços e trincheiras de infiltração. O excesso deve ser encaminhado para a lagoa de infiltração.

Avançando na prática

Canais

Descrição da situação-problema

Você, como engenheiro especialista em restauração e recuperação de canais, é contratado para apresentar soluções para cursos d'água urbanos que oneram o orçamento municipal com serviços de recuperação de margens, que sofrem com a erosão, com a dragagem dos sedimentos acumulados e inundações de áreas a jusante. Esses problemas foram intensificados com a urbanização descontrolada na área mais a montante, nesse trecho do córrego ocorreu a retificação do curso d'água, utilizando revestimento em concreto liso nos taludes e leito, diminuindo a rugosidade e aumentando a velocidade do fluxo. O acúmulo de sedimentos ocorre no trecho de mudança de declividade natural do curso d'água.

Apresente soluções econômicas e duradoras para esse problema.

Resolução da situação-problema

Como descrito, os problemas apresentados se agravaram com a urbanização, a retificação e a mudança do revestimento do trecho do curso d'água a montante. Para uma solução definitiva, deve ser feito a renaturalização do trecho a montante, ou seja, retornar as características próximas às naturais do percurso do canal, e do revestimento. Com a retificação, e retirada das curvas naturais, os cursos d'água têm o comprimento

efetivo reduzido, diminuindo as perdas de carga, aumentando a velocidade do fluxo; a mudança do revestimento natural para um revestimento liso também contribui com o aumento da velocidade. Esta causa inundações a jusante e erosão das margens, que, como consequência, intensifica o assoreamento do canal.

Lista-se a seguir procedimentos que devem ser adotados para solução do problema:

- Renaturalização do trecho retificado: mudança do revestimento liso por um revestimento rugoso próximo ao natural, retornando o percurso natural do córrego nos trechos ainda não urbanizados.
- Proteção das margens do curso d'água a jusante com material rugoso.
- Preservação da declividade natural do curso d'água.
- Preservação das margens do curso d'água e desocupação dos locais já urbanizados ilegalmente que ocupem a calha de maior cheia do curso d'água.

Faça valer a pena

1. A tensão de arraste corresponde à tensão de cisalhamento exercida pela água em escoamento junto ao leito e às margens do curso d'água. Analisando um canal trapezoidal com Rh = 1,20 m e declividade de 0,05 m/m e considerando peso específico da água igual a 1000 kfg/m^3.

Sendo: $\tau = \gamma \cdot R_h \cdot S$.

Calcule e assinale a alternativa correspondente à tensão de arraste.

a) 120 kgf/m^2.

b) 60 kgf/m^2.

c) 66 kgf/m^2.

d) 50 kgf/m^2.

e) 36 kgf/m^2.

2. Em um canal, as tensões de arraste não se distribuem igualmente na seção transversal, sendo maior no fundo (no leito) que nos taludes dos canais.

Sendo: $\tau_0 = \gamma \cdot y \cdot S$ e $\tau_t = 0{,}76 \cdot (\gamma \cdot y \cdot S)$.

Para um canal com 2,0 m de profundidade e declividade de 0,05 m/m, considerando o peso específico da água igual à 1000 kgf/m^3, pede-se:

Calcule e assinale a alternativa correspondente às tensões de arraste no leito e nos taludes do canal, respectivamente.

a) 120 e 38 kgf/m^3.

b) 100 e 38 kgf/m^3.

c) 100 e 76 kgf/m^3.

d) 76 e 50 kgf/m^3.

e) 76 e 100 kgf/m^3.

3. Para a cidade de São Paulo, a Lei Municipal nº 13.276/2002, regulamentada pelo Decreto nº 41.814/2002, obriga que construções com área impermeabilizada superior a 500 m^2 retenha parte da água precipitada sobre o lote.

Sendo: $V_{res} = 0{,}15 \cdot A_I \cdot P \cdot t$

Para um lote com área total de 1000 m^2, dos quais 70% é impermeabilizado e, para uma precipitação de 60 mm/h com duração de 1h, pede-se:

Calcule e assinale a alternativa correspondente ao volume mínimo exigido por lei a ser armazenado.

a) 6,3 m^3.

b) 9,0 m^3.

c) 9,3 m^3.

d) 6,9 m^3.

e) 3,3 m^3.

Seção 4.2

Técnicas compensatórias em drenagem urbana: medidas estruturais

Diálogo aberto

Caro aluno,

Você e toda a equipe de engenharia estão batalhando para viabilizar o novo loteamento e, como visto na seção anterior, o local é rodeado por pequenos cursos d'água. Para utilizá-los como canais de drenagem de águas pluviais do futuro loteamento, os técnicos da prefeitura solicitaram um estudo de estabilidade dos canais.

É necessário determinar a altura máxima permissível da lâmina d'água e a estabilidade do canal por meio do método das tensões de arraste.

As seguintes características locais foram fornecidas:

Canal em cascalho aluvionar não coloidal, com partículas medianamente angulosas, apresentando sinuosidade mediana e declividade de 0,16%.

O canal destina-se a transportar água com sedimentos coloidais.

Características locais:

Tensão de arraste crítica inicial de 1,56 kgf/m^2.

Taludes com inclinação máxima 2:1 ($\theta = 26,6°$).

Ângulo de repouso do material $\phi = 34°$.

Não pode faltar

Técnicas compensatórias em drenagem urbana: medidas estruturais

Dentre os aspectos relevantes do projeto hidráulico para as medidas estruturais, para os reservatórios é a determinação dos volumes a reservar e do

dimensionamento das respectivas estruturas das bacias de detenção e, para os canais, o dimensionamento da geometria e estrutura (CANHOLI, 2005).

Portanto, nesta seção, você verá o dimensionamento dos canais e a determinação do volume a reservar nos reservatórios e refletirá sobre técnicas compensatórias em drenagem urbana por meio de medidas estruturais, como o aumento da capacidade hidráulica dos canais.

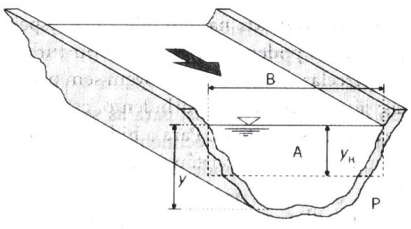
Os canais são estruturas hidráulicas que têm os objetivos básicos de conduzir as águas e possibilitar ou favorecer a navegação (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Para a correta readequação dos canais, é importante avaliar a capacidade de vazão das seções existentes, identificando os eventuais pontos de gargalos (CANHOLI, 2005).

Para o estudo dos canais, algumas definições se fazem importantes (Figura 4.8):

- Seção ou área molhada (A): parte da seção transversal que é ocupada pela água.
- Perímetro molhado (P): comprimento relativo ao contato da água com as paredes do conduto.
- Largura superficial (B): largura da superfície em contato com a atmosfera.
- Profundidade (y): altura da lâmina d'agua acima do fundo do canal.
- Profundidade hidráulica (y_h): razão entre a área molhada e a largura superficial: $y_h = A/B$
- Raio hidráulico (R_h) razão entre a área molhada e o perímetro molhado: $R_h = A/P$.

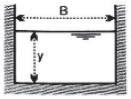
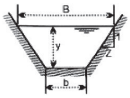
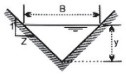
Figura 4.8 | Seção tipo de um canal



Fonte: Baptista e Pádua (2016. p. 119).

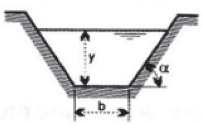
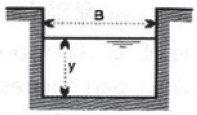
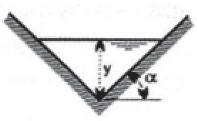
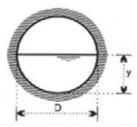
O Quadro 4.1 apresenta as características hidráulicas para seções usuais e o Quadro 4.2 lista características de máxima eficiência hidráulica para essas seções.

Quadro 4.1 | Parâmetros característicos de algumas seções tipo

	Área	Perímetro molhado	Raio hidráulico	Largura superficial	Profundidade hidráulica
	by	b + 2y	$\frac{by}{b+2y}$	b	y
	(b + Zy)y	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+Zy)y}{b+2y\sqrt{1+Z^2}}$	$b+2Z_y$	$\frac{(b+Zy)y}{b+2Zy}$
	Zy^2	$2y\sqrt{1+Z^2}$	$\frac{Zy}{2\sqrt{1+Z^2}}$	$2Z_y$	0,5y
	$0{,}125(\theta - sen\theta)D^2$	$0{,}5\theta D$	$0{,}25\left(\frac{\theta - sen\theta}{\theta}\right)D$	$2\sqrt{y(D-y)}$	$0{,}125\left(\frac{\theta - sen\theta}{sen\frac{1}{2}\theta}\right)D$

Fonte: Baptista e Coelho (2010. p. 299).

Quadro 4.2 | Características das seções de máxima eficiência hidráulica

Forma	Seção	Geometria ótima	Profundidade normal (y)	Área A
Trapezoidal		$\alpha = 60^o$ $b = \frac{2}{\sqrt{3}}y$	$0{,}968\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/8}$	$1{,}622\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/4}$
Retangular		B = 2y	$0{,}917\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/8}$	$1{,}682\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/4}$
Triangular		$\alpha = 45^o$	$1{,}297\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/8}$	$1{,}682\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/4}$
Circular		D = 2y	$1{,}000\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/8}$	$1{,}583\left[\frac{Q_n}{I^{1/2}}\right]^{3/4}$

Fonte: Baptista e Coelho (2010. p. 330).

Exemplificando

Calcular a área molhada, o perímetro molhado e o raio hidráulico para um canal retangular com 2,0 m de base e 1,0 m de profundidade:

Perímetro molhado = $2+1+1=4,0\,m$

Área molhada: $2\cdot 1=2,0\,m^2$

Raio hidráulico: $R_h = 2/4 = 0,5$

Em muitos casos, os canais existentes são constituídos por trechos de diferentes tipos de revestimento e diversas seções transversais, ou seja, com reduções ou ampliações das seções hidráulicas, contínuas ou abruptas, bem como declividades de fundo não uniformes (CANHOLI, 2005).

O problema de dimensionamento e adequação de canais reduz-se à otimização da seção transversal (dimensões e revestimento) para transportar a vazão de projeto. Para melhor otimização e redução de custos, procura-se a minimização da área a ser revestida e o volume de escavação, buscando seções transversais que apresentem máximo rendimento, ou seja, para uma dada área, declividade e rugosidade, transportam máxima vazão (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Para o cálculo das seções, utiliza-se a fórmula de Manning:

$Q = \frac{1}{n} \cdot \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} S^{1/2}$, em que "n" é coeficiente de rugosidade, "A" é a área molhada da seção (m^2), "P" é o perímetro molhado (m) e "S" é a declividade (m/m).

A máxima eficiência hidráulica é alcançada quando o perímetro molhado é mínimo e todos as outras variáveis se mantêm constante.

Assimile

A máxima eficiência hidráulica é alcançada utilizando os parâmetros geométricos apresentados no Quadro 4.2, assim, para um canal retangular a eficiência é máxima quando a base é o dobro da altura da lâmina d'água.

Para canais não revestidos (materiais erodíveis), pode-se efetuar o dimensionamento hidráulico dos canais segundo o *método da velocidade permissível* e o *método das tensões de arraste*. Em ambos os métodos, é essencial a verificação das inclinações dos taludes laterais, que é limitada em função das características geotécnicas locais.

Rochas sãs permitem uma inclinação máxima vertical, enquanto solos argilosos porosos permitem uma inclinação máxima do talude de 3H:1V (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Método da velocidade permissível

Consiste no dimensionamento respeitando-se as limitações de velocidade para que não ocorra a erosão do canal. O limite da velocidade máxima de operação é função do material constituinte do canal, bem como da carga de material sólido transportada pelo canal (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Os cálculos hidráulicos para o dimensionamento dos canais são efetuados com aplicação da fórmula de Manning, limitando-se a velocidade média de escoamento aos valores estabelecidos como máximos.

Método das tensões de arraste

Diferentemente do método das velocidades permissíveis, o método das tensões de arraste leva em consideração a forma da seção, importante para avaliação dos processos erosivos.

Segundo Baptista e Coelho (2010), o método das tensões de arraste consiste em dimensionar o canal de forma a manter as tensões de cisalhamento junto às paredes e ao fundo do canal inferiores a uma tensão admissível, a partir da qual podem ocorrer processos erosivos. O método consiste em:

- Definir o valor da tensão crítica de arraste, o valor do ângulo de repouso e a declividade máxima do talude de acordo com o material do canal (esses dados são encontrados em tabelas).
- Aplicar a redução da tensão crítica de arraste em função da sinuosidade: 1,00 para canais retilíneos a 0,60 para canais extremamente sinuosos.
- Determinar K para a declividade do talude pré-fixada: $K = \sqrt{\frac{1 - sen^2\theta}{sen^2\phi}}$, em que "$\theta$" é o ângulo do talude com a horizontal e "ϕ" é o ângulo de repouso do material.
- Determinar a tensão crítica de arraste nos taludes: $\tau_{c,t} = K \cdot \tau_t$.
- Determinar "y" a partir da equação da tensão crítica de arraste nos taludes: $\tau_t = 0,76 \cdot (\gamma \cdot y \cdot S)$
- Verificar a tensão crítica de arraste no fundo: $\tau_0 = \gamma \cdot y \cdot S$.
- Calcular a base do canal por meio da equação de Manning.

Seções e revestimento:

Segundo Baptista e Coelho (2010), a escolha da forma e do revestimento do canal dependem de vários aspectos, como:

- Hidráulico: vazões de projeto, velocidades de funcionamento e altura da lâmina d'água.
- Tecnológico e operacional: topografia local, faixa disponível para implantação, disponibilidade de materiais, equipamentos, mão de obra, área para bota-fora, possibilidade e facilidade para manutenção etc.
- Ambientais: impacto das obras e serviços, nos aspectos ecológicos e de qualidade das águas, como da própria inserção ambiental, em função da ocupação das áreas adjacentes, paisagismo etc.
- Sociais: inserção no sistema viário, possibilidade de recreação e lazer etc.



Reflita

Apenas as questões hidráulicas não podem ser decisivas na intervenção em canais, especialmente no meio urbano. A máxima integração ao meio deve ser contemplada.

Vários tipos de revestimentos podem ser usados nos canais, indo dos revestimentos naturais, passando pelo concreto e até revestimentos geossintéticos, como plásticos e geotêxteis, sendo os principais tipos de revestimento discutidos a seguir.

Canais em solos

Como pontos positivos estão o baixo custo de implantação (escavação e transporte de materiais) e menor impacto ambiental. O crescimento da vegetação natural nas margens confere um aspecto mais natural ao canal, favorecendo o ecossistema.

Porém, velocidades mais baixas são admissíveis implicando na necessidade de seções de maior porte, além de poder implicar em processos erosivos e assoreamento, caso as condições críticas sejam ultrapassadas. Isto implica na necessidade de manutenção frequente (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Canais gramados

São interessantes devido ao baixo custo de implantação assim como pelo aspecto estético. Como os canais de solo, sua maior desvantagem está na manutenção

frequente e as baixas velocidades de escoamento admissível. As velocidades máximas permissíveis variam com as espécies vegetais utilizadas. Outros critérios de projeto devem ser respeitados, como: raios de curvatura sendo o dobro da largura do canal; a borda livre mínima é de 0,30 m e a inclinação dos taludes deve ser compatível com as características dos solos (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Revestimento em concreto

Podem ser em concreto pré-moldado, moldado in loco ou concreto projetado. O revestimento em concreto é mais apropriado para locais com faixa de implantação reduzida nos quais se pode trabalhar com velocidades mais altas, possibilitando maior capacidade de vazão. Tem a vantagem de exigir pouca manutenção. No entanto, tem como desvantagem os maiores custos e pior inserção no meio ambiente. Além dos aspectos hidráulicos/hidrológico de antecipação dos hidrogramas de cheia devido ao aumento das velocidades de escoamento (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Gabiões

São os revestimentos mais comuns e consistem em estruturas em grades metálicas preenchidas com pedras, podem ser do tipo colchão ou do tipo caixa.

Como critério de projeto, para os gabiões do tipo colchão, as velocidades máximas admissíveis variam de 2 a 3,5 m/s para colchão com espessura de 150 mm e de 4 a 5,5 m/s para espessura de 300 mm. Para os gabiões do tipo caixa, as velocidades admissíveis são de 5 a 6 m/s. Os gabiões caixas permitem taludes com altas inclinações podendo até mesmo ser verticais. Os que fazem a manutenção devem atentar-se para a retirada de resíduos sólidos retidos nos gabiões e o crescimento desordenado de vegetação (BAPTISTA; COELHO, 2010).



Pesquise mais

O método para o dimensionamento de estruturas com gabiões é ofertado em materiais disponibilizados pelos fabricantes.

Assista ao vídeo do tempo 00:06:14 ao 1:01:00, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=96_g35YDk5A>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Canais revestidos com enrocamentos

Os enrocamentos ou rip-raps consistem no simples revestimento de taludes com pedras lançadas ou arrumadas, com dimensões compatíveis com as velocidades de escoamento. Sua estabilidade é função da velocidade de escoamento, das condições

de turbulência do fluxo e das propriedades físicas das rochas utilizadas. A espessura dos enrocamentos deve ser correspondente a cerca de 1,5 vezes o diâmetro máximo das pedras ou 2 vezes o diâmetro médio. Os taludes devem ter ângulo de acordo com o ângulo de repouso natural do material que é de cerca de 35 a 42°. Como os gabiões, os enrocamentos apresentam boa inserção ambiental e social, adquirindo um aspecto de canal natural (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Segundo Escarameia (1998), para o dimensionamento do diâmetro médio das pedras pode ser utilizado a expressão: $D_p = k_s \cdot C_t \cdot \frac{V_b^2}{2g(s-1)}$, em que D_p é o diâmetro médio das pedras (m); k_s é o fator de correção granulométrica (valor adotado de 1,15); C_t é coeficiente de turbulência do escoamento ($C_t = 12,3 \cdot IT - 0,20$, em que IT é a intensidade da turbulência); V é velocidade de escoamento junto ao leito (m/s); s é a densidade média das pedras (entre 2,5 e 2,7); e g é a aceleração da gravidade (m/s^2).

Determinação do coeficiente de rugosidade de Manning para seções simples com rugosidade variável e para seções compostas

Segundo Coelho e Baptista (2016), em canais, especialmente nos naturais, frequentemente ocorre variabilidade do coeficiente de rugosidade de Manning ao longo da seção transversal, sendo necessária a estimativa de valores representativos.

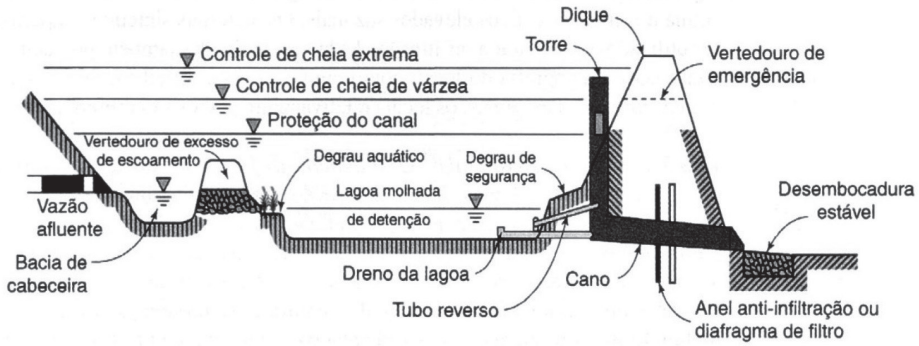
Em situações em que as seções são simples (inclusive as trapezoidais) e a rugosidade varia ao longo do perímetro, a rugosidade é calculada utilizando uma sistemática de ponderação da rugosidade, podendo adotar a seguinte forma de ponderação: $n = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m} (P_i n_i^{3/2}}{P} \right]^{2/3}$, em que "n" é o coeficiente de rugosidade global, "P" é o perímetro molhado total (m), "P_i" é o perímetro molhado associado à superfície "i" (m) e "n_i" é o coeficiente de rugosidade associado à superfície "i".

Já para as seções compostas, o cálculo do coeficiente de rugosidade equivalente é calculado por $n_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m} (A_i n_i}{A} \right]$, em que "$n_e$" é o coeficiente de rugosidade global, "A" é a área total (m^2), "A_i" é a área associada à superfície "i" (m) e "n_i" é o coeficiente de rugosidade associado à superfície "i".

Técnicas compensatórias em drenagem urbana: medidas estruturais - retenção e detenção

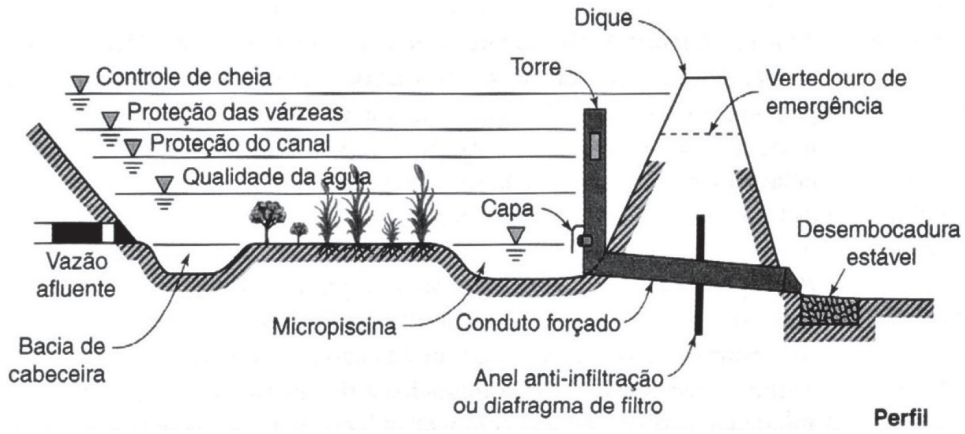
A retenção (Figura 4.9) e detenção (Figura 4.10) de águas pluviais é baseada no conceito de armazenar parte do escoamento temporariamente para, então, liberar de maneira controlada de modo a limitar a vazão afluente a uma área ocupada e abrandar seus efeitos destrutivos. Além disso, a retenção de águas pluviais tem o objetivo de recarga dos aquíferos e controle da qualidade da água (GRIBBIN, 2014).

Figura 4.9 | Reservatório de retenção



Fonte: Shammas et al. (2013. p. 383).

Figura 4.10 | Reservatório de detenção



Fonte: Shammas et al. (2013. p. 381).

Os reservatórios são projetados para que o pico de descarga depois da urbanização não seja maior que o anterior. Isso requer que o hidrograma de escoamento seja computado para as condições antes e depois da urbanização, para enchentes de 2 a 100 anos de período de retorno. Normalmente, períodos de retorno para 2, 10 e 100 anos são utilizados para computar os requerimentos de armazenamento e os dispositivos de saída (WURBS; JAMES, 2002).

O total acumulado geralmente é calculado pela diferença do escoamento dos hidrogramas antes e depois da urbanização.

O armazenamento e a liberação controlada de águas pluviais são descritos matematicamente com a propagação de um hidrograma de escoamento.

O método comum para calcular o volume de armazenamento é o cota-área, que consiste no traçado de linhas de contorno ao redor da bacia proposta, sendo, então, medida a área em cada contorno. O volume contido entre quaisquer dos contornos adjacentes é estimado como a média das duas áreas multiplicada pela distância vertical entre elas. O volume total é a soma dos volumes incrementais calculados anteriormente (GRIBBIN, 2014).

Os taludes dos reservatórios, se construídos em solo, devem ser relativamente pouco inclinados (4:1) para segurança e corte da vegetação (manutenção). O fundo do reservatório deve ter uma declividade para evitar o acumulo de água, quando isso não é atendido, há a proliferação de mosquitos. Acesso para a manutenção é necessário para a retirada de resíduos e sedimentos acumulados.

Dispositivo de saída do reservatório.

Geralmente, o dispositivo de saída dos reservatórios são orifícios ou uma combinação entre orifício e vertedouros que liberam a água armazenada lentamente.

Os reservatórios devem ter pelo menos um dispositivo de saída e um vertedor de emergência. Em alguns casos, múltiplas saídas a diferentes alturas são utilizadas para facilitar a descarga (CHIN et al., 2000).

A estrutura de saída mais simples consiste em um único tubo com a soleira posicionada na cota mais baixa da bacia chamada de saída de único estágio. Pode haver ainda um outro tubo em cota mais elevada além de um vertedor de emergência (GRIBBIN, 2014).

A saída de único estágio se assemelha, hidraulicamente, a um bueiro, com controle de entrada. Porém, a modelagem hidráulica desse dispositivo é feita como um orifício, porque o modelo deste produz descargas muitos similares a um bueiro, agindo com controle de entrada, especialmente para profundidades de reservatório acima da coroa do tubo.

A vazão de saída é calculada em função dos níveis hipotéticos da água no reservatório, por meio da equação $Q = c \cdot a\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$, em que Q é a vazão de descarga (m^3/s), c é o coeficiente de descarga (0,62), a é a área da seção transversal do orifício (m^2) e h é a carga total (m).

A função primordial dos reservatórios de detenção e retenção é minimizar ondas de cheia a jusante. Ao adentrar na bacia de detenção ou retenção, o escoamento é temporariamente armazenado e depois deslocado por meio do dispositivo de saída, a vazão máxima efluente é menor que a vazão máxima afluente. Essa redução chama-se atenuação (GRIBBIN, 2014).

Parâmetros de projeto

Um dos benefícios da utilização de reservatórios é a possibilidade da melhoria de qualidade da água afluente do sistema. Incluindo a qualidade da água como critério de projeto, temos os seguintes parâmetros importantes para reservatórios: volume de qualidade da água (WQV), tempo de evacuação (T_e) e, para reservatórios de retenção, o tempo de detenção (T_d).

- Volume de qualidade da água (WQV): é o volume inicial do escoamento superficial que deve ser armazenado e tratado antes da descarga.
- Tempo de evacuação (T_e) é o tempo para que o WQV a ser descarregado do reservatório, é dado pela relação:

$\int_0^{Te} O(t)dt = WQV$, em que O (t) é o hidrograma de descarga.

- Tempo de detenção (T_d): é o parâmetro aplicável apenas a reservatórios de retenção, que mede o tempo médio que o escoamento superficial permanece no reservatório. $T_d = \frac{V_{pond}}{\overline{Q}}$, em que V_{pond} é o volume de retenção, $\overline{Q}$ é o escoamento médio anual,determinado pela multiplicação da precipitação média anual pelo coeficiente de deflúvio.

Para o cálculo do hidrograma de saída do reservatório, utiliza-se dos conceitos da conservação da massa de água entrando e saindo do reservatório.

A expressão pode ser escrita da seguinte forma: $\bar{I} - \overline{O} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$,

Em que: $\bar{I}$ é a vazão média afluente ao reservatório durante o tempo Δt (m^3/s); $\overline{O}$ é a vazão média efluente ao reservatório durante o tempo Δt (m^3/s); ΔS é a variação no volume do reservatório durante o tempo Δt (m^3), e o Δt é o período incremental (s).

A solução numérica é um processo de iteração no qual um pequeno incremento de tempo é escolhido e o balanço do volume é calculado no final de cada período. (GRIBBIN, 2014)

A expressão pode ser melhor escrita da seguinte forma:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t}$$

Em que os subscritos 1 e 2 denotam o início e o fim, respectivamente, do período Δt escolhido. Ainda podemos organizar a expressão como:

$$(I_1 + I_2) + \left[\frac{2S_1}{\Delta t} - O_1\right] = \frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$$

Para isso, supõe-se implicitamente, nesse método de propagação, que:

- A superfície da água do reservatório seja horizontal.
- A vazão efluente seja uma função única do volume de armazenamento.
- A vazão efluente varie linearmente com o tempo, durante cada período Δt .

A expressão fornece como resposta um hidrograma de saída (O_2), ou seja, uma lista completa de vazões efluentes da bacia de detenção durante a precipitação de projeto. A equação será resolvida muitas vezes, uma vez para cada período escolhido durante a precipitação.

Sem medo de errar

O loteamento em questão, como visto na seção anterior, é rodeado por pequenos cursos d'água. Para utilizá-los como canais de drenagem de águas pluviais do futuro loteamento, os técnicos da prefeitura solicitaram um estudo de estabilidade dos canais.

É necessário determinar a altura máxima permissível da lâmina d'água e a estabilidade do canal através do método das tensões de arraste.

As seguintes características locais foram fornecidas (BAPTISTA; COELHO, 2010):

Canal em cascalho aluvionar não coloidal, com partículas medianamente angulosas, apresentando sinuosidade mediana e declividade de 0,16%. O canal destina-se a transportar água com sedimentos coloidais.

Características locais:

Tensão de arraste crítica inicial de 1,56 kgf/m^2

Taludes com inclinação máxima 2:1 ($\theta = 26,6°$)

Ângulo de repouso do material $\phi = 34°$

SOLUÇÃO:

De acordo com Baptista e Coelho (2010), estimando-se um fator de correção devido à sinuosidade de 75% determina-se a tensão crítica de arraste:

$$\tau_c = 1,56 kgf / m^2 \cdot 0\ 75$$

$$\tau_c = 1,17\, kgf / m^2$$

Cálculo da tensão crítica nos taludes:

Sendo $\theta = 26,6°$ e $\phi = 34°$

$$K = \sqrt{1 - \frac{sen^2\theta}{sen^2\phi}}$$

$$K = \sqrt{1 - \frac{sen^2\ 26\ 6°}{sen^2\ 34}} = 0,60$$

$$\tau_{c,t} = K \cdot \tau_t$$

$$\tau_{c,t} = 0,60 \cdot 1,17 = 70\, kgf / m^2$$

Cálculo da profundidade em função da tensão crítica nos taludes:

Para que o canal seja estável, $\tau_t \text{ " } \tau_{c,t} \Rightarrow 0,76 \cdot \gamma \cdot y \cdot S \text{ " } 0,70\, kgf / m^2$

$$y \leq \frac{0,70}{0,76 \cdot 1000 \cdot 0,0016}$$

$$y = 0,58m$$

Verificação da tensão no fundo:

$$\tau_0 = \gamma \cdot y \cdot S$$

$$\tau_0 = 1000 \cdot 0,58 \cdot 0,0016$$

$$\tau_0 = 0,96\, kgf / m^2$$

Como a tensão no fundo é menor que a crítica, o canal é estável para a profundidade de 0,58 m.

Avançando na prática

Volume de um reservatório

Descrição da situação-problema

Uma das fases do projeto de um reservatório é a determinação do volume a ser armazenado. Você está projetando um reservatório de retenção em uma região muito castigada por inundações. Para o cálculo do volume do reservatório, você deve conhecer o hidrograma antes e depois da urbanização, sendo o volume armazenado a diferença entre os dois hidrogramas, dependendo do tempo de detenção determinado.

A Tabela 4.1 apresenta as vazões de escoamento, resultado dos hidrogramas antes e depois da urbanização.

Para minimizar os efeitos da onda de cheia, determine o volume do reservatório para um tempo de detenção de 10 min.

Tabela 4.1 | Vazões de escoamento

Tempo (horas)	Q1 – Inicial (m³/s)	Q2 – Final (m³/s)
0,00	0,00	0,00
0,17	0,14	0,14
0,33	0,54	0,28
0,50	1,32	0,42
0,67	2,15	0,57
0,83	2,74	0,71
1,00	2,74	0,85
1,17	2,22	0,99
1,33	1,47	1,13
1,50	1,23	1,23

Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

Inicialmente, é necessário calcular a vazão total, para isso, calcula-se a diferença das vazões horárias e soma-se no final.

Tabela 4.2 | Diferença horária das vazões

Tempo (horas)	Q1 – Inicial (m³/s)	Q2 – Final (m³/s)	ΔQ (m³/s)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,17	0,14	0,14	0,00
0,33	0,54	0,28	0,26
0,50	1,32	0,42	0,90
0,67	2,15	0,57	1,58
0,83	2,74	0,71	2,03
1,00	2,74	0,85	1,89
1,17	2,22	0,99	1,23
1,33	1,47	1,13	0,34
1,50	1,23	1,23	0,00
Total			**8,23**

Fonte: elaborada pelo autor.

A vazão total é de 8,23 m^3/s, para isso, é necessário:

$$Volume = \sum \Delta Q \cdot \Delta t = 8,23 \cdot (10\,\text{min} \cdot 60s) = 4938 m^3$$

Faça valer a pena

1. Dimensione uma proteção em enrocamento junto aos taludes de um canal, sabendo-se que a velocidade de escoamento junto às pedras é de 0,94 m/s, o IT é de 0,45; Ks é 1,15 e a densidade média das pedras "s" é de 2,60.

Sendo: $C_t = 12,3 \cdot IT - 0,20$ e $D_p = k_s \cdot C_t \cdot \frac{V_b^2}{2g(s-1)}$

Calcule e assinale a alternativa correspondente ao diâmetro médio das pedras.

a) 0,20 m.

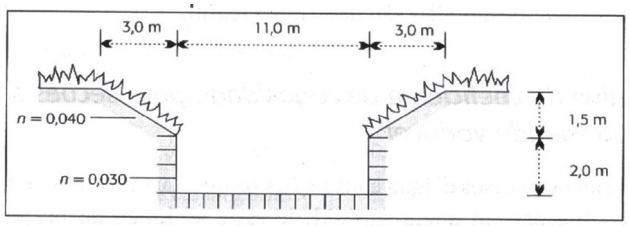
b) 0,32 m.

c) 0,25 m.

d) 0,14 m.

e) 0,27 m.

2. Considere a seção apresentada na figura seguinte, na qual parte da seção é revestida por gabiões (n = 0,030) e parte com solo com revestimento vegetal (n = 0,040).



Fonte: elaborada pelo autor.

Sendo: $$n = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m} (P_i n_i^{3/2}}{P} \right]^{2/3}$$

Calcule o coeficiente de rugosidade global para a seção.

a) 0,054.

b) 0,023.

c) 0,033.

d) 0,042.

e) 0,063.

3. Para um canal com seção trapezoidal com largura de fundo igual a 2,0 m, altura da lâmina d'água de 1,50 m e declividade (z) do talude de 1,00 m. Calcule a área molhada, o perímetro molhado e o raio hidráulico para a seção.

Sendo:

A = (b + Zy)y

$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2}$$

$$Rh = \frac{(b+Zy)y}{b+2y\sqrt{1+Z^2}}$$

A área molhada, o perímetro molhado e o raio hidráulico para essa seção são, respectivamente:

a) 8,25 m^2, 3,24 m e 1,84 m.
b) 5,25 m^2, 6,24 m e 0,84 m.
c) 6,24 m^2, 0,84 m e 5,25 m.
d) 3,25 m^2, 7,00 m e 3,0 m.
e) 5,52 m^2, 6,42 m e 0,84 m.

Seção 4.3

Técnicas compensatórias em drenagem urbana: medidas não estruturais

Diálogo aberto

Continuando o projeto do loteamento abordado na Seção 4.2, em que você foi designado a elaborar um relatório destinado à viabilização do empreendimento, focado no estudo do impacto da construção nas estruturas existentes de drenagem urbana. Foi solicitado, pelo órgão municipal de gestão de águas urbanas, a apresentação de medidas não estruturais para minimização de danos no caso de enchente dos cursos d'água que cruzam o terreno do loteamento, permitindo, assim, o desenvolvimento adequado para a região diminuindo futuras despesas.

Não pode faltar

Técnicas compensatórias em drenagem urbana: medidas não estruturais

O controle de inundações é obtido por meio do conjunto de medidas estruturais e não estruturais que permite à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio, incluindo medidas de engenharia, de cunho social, econômico e administrativo (ANDRADE FILHO; SZÉLIGA; ENOMOTO, 2000). Os métodos não estruturais incluem a restrição da urbanização em áreas de risco, evacuação temporária de áreas sujeitas a inundações e redução do escoamento superficial com medidas de gestão da bacia hidrográfica. Comunidades desenvolvidas têm sistemas de alerta de enchentes, com sondas de medição do nível de cursos d'água e águas pluviais que são locadas em áreas críticas da bacia hidrográfica (WURBS; JAMES, 2002).

Nos itens a seguir serão estudadas algumas formas de medidas não estruturais para mitigação de danos provocados por enchentes.

Controle da ocupação urbana

Por zoneamento, entende-se que é o conjunto de regras para a ocupação das áreas de maior risco de inundação, visando a minimização futura das perdas materiais e humanas em face das grandes cheias e permitindo o desenvolvimento racional das áreas ribeirinhas. Para isso, a regulamentação das áreas apoia-se em mapas com demarcação de áreas de diferentes riscos e nos critérios de ocupação, tanto ao uso quanto aos aspectos construtivos (TUCCI, 2012).

Para Barros (2005), a ocupação do solo está diretamente ligada ao processo de infiltração e, por conseguinte, à produção de escoamento superficial. As leis de uso e ocupação do solo, na maioria dos casos, dependem do plano diretor do município que, por sua vez, deve conter como partes dos seus objetivos básicos a minimização dos impactos da impermeabilização do solo, a proteção de áreas marginais que compõem o leito maior dos córregos e rios e a proteção de áreas sujeitas a deslizamentos, encostas íngremes etc.

A preservação de áreas verdes e ribeirinhas é uma medida fundamental para não agravar o desempenho do sistema de drenagem e evitar o crescimento das vazões no tempo (BARROS, 2005).

Segundo Tucci (2012), o zoneamento das áreas sujeitas a inundações engloba as seguintes etapas:

- Determinação do risco de enchentes.
- Mapeamento das áreas de inundação.
- Zoneamento propriamente dito: uso e ocupação das áreas.

O risco de ocorrência de inundação varia com a cota topográfica da várzea. Áreas mais baixas estão sujeitas a maior frequência de ocorrência de enchentes.

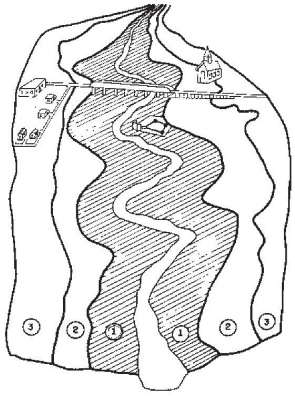
Quando o leito menor dos rios passa por um período maior que dois anos sem extravasar, existe a tendência de ocupação, de diferentes formas, das áreas de várzea pela população. Essa ocupação, em caso de cheias, gera danos de grande impacto nos ocupantes dessas áreas, e também para a população mais a montante, uma vez que ocorre a elevação dos níveis d'água decorrentes da obstrução ao escoamento natural causada pelos ocupantes a jusante (TUCCI, 2012).

Para Tucci (2012), a seção de escoamento do rio pode ser dividida em três partes principais, ilustradas, esquematicamente, na Figura 4.11.

Na faixa 1 dessa figura, chamada de zona de passagem de enchente, parte da seção funciona hidraulicamente e permite o escoamento da enchente. Qualquer construção

nessa área reduzirá a área de escoamento, elevando os níveis a montante da seção. A faixa 2, zona com restrições, é a área restante da superfície inundável que deve ser regulamentada. Essa zona fica inundada, mas, devido às pequenas profundidades e baixas velocidades, não contribui muito para a drenagem da enchente. A zona de baixo risco, faixa 3, tem pequena probabilidade de ocorrência de inundações, sendo atingida apenas por vazões excepcionais, com pequena altura de lâmina d'água e baixas velocidades. Essa área não necessita regulamentação quanto às cheias (TUCCI, 2012).

Figura 4.11 | Esquema de zoneamento



Fonte: Tucci (2012, p. 645)

Sistemas de alerta

Para um sistema de alerta ser eficaz, medições em tempo real da precipitação e dos níveis dos cursos d'água críticos devem ser monitorados, e a informação deve ser transmitida para todos os munícipes de forma rápida e precisa através de televisão, rádio, internet, telefone etc. As previsões devem ser feitas baseando-se na precipitação projetada, relacionando os efeitos por causa de tempestades anteriores para a bacia em questão (WURBS; JAMES, 2002).

Pesquise mais

O monitoramento de rios urbanos é a finalidade do sistema que detecta enchentes em rios e córregos por meio de uma rede de sensores sem fio, permitindo que a população seja avisada sobre eventuais riscos.

Disponível em: <http://www.icmc.usp.br/noticias/851-sistema-desenvolvido-no-icmc-monitora-enchentes-em-sao-carlos>. Acesso em: 23 mar. 2017.

As cidades devem ter um plano de ação, um de contingências, para agir de forma integrada e eficiente a fim de minimizar os impactos das inundações. Os radares permitem a previsão quantitativa de chuva em curtíssimo prazo, com poucas horas de antecedência, possibilitando também a previsão de cheias e inundações (BARROS, 2005).

Barros (2005) ressalta que o sistema de alerta deve ser acompanhando de um sistema de drenagem eficiente e que este sistema é uma medida não estrutural, voltada à minimização dos impactos das chuvas intensas que caem em regiões com sistema deficiente de drenagem.



Reflita

O sistema de alerta é uma forma de minimização dos danos causados pelas enchentes. Não pode ser visto como uma solução para a drenagem ineficiente do local.

Seguros

O Seguro Enchente é uma proposta com bastante utilização no exterior, para habitantes em regiões de várzea. Esta, em geral, é formada a partir de um fundo criado pela própria comunidade, em que cada proprietário paga uma quantia, em razão do dano esperado em seu lote em caso de inundação. A fixação dos valores de apólice e do prêmio depende de estudos hidrológicos, de avaliação de risco e de levantamento detalhado dos danos (BARROS, 2005).

Segundo Righetto et al. (2007), os modelos de seguro contra enchentes têm as seguintes etapas:

1) Identificação do prêmio inicial, taxa de juros, máximo valor do fundo do seguro e massa de assegurados.

2) Simulações sintéticas de cenários para diferentes tempos de retorno diante da ocorrência de enchentes.

3) Otimização de prêmios.

4) Análise de sensibilidade para diferentes coberturas de seguro.

Convivência e educação ambiental

Para Barros (2005), a educação ambiental é um instrumento fundamental para desencadear uma nova postura em relação à interação do homem com o meio de forma harmônica e sustentável. Segundo Andrade Filho, Széliga e Enomoto (2000),

deve ser realizado junto à população um programa de educação ambiental, sendo primordial a conservação das margens dos cursos d'água, sua vegetação nativa e conservação dos taludes naturais, para minimizar os riscos de enchentes.

Nos programas de educação ambiental, a participação da comunidade é indispensável para o sucesso do programa, criando atividades nas quais o objetivo é a conscientização da população ribeirinha, mostrando a importância da interação do homem com o seu habitat.



Assimile

A educação ambiental deve atingir todos os níveis de escolaridade, oferecendo instruções teóricas de temas, como ciclo hidrológico, gestão de bacias hidrográficas, influência da intervenção do homem no meio para o agravamento de enchentes etc. No entanto, além de tudo, a educação ambiental deve ter programas de ordem prática, nos quais toda a comunidade possa participar, incluindo qualquer nível de escolaridade.

Integração do plano diretor de drenagem urbana ou plano diretor de manejo de águas pluviais urbanos e sua relação com os demais planos urbanos

A consolidação das medidas do sistema de drenagem urbana, com a definição das medidas estruturais e não estruturais, ocorre por meio do plano diretor de drenagem da cidade e/ou de uma bacia hidrográfica, sendo este o principal instrumento de planejamento e gestão da drenagem do município (BARROS, 2005).

Para Tucci (1997), nos planos diretores de drenagem deve ser dado maior ênfase ao controle, por meio de medidas não estruturais, como o zoneamento de áreas de inundação, tema já discutido anteriormente.

Um plano de drenagem urbana deve buscar:

(i) Planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana, compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais.

(ii) Controlar a ocupação de áreas de risco de inundação propondo restrições às áreas de alto risco e convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco (TUCCI, 1997).

O plano diretor municipal de drenagem deve ser conduzido em consonância com o plano diretor urbano, que representa um dos mais importantes documentos da gestão do município. ESTE estabelece todos os critérios de ocupação da área urbana e, portanto, guarda relação direta com a drenagem (BARROS, 2005).

Devido à interferência que a ocupação do solo tem sobre a drenagem, existem elementos do plano de drenagem que são introduzidos no plano diretor urbano ou na legislação de ocupação do solo. Portanto, o plano de drenagem urbana (PDU) deve ser um componente do plano diretor de planejamento urbano de uma cidade (TUCCI, 1997).

O plano de drenagem se relaciona ainda com os demais planos diretores de saneamento básico, podendo, inclusive, ser um capítulo desse plano maior, o de saneamento básico do município. É importante essa relação com os sistemas de coleta, tratamento e disposição dos resíduos sólidos, além da integração com as demais infraestruturas do município, especialmente as subterrâneas.

O plano de drenagem também está relacionado com as legislações locais de proteção de áreas sujeitas a deslizamentos, que pode ser um plano próprio ou estar contido nos planos diretores urbanos. Para Barros (2005), essas áreas, por serem instáveis, sofrem processos de erosão acelerada, gerando grandes volumes de sedimentos, que, por sua vez, assoreiam galerias e rios, diminuindo o desempenho do sistema de drenagem.

Os planos diretores de drenagem devem prever medidas de curto (máximo 2 anos), médio (4 anos) e longo prazo (10 anos). Além disso, o plano deve ser constantemente revisado, o mais comum é que isso ocorra a cada 4 anos.

Segundo Barros (2005), a estrutura desse plano diretor não é fixa e depende da sua área de abrangência, do seu grau de detalhamento e do modo pelo qual a gestão administra a cidade. Esse autor apresenta as seguintes fases para elaboração do plano municipal de drenagem:

Fase 1 – definições básicas, coleta de informações e diagnóstico preliminar da situação do sistema de drenagem:

- São definidas as premissas básicas para desenvolver o plano.
- Determinação dos objetivos básicos, da área de estudo e dos horizontes de tempo para implantação das medidas propostas.
- Levantamento de todos os dados básicos: ocupação do solo, habitação, sistema viário, informações hidrológicas e hidráulicas, características físicas da bacia, geologia, inventário das redes e galerias existentes e determinação de áreas sujeitas a inundação.

Fase 2 - proposições de medidas de curto prazo, incluindo monitoramento e outros levantamentos de campo:

- Com os dados e diagnóstico prontos são feitas propostas imediatas e/ou de curto prazo.

- Dependendo da situação, faz-se necessário obras emergenciais.

Fase 3 – elaboração de cenários e definição de medidas de médio e longo prazo e análise econômica:

- São propostas medidas de prazo mais longo.
- Identificação dos vetores de crescimento da cidade e os cenários de ocupação da bacia para médio e longo prazo.
- Estudo de propostas de medidas estruturais e não estruturais necessárias a cada tempo.
- Avaliação dos custos e benefícios para verificar a viabilidade econômica e dar suporte à hierarquização das prioridades e ao estabelecimento dos cronogramas.

Fase 4 – hierarquização das propostas, proposição de medidas de caráter legal e institucional e outros programas:

- Implementação do plano, em que as obras e as medidas são hierarquizadas segundo critérios estabelecidos pelo gestor da drenagem para execução.
- As medidas definidas pelo plano devem ser sintetizadas em projeto de lei para garantir a implementação pelo poder público.
- O plano deve propor também programas específicos de ação contínua, como sistema de monitoramento hidrológico, sistema de alerta, automação das operações, educação ambiental, campanhas publicitárias etc.



Exemplificando

Um exemplo de relevância é o plano diretor de macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (PDAT), no qual localiza-se a região metropolitana de São Paulo. A proteção da área a montante da cidade de São Paulo é fundamental para não agravar as inundações e preservar a capacidade das obras atuais em implantação.

Sem medo de errar

Continuando o projeto do loteamento em questão, foi solicitado, pelo órgão municipal de gestão de águas urbanas, a apresentação de medidas não estruturais para minimização de danos no caso de enchente dos cursos d'água que cruzam

o terreno do loteamento, permitindo, assim, o desenvolvimento adequado para a região e diminuindo futuras despesas.

Solução:

Dentre as medidas a serem tomadas para minimizar danos, o zoneamento da ocupação do solo é sem dúvida a mais importante. Visto isso, o loteamento em questão deverá ter toda a área de várzea preservada. O relevo natural do terreno será preservado na sua essência. Como o loteamento não está em uma área acidentada, não existe risco de deslizamentos. Além do zoneamento, serão instaladas sondas com detecção e aviso em tempo real e alertas sobre o nível dos cursos d'água. Todos os moradores serão cadastrados para que a informação seja recebida com eficiência. O loteamento já conta com plano de gestão sustentável de drenagem, obrigando a retenção das águas no próprio lote dos moradores e nas áreas comuns do loteamento. Como forma de intensificar e massificar a importância da gestão adequada das águas urbanas, será desenvolvido, entre os moradores do loteamento, um programa permanente de educação ambiental, com ações teóricas e práticas na área. Incluir os moradores no sistema de gestão de águas pluviais é fundamental para que a infraestrutura de drenagem funcione adequadamente.

Avançando na prática

Planos de drenagem

Descrição da situação-problema

Você, como engenheiro especialista em gestão de águas pluviais, foi contratado pela prefeitura municipal para apresentar um anteprojeto do futuro plano diretor de drenagem urbana.

Foi solicitado um relatório reduzido mostrando os principais pontos de um plano diretor de drenagem urbana e sua estrutura, que será enviado a todos os envolvidos no projeto.

Apresente, resumidamente, a estrutura essencial de um plano diretor de drenagem urbana.

Resolução da situação-problema

De acordo Tucci e Silveira (2002), os planos de drenagem devem contemplar a seguinte estrutura:

- Informações: levantamento de dados básicos, como o cadastro de rede pluvial, dados físicos da bacia hidrográfica, dados hidráulicos e hidrológicos, uso e tipo do solo e levantamento de planos municipais, como o de saneamento básico.
- Fundamentos: definições bases do plano, incluindo os princípios e objetivos, as estratégias e os cenários de estudo e diagnóstico.
- Desenvolvimento do plano: definem-se as medidas estruturais e não estruturais, em função de objetivos, estratégias, cenários e riscos definidos anteriormente, e a avaliação econômica, em que se desenvolvem os estudos de avaliação das alternativas propostas e os mecanismos financeiros para viabilizar as diferentes medidas.
- Produtos: estabelecimento de planos de ação, projetos de lei e o manual de drenagem.
- Programas de médio e longo prazo: estudos adicionais, programas de educação ambiental e monitoramento.

Faça valer a pena

1. Sobre as técnicas compensatórias em drenagem urbana, pode-se afirmar:

I- Dentre as medidas estruturais destacam-se obras de engenharia, como os canais e os reservatórios.

II- As medidas não estruturais são medidas de gestão que visam a melhor convivência e a minimização de perdas em caso de enchentes.

III- São medidas não estruturais: sistema de alerta, zoneamento urbano, cisternas e educação ambiental.

IV- O zoneamento urbano relaciona-se com o sistema de drenagem, uma vez que influencia o processo de infiltração e, por conseguinte, a produção de escoamento superficial.

É correto o que se afirma em:

a) I e II.

b) II e III.

c) I, III e IV.

d) I, II e IV.

e) I, II, III e IV.

2. Sobre o zoneamento urbano, o uso e a ocupação do solo, dentro dos conceitos de drenagem urbana, afirma-se:

I. O zoneamento urbano é importante para a gestão das águas pluviais e atua visando a minimização de perdas em virtude, principalmente, das enchentes.

II. A limitação da ocupação urbana inibi o desenvolvimento da região, sendo um grande prejuízo para a população local.

III. A regulamentação das áreas apoia-se em mapas com demarcação de áreas de diferentes riscos e nos critérios de ocupação.

IV. A impermeabilização da bacia e dos revestimentos artificiais lisos nos canais urbanos facilita o escoamento, aumentando a velocidade e diminuindo o risco de enchentes a jusante.

É correto o que se afirma em:

a) I e IV.

b) I e III.

c) I, II e III.

d) II, III e IV.

e) I, II, III e IV.

3. O zoneamento urbano, os sistemas de alerta e a educação ambiental são ações que estão diretamente inter-relacionadas. Sobre essas medidas, afirma-se:

I. A preservação de áreas verdes e ribeirinhas é uma medida fundamental para não sobrecarregar a infraestrutura de drenagem.

II. O risco de ocorrência de inundação varia com a cota topográfica da várzea. Áreas mais altas estão sujeitas a maior frequência de ocorrência de enchentes.

III. Para um sistema de alerta ser eficiente, medições em tempo real da precipitação e dos níveis dos cursos d'água críticos devem ser monitoradas e a informação deve ser transmitida.

IV. A educação ambiental é um instrumento fundamental para desencadear uma nova postura em relação à interação do homem com o meio de forma harmônica e sustentável.

É correto o que se afirma em:

a) I e IV.

b) I e II.

c) I, III e IV.

d) II e III.

e) I, II, III e IV.

Referências

ANDRADE FILHO, A. G. de; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. Estudo de medidas não estruturais para controle de inundações urbanas. **Revista Publicatio UEPG**: Ciências Exatas, e da Terra, Agrárias e Engenharias, Ponta Grossa, v. 1, n. 1, 2000.

BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

BAPTISTA, M.; PÁDUA, V. L. **Restauração de sistemas fluviais**. Belo Horizonte: UFMG e Manole, 2016.

BARROS, M. T. L. Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento. In: PHILIPPI, J. R.; ARLINDO, M. (Orgs.). **Saneamento, saúde e ambiente:** fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005. p. 221-265.

BRIGHETTI, G.; MARTINS, J. R. S. **Estabilização e proteção de margens**. Curso de mestrado da EPUSP Universidade de São Paulo. São Paulo: EPUSP, 2001.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARVALHO, Roberto. **Água de chuva**: desviUFPE guia de dimensionamento e montagem. 2014. Disponível em: <https://youtu.be/tgvv06essYs>. Acesso em: 22 mar. 2017.

CHIN, David A. et al. **Water-resources engineering**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 2000.

COELHO, M. M.; BAPTISTA, M. B. Noções de hidráulica fluvial. In: BAPTISTA, M. B.; PÁDUA, V. L. (Org..). **Restauração de sistemas fluviais**, Belo Horizonte: UFMG e Manole, 2016. p. 115-157.

ESCARAMEIA, M. **River and channel revetments:** a design manual. London: Thomas Elford Publications, 1998.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

OFICINA DE TEXTOS. Webinar: dimensionamento hidráulico de canalizações em gabiões. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=96_g35YDk5A>. Acesso em: 23 mar. 2017.

PASTRELO, D. M. **Sistema desenvolvido no ICMC monitora enchentes em São Carlos**. São Carlos: Universidade de São Paulo – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, 2012. Disponível em: <http://www.icmc.usp.br/noticias/851-sistema-desenvolvido-no-icmc-monitora-enchentes-em-sao-carlos>. Acesso em: 23 mar. 2017.

RIGHETTO, J. M. et al. Modelo de seguro para riscos hidrológicos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 107-113, 2007.

ROMANO, G. Imagens da juventude na era moderna. In: LEVI, G.; SCHMIDT, J. (Orgs.). **História dos jovens 2**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 7-16.

ROWE, P. G. Urbanismo. **Revista aU**, São Paulo, ed. 234, 2013. Disponível em: <http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/234/restauracao-do-cheonggyecheon-seul-coreia-do-sul-296126-1.aspx>. Acesso em: 23 mar. 2017.

SHAMMAS, N. K. et al. **Abastecimento de água e remoção de resíduos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO 6., Presidente Prudente, 1998. **Anais...** Presidente Prudente, v. 1. p. 92-101, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2012.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

VIDE, J. P. M. Hidromorfologia fluvial. In: BAPTISTA, M. B.; PÁDUA, V. L. (Orgs.). **Restauração de sistemas fluviais**. Belo Horizonte: UFMG e Manole, 2016. p. 71-114.

WILSON, S. et al. Sustainable drainage. In: **Cambridge design and adoption guide**. Cambridge: Cambridge City Council, 2009.

WURBS, R. A.; JAMES, W. P. **Water resources engineering**. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

Anotações

Anotações

ISBN 978-85-8482-863-0