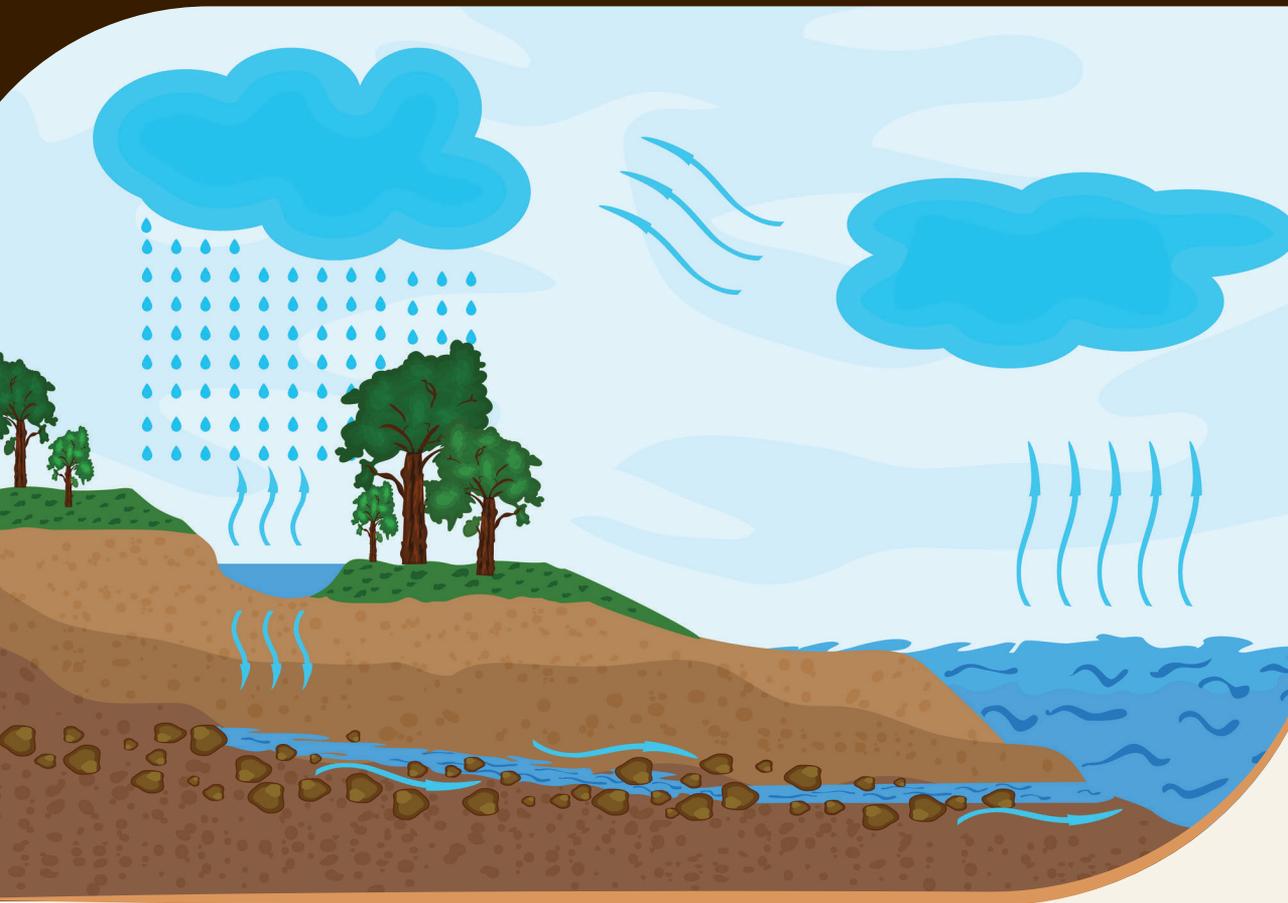


ANTENOR RODRIGUES BARBOSA JÚNIOR

# ELEMENTOS DE HIDROLOGIA APLICADA



**Blucher**

Antenor Rodrigues Barbosa Júnior

# ELEMENTOS DE HIDROLOGIA APLICADA

*Elementos de hidrologia aplicada*

© 2022 Antenor Rodrigues Barbosa Júnior  
Editora Edgard Blücher Ltda.

*Publisher* Edgard Blücher

*Editor* Eduardo Blücher

*Coordenação editorial* Jonatas Eliakim

*Produção editorial* Lidiane Pedroso Gonçalves

*Preparação de texto* Ana Lúcia dos Santos

*Diagramação* Taís do Lago

*Revisão de texto* Ana Maria Fiorini

*Capa* Leandro Cunha

*Imagem da capa* iStockphoto

---

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel 55 11 3078-5366  
**contato@blucher.com.br**  
**www.blucher.com.br**

Segundo o Novo Acordo Ortográfico,  
conforme 6. ed. do *Vocabulário Ortográfico*  
*da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de  
Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por  
quaisquer meios sem autorização escrita da  
editora.

---

Todos os direitos reservados pela Editora  
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

---

Barbosa Júnior, Antenor Rodrigues  
Elementos de hidrologia aplicada / Antenor  
Rodrigues Barbosa Júnior. -- São Paulo : Blucher, 2022.  
430 p.

#### Bibliografia

ISBN 978-65-5506-080-5 (impresso)  
ISBN 978-65-5506-081-2 (eletrônico)

1. Hidrologia 2. Ciclo hidrológico 3. Balanço  
hidrológico I. Título

22-0719

CDD 551.48

---

Índices para catálogo sistemático:  
1. Hidrologia

# CONTEÚDO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1 Água: importância e distribuição	17
1.2 Hidrologia, engenharia de recursos hídricos e aplicações	19
1.3 O ciclo hidrológico	23
1.4 Avaliação quantitativa dos componentes do ciclo hidrológico: a equação do balanço hídrico	26
<b>2. BACIA HIDROGRÁFICA</b>	<b>37</b>
2.1 Generalidades	37
2.2 Contorno ou divisor de água da bacia hidrográfica	38
2.3 Caracterização da bacia hidrográfica	40
<b>3. PRECIPITAÇÃO</b>	<b>67</b>
3.1 Regime hidrológico e precipitação: aspectos gerais	67
3.2 Formação e tipos de precipitações	68
3.3 Grandezas e medidas das precipitações	71
3.4 Análise de dados pluviométricos	76
3.5 Precipitação média sobre uma bacia	84
3.6 Análise de frequência	90
3.7 Análise das chuvas intensas	108

<b>4. INFILTRAÇÃO</b>	<b>119</b>
4.1 Generalidades	119
4.2 O processo da infiltração – evolução do perfil de umidade	120
4.3 Capacidade de infiltração e taxa real de infiltração	121
4.4 Fatores que intervêm na capacidade de infiltração	124
4.5 Métodos de quantificação direta da capacidade de infiltração	125
4.6 Métodos matemáticos de quantificação da infiltração	127
4.7 Avaliação da capacidade de infiltração em uma bacia	145
Anexo do capítulo 4	146
<b>5. EVAPORAÇÃO – EVAPOTRANSPIRAÇÃO</b>	<b>153</b>
5.1 Evaporação, transpiração e evapotranspiração: generalidades	153
5.2 Grandezas características	154
5.3 Fatores intervenientes e alguns conceitos básicos	154
5.4 Métodos de quantificação da evaporação	158
5.5 Métodos de quantificação da evapotranspiração	173
<b>6. ESCOAMENTO SUPERFICIAL</b>	<b>187</b>
6.1 Generalidades	187
6.2 Fatores que influenciam o escoamento superficial	188
6.3 Grandezas características e conceitos fundamentais	190
6.4 Hidrógrafa ou hidrograma	193
6.5 Métodos de estimativa do escoamento superficial a partir de dados de chuva	208
6.6 Hietograma-base e hietograma da chuva efetiva	266
Anexo do capítulo 6	270
<b>7. PREVISÃO DE ENCHENTES</b>	<b>281</b>
7.1 Generalidades	281
7.2 Cálculo da vazão de enchente	281
7.3 Período de retorno para o cálculo da enchente	282
7.4 Uso da lei de probabilidade na previsão de enchentes	288
7.5 Fórmulas práticas para a vazão de enchente de projeto	315

<b>8. PERMANÊNCIA DE VAZÃO</b>	<b>321</b>
8.1 Generalidades	321
8.2 Construção da curva de permanência	322
8.3 Vazões mediana e média	324
<b>9. REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO E PROPAGAÇÃO DE CHEIAS</b>	<b>331</b>
9.1 Generalidades	331
9.2 Curvas cota <i>versus</i> área e cota <i>versus</i> volume do reservatório	333
9.3 Zonas de armazenamento de um reservatório – terminologia	334
9.4 Cálculo do volume do reservatório de acumulação	335
9.5 Propagação de cheia: generalidades	342
<b>10. VAZÕES MÍNIMAS</b>	<b>369</b>
10.1 Generalidades	369
10.2 Análise de frequência das vazões mínimas	370
<b>11. ÁGUA SUBTERRÂNEA – HIDRÁULICA DE POÇOS</b>	<b>383</b>
11.1 Introdução	383
11.2 Conceitos de homogeneidade e isotropia	383
11.3 Água subterrânea	384
11.4 Aquíferos	388
11.5 Propriedades dos aquíferos e parâmetros que caracterizam a relação solo-água	391
11.6 Hidráulica de poços	402
<b>12. REFERÊNCIAS</b>	<b>427</b>

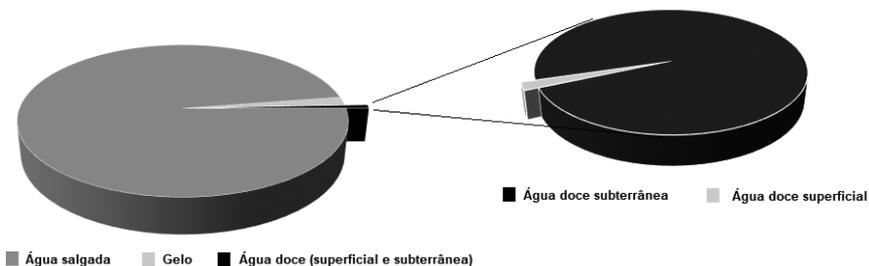
# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ÁGUA: IMPORTÂNCIA E DISTRIBUIÇÃO

A água, líquido precioso e bem comum de toda a humanidade, é um recurso natural de grande valor econômico, ambiental e social, fundamental à sobrevivência e ao bem-estar do homem e dos ecossistemas. Pela sua abundância, isto é, pelo fato de 70% da superfície terrestre serem cobertos por água, há a falsa impressão de que ela é um recurso infinito.

O volume total de água presente no globo terrestre é de, aproximadamente, 1,4 milhão de quilômetros cúbicos, dos quais em torno de 97,5% encontram-se nos oceanos. Portanto, 2,5% são de água doce, cuja maior parte, todavia, encontra-se na forma de gelo nas calotas polares e nos cumes de montanhas, restando uma pequena porcentagem de águas superficiais e subterrâneas para as atividades humanas. Em termos aproximados, do volume total de água doce, quase 70% apresentam-se na forma de gelo; perto de 30% estão nos aquíferos (água subterrânea); algo próximo a 0,5% corresponde às águas que formam os rios e lagos; e 0,9% – o restante – está distribuído na atmosfera, em reservatórios de água, na forma de vapor. A Figura 1.1 procura ilustrar a distribuição quantitativa da água no globo terrestre.

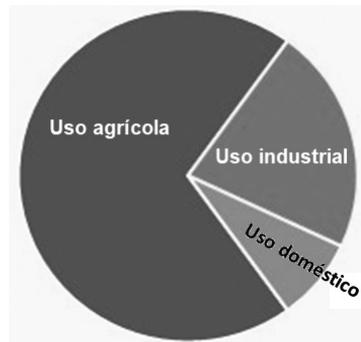


**Figura 1.1** – Formas de ocorrência da água no planeta.

Devido ao crescimento populacional acelerado e ao desenvolvimento industrial e tecnológico, as fontes disponíveis de água doce estão cada vez mais comprometidas. O desmatamento e a impermeabilização do solo, o assoreamento dos rios e lagos, a poluição dos mananciais e o uso inadequado da água na irrigação têm sido as principais causas de comprometimento das fontes de água doce no planeta. Atualmente, em torno de 1,5 bilhão de pessoas carece de água potável no mundo. E o consumo humano de água, segundo diversos estudos, duplica a cada 25 anos, aproximadamente. Como consequência desse cenário, a água doce progressivamente vem se tornando escassa, aumentando-se cada vez mais o seu valor econômico e a concorrência por ela.

Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, 2012), se o atual ritmo de crescimento demográfico mundial for mantido e se não for estabelecida uma exploração sustentável da água do planeta, o consumo humano neste século poderá chegar a 90% de toda a água doce disponível, o que significa que restarão apenas 10% para os outros seres vivos.

A utilização da água, recurso natural, bem econômico e social e parte integrante do ecossistema, tem sido determinada pela sua quantidade e qualidade. Em termos médios globais, 67% da água utilizada pelo homem são para fins agrícolas, 23%, para fins industriais e 10%, para abastecimento público (Figura 1.2). Nos países mais desenvolvidos, ocorre uma inversão dos números relativos aos usos na agricultura e na indústria.



**Figura 1.2** – Consumo médio global de água no planeta.

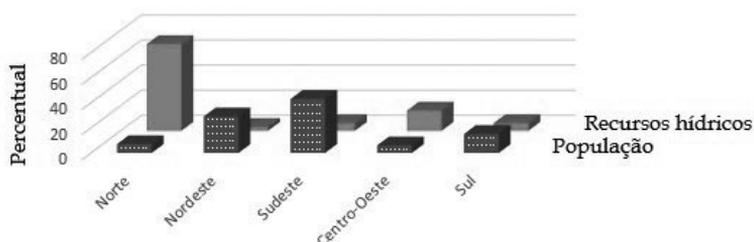
Atualmente, embora sejam crescentes as preocupações com o uso sustentável da água para o futuro do planeta, há um flagrante descompasso com a realidade, especialmente em países pouco desenvolvidos, onde há um desperdício desenfreado, aliado à poluição dos rios, lagos e nascentes. Nesses países, a água utilizada pelo homem quase sempre retorna ao meio ambiente sem tratamento, contribuindo decisivamente para a contaminação dos rios próximos às cidades.

A fim de satisfazer e conciliar as necessidades de água para as atividades humanas e para a manutenção dos ecossistemas aquáticos, visando à perenidade desse recurso, devem-se proteger as fontes e os mananciais de água. O entendimento geral é de que o desenvolvimento e o uso dos recursos hídricos devem estar prioritariamente associados tanto à satisfação das necessidades básicas humanas quanto à proteção dos ecossistemas,

e, ainda, de que à água deve ser atribuído valor econômico, o que significa que os usuários devem pagar tarifas adequadas em função da natureza e modalidade do uso.

Em nosso país, a despeito dos esforços de conscientização da necessidade de o homem empreender o enfrentamento do problema da escassez e da contaminação da água, pode-se dizer que os resultados práticos ainda não são satisfatórios. Com exceção das regiões em que a água é naturalmente escassa, como ocorre no Nordeste brasileiro, em muitos lugares, a população aparentemente ainda não se deu conta de que é finita a disponibilidade desse recurso fundamental para a vida no planeta.

Quando o assunto é disponibilidade de água doce, o Brasil é um país privilegiado, pois em torno de 12% dessas reservas mundiais estão no território brasileiro (BRASIL, 2009). Contudo, de acordo com a mesma fonte, em nosso país, a distribuição dessa água é bastante irregular. Praticamente 68% dela encontram-se na região Norte, onde vivem aproximadamente 7% de toda a população do país. Já a região Sudeste, onde se encontram 43% da população, ou seja, a maior concentração, dispõe de apenas 6% dos recursos hídricos nacionais. No Nordeste, onde vivem 29% da população, os recursos hídricos atingem pouco mais de 3%; na região Sul, que abrange 15% da população brasileira, os recursos hídricos disponíveis atingem 7% do total nacional, enquanto o Centro-Oeste, que abriga pouco mais de 6% da população brasileira, dispõe de quase 16% dos recursos hídricos nacionais. Por esse quadro, conclui-se que apenas 30% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 93% da população. A Figura 1.3 procura ilustrar os números apresentados.



**Figura 1.3** – Distribuição dos recursos hídricos por regiões do Brasil.

No Brasil, a água doce está cada vez mais ameaçada em quantidade e qualidade em face do crescimento populacional, do desenvolvimento industrial e tecnológico e das formas de ocupação e uso desordenado do solo, que vêm acompanhados dos problemas causados pela poluição, erosão, desertificação e contaminação dos lençóis d'água subterrâneos. Soma-se a isso o problema da distribuição da água tratada nos centros urbanos, onde, em média, de 40% a 60% de todo o volume são perdidos no percurso entre a captação e os pontos de consumo, havendo, assim, desperdício.

## 1.2 HIDROLOGIA, ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E APLICAÇÕES

Hidrologia é uma ciência interdisciplinar que se desenvolveu significativamente ao longo do tempo em face do aumento do uso da água, dos crescentes problemas

decorrentes da ação antrópica nas bacias hidrográficas e dos impactos produzidos sobre o meio ambiente.

O Conselho Federal para Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos da América (U. S. Federal Council for Science and Technology) deu uma definição para a hidrologia como ciência que tem sido amplamente aceita: traduzindo a definição do mencionado Conselho (conforme JONES *et al.*, 1963, p. 3), a hidrologia é a

ciência que trata da água na Terra, da sua ocorrência, circulação e distribuição, das suas propriedades físicas e químicas e das suas relações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida.

A hidrologia, ou ciência hidrológica, é bastante abrangente e pode ser subdividida em diferentes áreas de conhecimento associadas, a saber:

- hidrometeorologia, que estuda a água na atmosfera;
- limnologia, voltada para o estudo dos lagos e reservatórios;
- potamologia, que estuda os rios;
- glaciologia, que estuda a água superficial, particularmente quando esta se apresenta sob a forma de gelo;
- hidrogeologia, que é especificamente voltada para o estudo das águas na crosta terrestre, com ocorrência subterrânea.

Considerados o alcance da definição apresentada para a ciência hidrológica e a abrangência das subáreas do conhecimento enunciadas, pode-se prever com relativa facilidade a variedade de profissionais que potencial e frequentemente podem atuar nos diversos campos da hidrologia: engenheiros, agrônomos, geólogos, geógrafos, biólogos, químicos, matemáticos e estatísticos, entre outros.

Um pouco mais específica é a utilização da hidrologia na engenharia de recursos hídricos, por vezes também denominada engenharia hidrológica. Nesse caso, conforme Tucci (1993, p. 25-26), a hidrologia pode ser entendida como a

[...] área do conhecimento que estuda o comportamento físico da ocorrência e o aproveitamento da água na bacia hidrográfica, quantificando os recursos hídricos no tempo e no espaço e avaliando o impacto da modificação da bacia hidrográfica sobre o comportamento dos processos hidrológicos.

Dessa visão, surge uma nova subdivisão da hidrologia, representada pelas especializações nas seguintes subáreas da engenharia de recursos hídricos:

- hidrometeorologia (já definida anteriormente);
- geomorfologia de bacias hidrográficas, que estuda as características do relevo da bacia hidrográfica para melhor interpretar os seus efeitos sobre o escoamento;
- escoamento superficial, que estuda o movimento da água sobre a superfície do terreno da bacia hidrográfica;

- interceptação, que avalia a interceptação da água de chuva pela cobertura vegetal e outros obstáculos na bacia hidrográfica rural ou urbana;
- infiltração e escoamento em meio não saturado, que cuida da observação e previsão da infiltração da água no solo e do escoamento no meio não saturado;
- escoamento em meio saturado, que abrange o estudo do comportamento do fluxo em aquíferos;
- evaporação e evapotranspiração, que estuda e avalia as perdas de água por evaporação de superfícies livres, como lagos e reservatórios, e pela transpiração das árvores e outros vegetais;
- escoamento em rios e canais, que envolve a análise do escoamento em cursos de águas naturais e em condutos construídos pelo homem, normalmente tratados como escoamentos unidimensionais;
- fluxo dinâmico em reservatórios, lagos e estuários, que estuda o escoamento turbulento em meios de características multidimensionais;
- produção e transporte de sedimentos, que se ocupa da quantificação da erosão do solo e do transporte do sedimento na superfície da bacia e nos rios, decorrentes de condições naturais e do uso do solo na bacia hidrográfica;
- qualidade da água e meio ambiente, que abrange a quantificação de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água e visa à interação dos diversos usos e à avaliação dos impactos sobre o meio ambiente aquático.

Assim, considerada a amplitude das aplicações da hidrologia na engenharia de recursos hídricos, pode-se dizer que esse ramo da ciência está voltado para a solução dos problemas que abrangem a utilização dos recursos hídricos e a ocupação da bacia hidrográfica, bem como a preservação do meio ambiente.

Na utilização dos recursos hídricos, são relevantes os aspectos relacionados à disponibilidade hídrica, à necessidade de regularização de vazão etc., dentro de um contexto que requer ações de planejamento, operação e gerenciamento desses recursos.

Já os problemas decorrentes da ocupação da bacia pelo homem são vistos sob dois ângulos: de um lado, em decorrência da urbanização, analisa-se o impacto do meio sobre a população (enchentes, por exemplo); de outro, analisa-se o impacto sobre o meio ambiente provocado pelo uso do solo pelo homem. Nesse último caso, as ações devem ser planejadas de modo a compatibilizar o desenvolvimento com a preservação do meio ambiente, isto é, assegurando-se a preservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais, dentro do moderno conceito de *sustentabilidade*.

A título de ilustração, enumera-se a seguir um conjunto de exemplos de campos de atuação na engenharia e de problemas correlacionados, conforme exposto por Villela e Mattos (1975), em que a hidrologia tem influência direta tanto nos projetos quanto no planejamento do uso dos recursos hídricos.

i) Abastecimento de água:

- escolha das fontes para uso doméstico ou industrial.

- ii) Projeto e construção de obras hidráulicas:
  - fixação das dimensões hidráulicas de obras de arte (pontes, bueiros etc.);
  - barragens (localização e escolha do tipo de barragem, da fundação e do extravasor e dimensionamento da barragem);
  - estabelecimento do método construtivo.
- iii) Drenagem:
  - estudo das características do lençol freático;
  - exame das condições de alimentação e de escoamento natural do lençol (precipitações, bacia de contribuição e nível d'água de rios e ribeirões).
- iv) Irrigação:
  - problema da escolha do manancial;
  - estudo de evaporação e infiltração.
- v) Regularização de cursos d'água e controle de inundações:
  - estudo das variações de vazão;
  - previsão de vazões máximas;
  - exame das oscilações de nível e das áreas de inundação.
- vi) Controle da poluição:
  - análise da capacidade de autodepuração dos corpos d'água receptores de efluentes de sistemas de esgotos (vazões mínimas dos cursos d'água, capacidade de reaeração e velocidade do escoamento).
- vii) Controle de erosão:
  - análise da intensidade e da frequência das precipitações máximas;
  - determinação do coeficiente de escoamento superficial;
  - estudo da ação erosiva das águas e da proteção por meio de vegetação e outros recursos.
- viii) Navegação:
  - obtenção de dados e estudos sobre construção e manutenção de canais navegáveis.
- ix) Geração de energia (aproveitamento hidrelétrico):
  - previsão das vazões máximas, mínimas e médias dos cursos d'água para o estudo econômico e o dimensionamento das instalações de aproveitamento;
  - verificação da necessidade de reservatório de acumulação;
  - determinação dos elementos necessários ao projeto e construção do reservatório de acumulação (bacias hidrográficas, volumes armazenáveis, perdas por evaporação e infiltração).
- x) Operação de sistemas hidráulicos complexos.

- xi) Recreação e preservação do meio ambiente.
- xii) Preservação e desenvolvimento da vida aquática.

### 1.3 O CICLO HIDROLÓGICO

Na natureza, a água encontra-se em permanente movimento, em um ciclo interior às três unidades principais que compõem o nosso planeta: a atmosfera (camada gasosa que circunda a Terra), a hidrosfera (constituída pelas águas oceânicas e continentais) e a litosfera ou crosta terrestre (camada sólida mais externa constituída por rochas e solos). A dinâmica das transformações e a circulação nas referidas unidades formam um grande, complexo e intrínseco ciclo chamado *ciclo hidrológico*.

O ciclo hidrológico refere-se à troca contínua de água na hidrosfera, entre a atmosfera e a água do solo, águas superficiais, subterrâneas e das plantas. Ele representa o caminho percorrido pela água nos seus três estados físicos (sólido, líquido e gasoso), conforme ilustra a Figura 1.4.

Por conveniência e para facilitar a apresentação, introduz-se a consideração de que o ciclo hidrológico tem origem na evaporação da água dos oceanos, lagos e rios e das superfícies úmidas expostas à atmosfera. Dependendo das condições climáticas e da combinação de outros fatores físicos, o vapor d'água concentra-se nas camadas mais altas, formando as nuvens, que se modelam e se movimentam em função do deslocamento das massas de ar (vento). Sob determinadas condições físicas, surgem gotículas de água que, por efeito da ação da força da gravidade, precipitam-se das nuvens. Essa precipitação pode ocorrer na forma de chuva, granizo ou neve. Em nosso país, pela sua importância e pela magnitude frente às outras ocorrências, somente a precipitação na forma de chuva costuma ser considerada.<sup>1</sup>

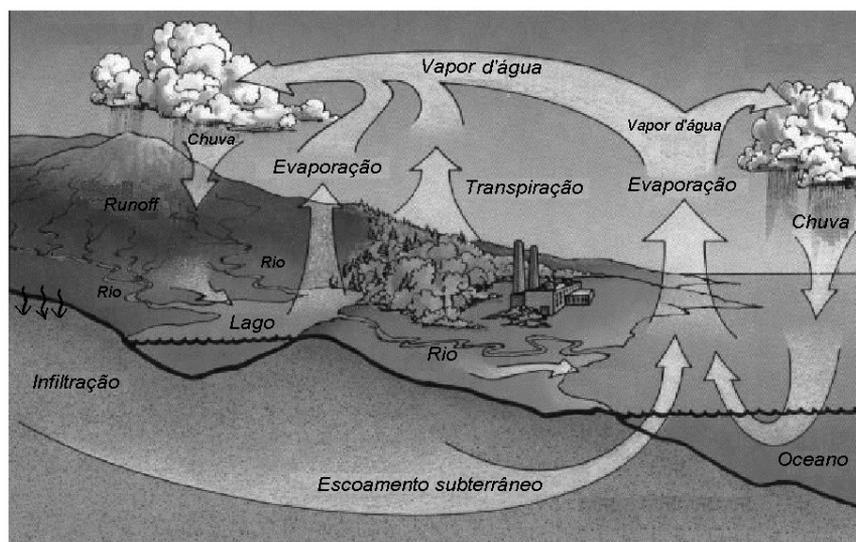


Figura 1.4 – O ciclo hidrológico (LEMOS, 2015, p. 68).

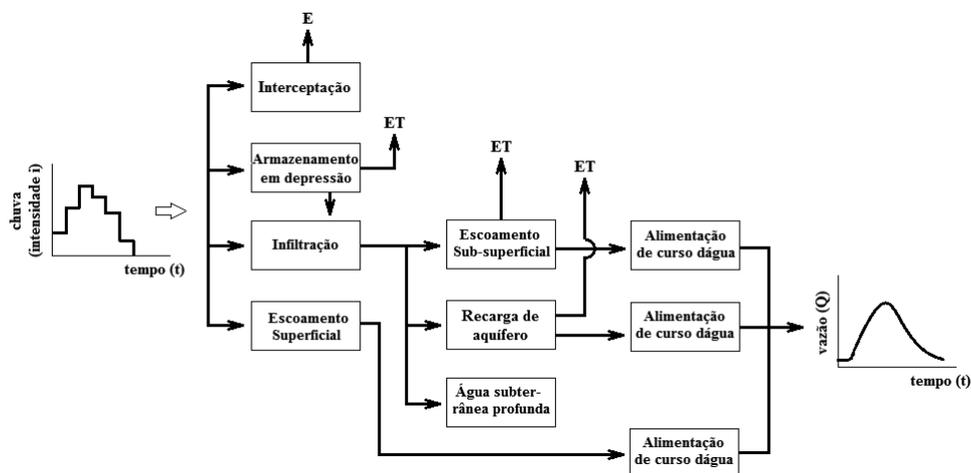
<sup>1</sup> Por essa razão, no restante do texto, será empregado o termo *precipitação* como sinônimo de “chuva”.

Acompanhando o que ocorre com a água da chuva que cai em um dado local, há as seguintes formas de repartição:

- i) Uma porção, conhecida como interceptação, é retida pela copa das árvores, arbustos e outras plantas e diferentes obstáculos, como telhados de construções etc., de onde, por fim, evapora.
- ii) O excesso, isto é, o que supera a capacidade de interceptação, soma-se à parcela da chuva que atinge diretamente o solo.
- iii) Da água da chuva que atinge o solo, uma fração infiltra-se no terreno; outra parte, após excedida a capacidade de infiltração do solo, formará poças ou pequenos armazenamentos nas depressões do terreno. Essa água de armazenagem superficial estará sujeita à evaporação.
- iv) Superada a capacidade de armazenamento nas depressões do terreno, o restante da água escoará em direção às partes baixas, formando o escoamento superficial.
- v) Da parcela da *água de infiltração*, parte vai ocupar a zona das raízes e será utilizada pelas plantas. Dessa água utilizada pelos vegetais, parte retorna à atmosfera pelo processo de transpiração.
- vi) Outra parte da *água de infiltração* escoar através dos espaços intergranulares e, saturando o solo, vai recarregar os aquíferos, ou, escoando em direção às camadas mais profundas, vai formar os armazenamentos subterrâneos mais profundos.
- vii) A água que escoar superficialmente sob a ação da gravidade termina por se juntar aos cursos d'água naturais, como procura representar o esquema da Figura 1.5. Relativamente ao total precipitado, a parcela da água de precipitação que escoar pela superfície do terreno (*overland flow*) é chamada de *precipitação efetiva* ou *precipitação excedente*. Sob o ponto de vista do escoamento, é também conhecida como *escoamento superficial direto* ou *runoff*. Alguma evaporação também ocorre desse escoamento superficial direto.
- viii) O destino final de todos os cursos d'água naturais são os lagos, mares e oceanos, que, com mais intensidade, estão sujeitos à evaporação.
- ix) A evaporação, junto com a transpiração, leva a umidade (água na forma de vapor) de volta à atmosfera, resultando na formação das nuvens. Em condições favoráveis, terá origem uma nova precipitação, repetindo-se o ciclo descrito a partir do passo (i).

Os fatores que impulsionam e mantêm o ciclo hidrológico são a energia térmica solar (fonte de energia de todo o processo), a ação dos ventos (que transportam o vapor d'água) e a ação da gravidade (principal força atuante).

Importa, ainda, destacar que o ciclo hidrológico só pode ser visto como fechado em nível global, o que significa que o total evapotranspirado em uma região, isto é, a soma da evaporação e transpiração, não corresponderá necessariamente ao total precipitado em um dado intervalo de tempo.



**Figura 1.5** – Representação esquemática do caminho das águas de chuva até a alimentação de um curso d'água natural (adaptada de VIESSMAN; LEWIS, 1995, p. 7).

Como anteriormente descrito, as águas da chuva infiltradas constituirão a umidade do solo e o armazenamento nos reservatórios subterrâneos. Esses armazenamentos, que fluem lenta e continuamente sob a ação da gravidade, terminam aflorando por pontos de descarga subterrânea, como fontes de encosta, ou vão abastecer os corpos d'água superficiais (riachos, rios, lagos etc.), constituindo o que se denomina *descarga* ou *escoamento de base*. É exatamente devido a esse escoamento de base, ou escoamento básico, que se garante a perenização dos rios.

De todo o exposto, pode-se concluir, ainda, que quanto maiores forem a retenção na cobertura vegetal, o armazenamento superficial e a infiltração das águas de chuva, menores serão os volumes excedentes disponíveis para se produzir o escoamento superficial. Em consequência, especialmente no caso das chuvas intensas, menores serão as chances de incidência de enchentes e inundações. Tudo dependerá da quantidade de chuva, da capacidade de retenção superficial, das taxas de infiltração características do solo e da ocorrência de chuvas antecedentes (teor de umidade preexistente no solo).

Complementarmente, quanto maior a oportunidade de as águas de chuva se infiltrarem, maior será a recarga dos reservatórios subterrâneos, aspecto significativo que fortalecerá o suprimento dos corpos de água durante os períodos de estiagem.

O conceito do ciclo hidrológico e a influência relativa de cada um dos seus componentes têm se mostrado importantes também no desenvolvimento de estratégias de gerenciamento da qualidade da água, pois os contaminantes podem ser introduzidos nos corpos d'água a partir das várias fases do ciclo, quando surgem, carregados pela água, diluídos ou concentrados.

Todos esses conceitos e ocorrências serão novamente abordados ao longo do livro, estudando-se, sob o ponto de vista de interesse da engenharia, cada uma das fases do ciclo hidrológico. A boa compreensão do ciclo hidrológico certamente facilitará a assimilação dos modelos e formulações que são desenvolvidos nos capítulos seguintes.

## 1.4 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS COMPONENTES DO CICLO HIDROLÓGICO: A EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO

Os projetos em recursos hídricos são, essencialmente, exercícios que envolvem a quantificação das fases ou dos componentes do ciclo hidrológico visando, principalmente, a conhecer a relação demanda-disponibilidade de água. Nesses projetos, consideram-se como fontes de suprimento, fundamentalmente, as águas superficiais e subterrâneas.

As técnicas de medir e avaliar dados quantitativos em recursos hídricos constituem os elementos básicos da hidrologia, que serão tratados ao longo deste livro. No presente capítulo, é fornecido um resumo dos processos fundamentais que contribuem para a formação dos escoamentos superficial e subterrâneo. Para o engenheiro, um bom entendimento desses processos facilita a análise e o planejamento tanto para o uso adequado quanto para o controle e a preservação dos recursos hídricos.

Em termos quantitativos, o ciclo hidrológico pode ser representado por uma equação de balanço hídrico, que expressa o princípio da conservação da massa, conhecida como *equação da continuidade*.

A equação do balanço hídrico, dependendo dos propósitos para os quais é escrita, pode admitir a subdivisão, a consolidação, ou a eliminação de um ou outro termo. Em geral, a equação do balanço hídrico é empregada para:

- um determinado intervalo de tempo, que pode ser alguns minutos, horas ou dias, ou um período mais longo, como um mês ou um ano;
- uma pequena área de drenagem natural ou artificialmente limitada, ou uma bacia hidrográfica ou um corpo d'água, como um lago ou reservatório, ou, ainda, um lençol subterrâneo;
- uma região da atmosfera (fase vapor, acima da superfície terrestre).

São mais comuns três tipos aplicações da equação do balanço hídrico:

- equação do balanço hídrico para bacias hidrográficas (grandes áreas de drenagem);
- equação do balanço hídrico para corpos d'água, como rios, lagos e reservatórios;
- equação do balanço hídrico para o escoamento superficial direto (*runoff*).

Nos primeiros dois casos, são consideradas as quantidades acima e abaixo da superfície da terra. Em sua forma geral, a equação é escrita para um volume de controle adequadamente escolhido e para dado intervalo de tempo, como:

[Quantidade que entra no vol. de controle] – [Quantidade que sai do vol. de controle] = [Variação da quantidade acumulada no interior do vol. de controle]

ou

$$[P + R_{in} + G_{in}] - [E + T + R_{out} + G_{out}] = \Delta S, \quad (1.1)$$

em que:

P = precipitação;

R = escoamento superficial;

G = escoamento subterrâneo;

E = evaporação;

T = transpiração;

$\Delta S$  = variação do armazenamento no interior do volume de controle;

e os índices “in” e “out” referem-se às quantidades que entram e saem, respectivamente, do volume de controle. Nessa forma de apresentação em que a infiltração no terreno não comparece no equacionamento, a superfície superior do volume de controle está acima da superfície do terreno, e a inferior está no interior do solo.

Na Equação (1.1), genericamente escrita, seus componentes podem ter dimensão de volume [ $L^3$ ] ou comprimento [L]. Para as quantidades representadas por alturas, dividem-se os volumes por uma área de referência adequadamente escolhida. Os componentes podem ser escritos, ainda, na forma de taxas, o que exige que as quantidades sejam divididas por uma escala adequada de tempo, obtendo-se as grandezas com as dimensões de volume por tempo, [ $L^3T^{-1}$ ], ou altura por tempo, [ $LT^{-1}$ ].

#### 1.4.1 EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO PARA GRANDES BACIAS HIDROGRÁFICAS EM INTERVALOS DE LONGA DURAÇÃO

Em uma bacia de grande área de drenagem, a equação do balanço é usada na avaliação quantitativa das demandas e/ou disponibilidades hídricas, visando à concretização de grandes projetos que envolvem variados tipos de usos, ou para fins de gestão do controle e preservação dos recursos hídricos. Nos casos em que o balanço hídrico é realizado para um longo intervalo de tempo, que contém vários ciclos anuais, os valores dos componentes envolvidos geralmente se referem a um ano médio. Assim, para uma bacia de grandes dimensões e para um longo intervalo de tempo de análise, em termos médios, as variações anuais do armazenamento, que podem ser positivas e negativas, tendem a equilibrar-se, o que permite que o termo médio  $\Delta S$  da Equação (1.1) seja desprezado. Ainda no caso de grandes bacias, as trocas de água subterrânea com as bacias vizinhas, chamadas de *fugas*, ocorrem em um sentido e outro, o que permite que o termo de variação média também seja anulado, isto é,  $G_{in} \cong G_{out}$ . Além disso, desde que não haja transposição de água de uma bacia para outra, o único *input* na bacia em estudo é a precipitação, pois não pode haver escoamento superficial através da linha de contorno (divisor) da bacia: portanto,  $R_{in} = 0$ . Assim, com todas essas considerações, para uma bacia de grandes dimensões e para um longo tempo de análise (média de vários anos), a Equação (1.1) reduz-se a:

$$P - E - T = R_{out}. \quad (1.2)$$

As grandezas da Equação (1.2) podem ser escritas em termos de volumes [ $L^3$ ], alturas [L] ou taxas, na forma de volumes por unidade de tempo [ $L^3T^{-1}$ ] ou alturas por unidade de tempo [ $LT^{-1}$ ].

A Equação (1.2) pode ser ainda reescrita como

$$P - ET = R_{out}, \quad (1.3)$$

em que “ET” representa a evapotranspiração, isto é, soma dos processos de evaporação das superfícies líquidas e da umidade do solo e de transpiração dos vegetais. “ $R_{out}$ ”, que representa a quantidade escoada pela seção de saída da bacia (seção exutória), é normalmente conhecida na forma de vazão (Q) ou vazão específica (vazão por unidade de área da bacia,  $q = Q/A$ ), mas pode ser escrita em termos do volume de saída da bacia ( $Vol_s$ ) ou da altura de lâmina d’água escoada ( $h_s$ ) correspondente.

### EXEMPLO 1.1

A bacia do rio São Francisco, um dos mais importantes cursos d’água do Brasil, chamado de “rio da integração nacional”, possui aproximadamente 640.000 km<sup>2</sup> de área de drenagem. Sabendo-se que a vazão média de longo período<sup>2</sup> na foz do rio São Francisco é de 3.000 m<sup>3</sup>/s e que a precipitação média anual em toda a bacia é de 1.040 mm, pede-se:

- calcular a altura média da lâmina d’água anualmente escoada na foz do rio São Francisco, em milímetros;
- estimar a evapotranspiração média anual na bacia do rio São Francisco.

Solução:

a) Se a vazão média anual na foz do rio São Francisco é  $Q = 3.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , então, em um ano, o volume total escoado será:

$$Vol_s = Q \times \Delta t = 3.000 \text{ (m}^3/\text{s)} \times 365 \text{ dias} \times 86.400 \text{ (s/dia)} = 9,4608 \times 10^{10} \text{ m}^3.$$

Se a área de drenagem é  $A = 640.000 \text{ km}^2 = 6,4 \times 10^{11} \text{ m}^2$ , então, a altura média escoada na foz do rio São Francisco será

$$h_s = Vol/A = 9,4608 \times 10^{10} (\text{m}^3) / 6,4 \times 1.011 (\text{m}^2) = 0,148 \text{ m} \Rightarrow h_s = 148 \text{ mm}.$$

b) Da Equação (1.3):

$$P - ET = R_{out}, \text{ ou } P - ET = h_s.$$

Para as grandezas escritas em termos de alturas, com  $R_{out} = h_s$ ,

$$ET = P - h_s = 1.040 - 148 \Rightarrow ET = 892 \text{ mm}.$$

<sup>2</sup> A vazão média de longo período (ou de longo termo) corresponde à média das vazões médias anuais, tomada de vários anos de observação.

### 1.4.2 EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO PARA CORPOS D'ÁGUA EM CURTOS INTERVALOS DE TEMPO

No caso de reservatórios, lagos e rios, a equação do balanço hídrico pode ser usada, por exemplo, em análises que envolvem as operações diárias de uma estrutura, para se preverem as consequências das condições hidrológicas sobre ela.

O curto intervalo de tempo empregado nas análises exige, nesse caso, que o termo de variação do armazenamento ( $\Delta S$ ) seja necessariamente considerado. Contudo, o termo de evaporação geralmente é muito pequeno e pode ser desprezado. Assim, se não ocorrer uma chuva no período de análise, a equação do balanço hídrico poderá ser escrita como

$$R_{in} + G_{in} - R_{out} - G_{out} = \Delta S.$$

No caso de um curto trecho de rio em que as trocas subterrâneas possam ser desprezadas,

$$R_{in} - R_{out} = \Delta S.$$

Ou, em termos de taxas volumétricas,

$$Q_{in} - Q_{out} = \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad (1.4)$$

em que  $Q_{in}$  e  $Q_{out}$  são, respectivamente, as vazões de entrada e saída no volume de controle, e  $\Delta S/\Delta t$  representa a variação do armazenamento volumétrico no interior do trecho do rio (volume de controle) no intervalo  $\Delta t$ .

#### EXEMPLO 1.2

Em um dado instante, o armazenamento em um trecho de rio é de  $68.200 \text{ m}^3$ . No mesmo instante, a vazão de entrada no referido trecho é de  $10,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , e a de saída é de  $15,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Decorridas duas horas, as vazões de entrada e saída são, respectivamente,  $17,0 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $19,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Determine:

- a) a variação do armazenamento no trecho da calha do rio durante as duas horas;
- b) o volume armazenado no trecho ao final das duas horas.

Sugestão: admitir variação temporal linear das vazões de entrada e saída no trecho.

Solução:

- a) Em termos de volumes, a equação do balanço hídrico (Equação 1.4) se escreve:

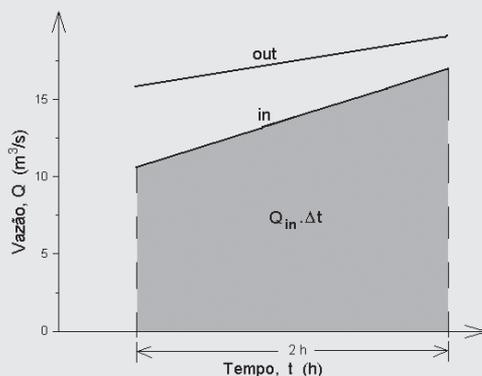
$$Q_{in} \Delta t - Q_{out} \Delta t = \Delta S .$$

## EXEMPLO 1.2 (continuação)

Para uma variação temporal linear da vazão de entrada, o volume admitido em duas horas no volume de controle é calculado como

$$Q_{in} \cdot \Delta t = \frac{(17,0 + 10,6)}{2} \times 2 \times 3.600 = 99.360 \text{ m}^3,$$

que é numericamente igual à área sob a linha de variação da vazão de entrada no trecho (área do trapézio), conforme ilustrado na Figura 1.6.



**Figura 1.6** – Comportamento das vazões de entrada e saída em um trecho de rio.

De maneira análoga, o volume de saída pode ser obtido pelo cálculo da área sob a linha de variação da vazão de saída do trecho:

$$Q_{out} \cdot \Delta t = \frac{(19,0 + 15,9)}{2} \times 2 \times 3.600 = 126.000 \text{ m}^3.$$

Assim, da Equação (1.4), a variação do armazenamento no transcurso de duas horas será:

$$\Delta S = 99.360 - 126.000 \rightarrow \Delta S = -26.640 \text{ m}^3.$$

b) Como  $\Delta S = S_{final} - S_{inicial} = S_{2h} - S_0$ , então

$$S_{final} = S_{2h} = S_0 + \Delta S = 68.200 - 26.640 \Rightarrow S_{2h} = 41.560 \text{ m}^3.$$

### 1.4.3 EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO PARA O ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO EM UMA BACIA DURANTE UMA CHUVA INTENSA

Para determinar o escoamento superficial direto (*runoff*) devido a uma chuva intensa em uma bacia, deve-se considerar a equação do balanço hídrico escrita para o volume de controle adequadamente representado junto à superfície do solo da bacia. A equação, escrita para um curto intervalo de tempo, em termos de alturas médias, é da forma

$$P - \text{Int} - E - T - R - I - S_D = 0, \quad (1.5)$$

em que “P” é a precipitação; “Int” é a chamada interceptação, isto é, a parcela da água de chuva que é interceptada pela vegetação e outros obstáculos; “E” é a evaporação; “T” é a transpiração; “R” é o escoamento superficial direto (também chamado de *runoff* e de precipitação efetiva); “I” é a infiltração (parcela da água que deixa o volume de controle por infiltração no solo); e “S<sub>D</sub>” representa o armazenamento da água nas depressões do terreno da bacia.

Durante a chuva, as perdas por evaporação e transpiração poderão ser desprezadas. E, para uma chuva intensa, a interceptação e o armazenamento nas depressões do terreno também poderão ser ignorados, caso não se exija uma quantificação exata, o que permite reescrever a Equação (1.5) na forma reduzida:

$$R = P - I, \quad (1.6)$$

que mostra que o escoamento superficial direto pode ser aproximadamente obtido da diferença entre a altura da chuva caída e a altura da lâmina infiltrada. Semelhante tipo de modelo será empregado no Capítulo 4, que trata da infiltração da água no solo.

Observação: para o caso do tempo de análise superior à duração da chuva intensa, os termos de evaporação e transpiração nos componentes do ciclo hidrológico (Equação 1.5) não poderão ser desprezados. Em geral, nesse caso, as magnitudes dos componentes do balanço empregados na equação são valores médios calculados para o período de análise, que pode ser diário, semanal, mensal ou anual. A depender da magnitude da precipitação em relação ao potencial de evapotranspiração (soma da evaporação e transpiração), o teor de umidade do solo poderá aumentar ou diminuir no intervalo de análise, e o equacionamento deverá levar em conta a variação da umidade do solo.

### 1.4.4 DIFICULDADES PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS PRÁTICOS E FONTES DE ERRO NOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO

Na solução de problemas práticos que envolvem a aplicação da equação do balanço hídrico, defronta-se com certas dificuldades relacionadas à incapacidade de se medir ou estimar adequadamente alguns dos componentes do ciclo hidrológico que entram na equação do balanço. A quantificação dos componentes do ciclo hidrológico que entram no cálculo do balanço hídrico sempre envolve erros que advêm dos processos de medida e/ou técnicas de interpretação.

As precipitações são medidas em estações pluviométricas com o emprego de pluviômetros e pluviógrafos. As vazões podem ser medidas com vertedores, calhas ou métodos que empregam medidores de velocidade (molinetes hidrométricos) e área em estações fluviométricas distribuídas nos cursos d'água naturais da área de interesse. Em geral, se as técnicas forem bem empregadas, essas medições serão suficientemente precisas (acurácia de 95% ou mais).

A infiltração pode ser determinada localmente com o emprego de infiltrômetros, ou estimada a partir de dados de precipitação e vazão. Todavia, estimativas regionais de umidade e infiltração da água no solo são, em geral, muito grosseiras.

A quantidade de água subterrânea armazenada no solo e a taxa de sua movimentação são difíceis de serem precisamente determinadas, ou nem sempre estão disponíveis. Por isso, o conhecimento da geologia da região torna-se essencial para estimativas de água subterrânea.

A quantificação da evaporação e da transpiração também é extremamente difícil no atual estágio de desenvolvimento da ciência hidrológica. A maioria das estimativas é obtida usando-se tanques de evaporação ou métodos baseados no balanço de energia e na transferência de massa, ou relações empíricas.

Em geral, os únicos componentes extensivamente observados por meio de redes de monitoramento (estações hidrológicas de medição) são a precipitação e a vazão. A evaporação raramente é monitorada; os dados de infiltração costumam ser limitados a bacias experimentais, e as variações dos armazenamentos subterrâneos são normalmente obtidas a partir de observações de variações de níveis d'água e de umidade do solo. Além disso, é comum o uso de fórmulas empíricas para o cálculo da evaporação, da infiltração e do armazenamento. A duração do tempo de análise também é importante: erros introduzidos nas quantidades médias diminuem com o aumento do tempo considerado.

De todo modo, a equação do balanço hídrico é uma ferramenta extremamente útil, empregada de diferentes maneiras para estimar a magnitude e a distribuição temporal das variáveis hidrológicas. Os exemplos apresentados neste capítulo são apenas introdutórios, e outros serão fornecidos ao longo de todo o texto.

A título de ilustração, a Tabela 1.1 traz algumas estimativas de erros associados a determinações mensais e anuais de três componentes do ciclo hidrológico, de acordo com as metodologias adotadas.

Em decorrência dos erros de medida ou de estimativa dos componentes do ciclo hidrológico, em geral a equação do balanço hídrico resulta não equilibrada: ela poderá conter um termo de incerteza, ou resíduo. Quando um componente é estimado por meio de uma fórmula empírica, o erro de previsão da fórmula é somado ao termo de resíduo da equação do balanço hídrico.

**Tabela 1.1** – Erro percentual nos componentes do ciclo hidrológico obtido segundo metodologias usuais

Componente	Tipo ou fonte de erro	Erro percentual	
		Estimativa mensal	Estimativa anual
Precipitação			
	Equipamento de observação	2%	2%
	Altura de colocação do medidor	5%	5%
	Média na área	15%	10%
	Densidade de medidores	20%	13%
Vazão			
	Molinete hidrométrico	5%	5%
	Curva-chave	30%	20%
	Modificação da seção fluviométrica	5%	5%
	Regionalização de vazão	---	70%
Evaporação			
	Balço de energia	---	10%
	Tanque classe A	10%	10%
	Tanque para o coeficiente do lago	50%	15%
	Média na área	15%	15%

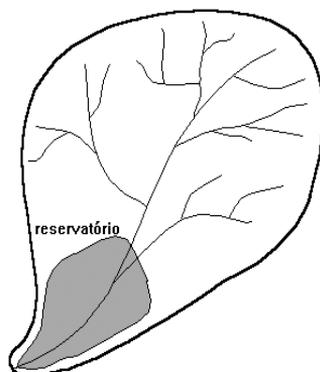
Fonte: GUPTA, 1989, p. 59.

## Exercícios

- 1.1. Estima-se que 60% da precipitação anual em uma bacia hidrográfica de 24,67 km<sup>2</sup> de área sejam evapotranspirados. Se a vazão média anual na desembocadura (foz) do rio principal é de 70,8 L/s, qual a precipitação anual na bacia?  
**R:** P = 226,3 mm.
- 1.2. Em um trecho de rio, a vazão de entrada em um dado instante é de 9,91 m<sup>3</sup>/s, e a vazão de saída é de 8,07 m<sup>3</sup>/s. Decorridos 90 minutos, as vazões de entrada e saída no trecho são de 7,08 m<sup>3</sup>/s e 5,66 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Calcular a variação do armazenamento em 90 minutos.  
**R:** ΔS = 8.802 m<sup>3</sup>.
- 1.3. As perdas por evaporação em um reservatório são de 185 mil metros cúbicos de água por dia. Se o reservatório tem superfície de área constante de 2,02 km<sup>2</sup> e se a diferença entre as vazões de saída e entrada do reservatório é de 1,41 m<sup>3</sup>/s, qual a variação do nível d'água do reservatório em um dia?  
**R:** Δh = - 0,152 m.
- 1.4. No problema anterior, se, devido a uma chuva, 76 mm de água forem admitidos no reservatório em um dia, qual a variação esperada na profundidade do reservatório?  
**R:** Δh = - 0,076 m.

1.5. O reservatório mostrado na bacia hidrográfica da Figura 1.7 foi construído em uma região em que a precipitação anual média é de 610 mm, e a evaporação normal anual é de 1.524 mm. A área média da superfície do reservatório (área do espelho d'água) é de 12 km<sup>2</sup>, e a área da bacia hidrográfica em que o reservatório está inserido é de 242 km<sup>2</sup>. Como informação adicional, tem-se que apenas 20% do total precipitado escoam-se pela superfície do terreno, em direção ao reservatório. Posto isso, pede-se:

- a) calcular a vazão média de saída do reservatório, em m<sup>3</sup>/s;
- b) quantificar o aumento ou redução da vazão, em consequência da construção do reservatório.



**Figura 1.7** – Bacia hidrográfica e reservatório do Exercício 1.5.

**R:** a)  $Q = 0,542 \text{ m}^3/\text{s}$ ; b)  $Q = 0,936 \text{ m}^3/\text{s}$  (redução de  $0,394 \text{ m}^3/\text{s}$ , em consequência da construção do reservatório).

1.6. O sistema de abastecimento de água de uma cidade deverá utilizar como manancial um curso d'água natural. Sabe-se que a área de drenagem, relativa à seção de captação, é igual a 100 km<sup>2</sup>, e que, na bacia, a precipitação média anual é de 1.200 mm, enquanto as perdas por evapotranspiração são estimadas em 800 mm/ano. Sabendo-se, ainda, que o consumo médio previsto é de 50 mil m<sup>3</sup>/dia, verifique se o manancial tem capacidade para abastecer a cidade.

**R:**  $Q_{\text{rio}}$  (sem captação) =  $1,268 \text{ m}^3/\text{s} = 109.589 \text{ m}^3/\text{dia} > \text{Consumo médio diário}$   
 $\Rightarrow$  O manancial é suficiente para abastecer a cidade.

1.7. A evaporação anual de um lago com superfície (área do espelho d'água) de 15 km<sup>2</sup> é de 1.500 mm. Determinar a variação do nível do lago durante um ano se, nesse período, a precipitação foi de 950 mm, e a contribuição dos tributários foi de 10m<sup>3</sup>/s. Sabe-se, também, que, naquele ano, foi retirada do lago uma descarga média de 5 m<sup>3</sup>/s para a irrigação de culturas e a manutenção da vazão ecológica, além de uma captação de  $165 \times 10^6 \text{ m}^3$  para refrigeração de uma unidade industrial (desprezar a variação da área do espelho d'água).

**R:**  $\Delta h = - 1,038 \text{ m}$ .

- 1.8. O total anual precipitado em uma bacia hidrográfica de 1.010 km<sup>2</sup> de área de drenagem é de 1.725 mm, em média (média de vários anos). Sabendo-se que a evapotranspiração média anual é de 600 mm, qual a vazão média anual, em m<sup>3</sup>/s, na foz do curso d'água principal dessa bacia? E qual o deflúvio anual, em mm?

**R:**  $Q = 36,03 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $h_s = Q \cdot \Delta t/A = 1.125 \text{ mm}$ .

- 1.9. Uma barragem é construída na parte média da bacia hidrográfica da questão anterior, formando um espelho d'água de aproximadamente 60 km<sup>2</sup>. Sabendo-se que a área de drenagem relativa à seção da barragem é de 600 km<sup>2</sup> e que a evaporação média direta no lago é de 5 mm/dia, qual a redução percentual esperada da vazão na foz do curso d'água principal?

**R:**  $\Delta Q/Q = 6,47\%$ .

- 1.10. Em uma bacia hidrográfica de área  $A = 360 \text{ km}^2$ , o total anual precipitado é 1.420 mm, e a vazão média anual na seção exutória é de 11,35 m<sup>3</sup>/s.

- a) Com base nas informações disponíveis e fazendo claramente as considerações necessárias, estimar a evapotranspiração anual na bacia.
- b) Se for construído um reservatório no curso d'água principal da bacia e se este inundar 10% da área total da bacia, qual será a variação percentual da vazão média na seção exutória, sabendo-se que a evaporação da superfície da água no local é de 1.240 mm/ano?

**R:** a)  $ET = 426 \text{ mm}$ ; b)  $\Delta Q/Q = - 8,2\%$ .

- 1.11. O sistema de abastecimento de água de uma cidade de 250 mil habitantes deverá utilizar como manancial um curso d'água natural cuja área de drenagem, relativa à seção de captação, é de 100 km<sup>2</sup>. A precipitação média anual na região é de 1.200 mm, e as perdas anuais por evapotranspiração são estimadas em 800 mm. Sabendo-se que o consumo médio é de 200 L/(hab·dia) e que a vazão residual (vazão mínima ou ecológica) estipulada pelo órgão ambiental é de 0,5 m<sup>3</sup>/s, verifique se esse manancial tem capacidade para abastecer a cidade.

**R:**  $Q = 0,690 \text{ m}^3/\text{s}$  (maior que  $Q_{\min}$ )  $\Rightarrow$  O manancial tem capacidade para abastecer a cidade.

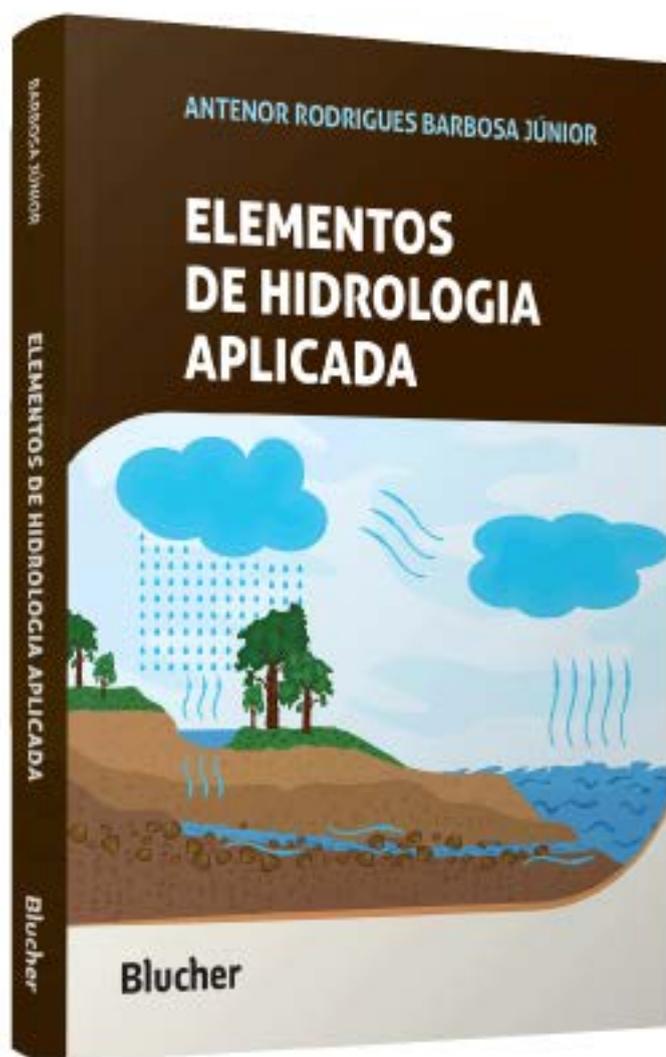
***Elementos de hidrologia aplicada* tem como público-alvo estudantes e profissionais que atuam nos campos das engenharias civil, ambiental, sanitária, urbana e áreas afins.**

Concebido originalmente para atender ao currículo básico de cursos de graduação das mencionadas engenharias, este livro sofreu adições para contemplar as necessidades de engenheiros, especialistas e estudantes de outros cursos, bem como para apoiar àqueles que ingressam em programas de pós-graduação sem a base necessária para a absorção dos conhecimentos do vasto campo da hidrologia e da engenharia de recursos hídricos, de modo geral. Organizado em capítulos, o livro contém exemplos ilustrativos e uma série de exercícios propostos que possibilitam ao estudante praticá-los fora da sala de aula, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades necessárias, por meio do emprego de fundamentos teóricos transmitidos ao longo do curso.



[www.blucher.com.br](http://www.blucher.com.br)

**Blucher**



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

## Elementos de hidrologia aplicada

---

Antenor Rodrigues Barbosa Júnior

ISBN: 9786555060805

Páginas: 430

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2022

---