

Antônio Pereira Magalhães Júnior
Frederico Wagner de Azevedo Lopes

ORGANIZADORES

RECURSOS HÍDRICOS

as águas na interface
sociedade-natureza

oficina de textos

© Copyright 2022 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009

Conselho editorial Aluízio Borém; Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva;
José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene;
Rozely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

Capa e projeto gráfico Malu Vallim

Foto capa Clelgen Luiz Bonetti (Encontro das águas dos rios Negro e Solimões)

Preparação de figuras Kaori Uchima

Diagramação Victor Azevedo

Preparação de textos Natália Pinheiro Soares

Revisão de textos Renata Sangeon

Impressão e acabamento Renovagraf

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Recursos hídricos : as águas na interface
sociedade-natureza / Antônio Pereira Magalhães
Júnior, Frederico Wagner de Azevedo Lopes,
organizadores. -- São Paulo, SP : Oficina de Textos, 2022.
Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-86235-70-8

1. Água - Aspectos ambientais 2. Água - Aspectos econômicos
3. Água - Aspectos políticos 4. Água - Aspectos sociais
5. Hidrologia 6. Recursos hídricos
I. Magalhães Júnior, Antônio Pereira. II. Lopes,
Frederico Wagner de Azevedo.

22-116261

CDD-333.91

Índices para catálogo sistemático:

1. Recursos hídricos : Gestão 333.91

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Todos os direitos reservados à **Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 798

CEP 04013-003 São Paulo SP Brasil

Fone: (11) 3085-7933

www.ofitexto.com.br

atend@ofitexto.com.br

APRESENTAÇÃO

Esta obra é uma contribuição de professores do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) a todos os interessados nos estudos relacionados aos Recursos Hídricos, envolvendo sistemas hídricos continentais sob diferentes aspectos e dimensões temáticas. Busca-se contribuir, em particular, para os processos de formação, capacitação e aperfeiçoamento de profissionais que pesquisem, trabalhem ou se interessem pelos temas das águas, em um sentido geral, possibilitando a verticalização dos debates e da aquisição de conhecimentos sobre os fatores, fundamentos e abordagens envolvidos nos processos de gestão e proteção ambiental.

O livro traz uma abordagem transversal e inter-relacionada das dimensões físicas (unidades hidroambientais e dimensões do ciclo hidrológico) e humanas (usos, pressões e impactos associados ao ciclo hidrossocial) das águas, envolvendo o quadro político, legal e institucional relativo à configuração de panoramas dos recursos hídricos em nível nacional e internacional. Nesse sentido, a obra busca salientar o papel das águas como elemento estratégico de integração de dimensões territoriais e ambientais e, conseqüentemente, o seu potencial de intersecção de interesses políticos, econômicos e sociais.

*Antônio Pereira Magalhães Júnior
Frederico Wagner de Azevedo Lopes*

PREFÁCIO

Os recursos hídricos capturam a atenção de toda a humanidade em função de um amplo leque de funções e atributos. Além de ser responsável pela manutenção da vida em todas as suas manifestações, a água é insumo produtivo de uma série de atividades econômicas e apresenta propriedades associadas à qualidade de vida, englobando dimensões de lazer, saúde e bem-estar. Nesse sentido, os recursos hídricos têm um papel histórico decisivo no surgimento e desenvolvimento de assentamentos humanos e civilizações no planeta, com artérias hidrográficas representando eixos de expansão e ocupação territorial, bem como de concentração de pessoas e atividades. Os recursos hídricos, assim concebidos no tocante às águas passíveis de apropriação pelo homem para quaisquer fins, apresentam, portanto, interesse transversal e multidisciplinar, sendo foco de estudos e pesquisas em quase todas as ciências.

Condicionando a organização de fluxos e redes de matéria e energia, bem como de processos de estruturação e transformação de espaços e territórios, os recursos hídricos são, por essência, elementos geográficos estratégicos. A Geografia é reconhecida por sua habilidade em abordar, de modo integrado, as dimensões físicas e humanas do ambiente, transitando com frequência nas interfaces entre sociedade e natureza. Em muitos aspectos, os recursos hídricos facilitam essa abordagem, já que há intrínsecas conexões entre o ciclo hidrológico e o ciclo hidrossocial.

As últimas décadas foram bastante frutíferas na expansão e verticalização das abordagens geográficas dos recursos hídricos. Até os anos 1990, os currículos dos cursos de graduação em Geografia em geral não contemplavam disciplinas focadas nos recursos hídricos, sendo bem mais comuns os conteúdos de hidrografia. Entretanto, a evolução contemporânea da ciência em nível internacional e nacional motivou a transformação de grades curriculares e até mesmo o perfil dos corpos docentes. A Geografia passou a abarcar com mais ênfase os campos de degradação, proteção e recuperação de recursos e sistemas hídricos, envolvendo, por um lado, temas tradicionais como geopolítica das águas e tensões e conflitos pelo uso da água e, por outro, temas modernos como planejamento e gestão de águas e territórios, artificialização de sistemas hídricos, restauração e reabilitação de cursos d'água e conexões entre poluição-contaminação ambiental e saúde, fomentando, nesse caso, o desenvolvimento da denominada Geografia da Saúde.

Esse cenário foi verificado no Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em que a disciplina Geografia e Recursos Hídricos e diversas outras afins foram criadas em nível de graduação e pós-graduação,

refletindo um processo crescente de valorização de temas relativos às águas e aos sistemas hídricos. A quantidade de pesquisas cresceu exponencialmente e linhas e núcleos de estudos foram criados, como os relativos aos temas de balneabilidade em águas doces, nascentes, áreas úmidas, tensões e conflitos pelo uso da água e gestão de recursos hídricos. Ainda no âmbito do Departamento, o Laboratório de Geomorfologia passou a denominar-se Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos, buscando ser mais fiel à intensificação das análises de água nos últimos anos. A criação do grupo de pesquisa RIVUS – Geomorfologia e Recursos Hídricos –, em 2007, também reflete esse cenário evolutivo, aglutinando pesquisas e parcerias nacionais e internacionais que impulsionaram os avanços do conhecimento sobre os recursos hídricos.

Esta obra coroa o longo processo de expansão e aprofundamento dos estudos sobre recursos hídricos nos campos do ensino, da pesquisa e da extensão por parte dos organizadores, incluindo experiências na École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC/Paris), na Universitat Autònoma de Barcelona (UAB/Barcelona) e no National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA/Hamilton, Nova Zelândia).

O livro *Recursos hídricos: as águas na interface sociedade-natureza* permitiu-nos sistematizar e organizar um rico conjunto de informações voltadas para atender alunos, docentes, pesquisadores, gestores e demais interessados nos temas dos recursos hídricos. Os conteúdos e temas abordados refletem a transição e a conexão de dimensões físicas e humanas das águas expressas no título, trazendo uma perspectiva integrada e multidisciplinar. Diversos parceiros de pesquisas, incluindo colegas do Departamento de Geografia e egressos do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFMG, foram convidados a colaborar com este projeto, aos quais agradecemos imensamente. Também agradecemos ao Departamento de Geografia da UFMG, ao grupo RIVUS e ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa. Esperamos que o livro contribua com os anseios e objetivos dos que o consultem e também, em qualquer medida, com intenções e iniciativas em prol da proteção dos recursos hídricos e, por consequência, de todos os seres vivos que necessitem deles.

*Antônio Pereira Magalhães Júnior
Frederico Wagner de Azevedo Lopes*

SOBRE OS ORGANIZADORES

Antônio Pereira Magalhães Júnior

Geógrafo e Mestre em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Doutor em Desenvolvimento Sustentável (UnB), com parte dos estudos realizada na École Nationale des Ponts et Chaussées, em Paris. Pós-Doutor pelo Departamento de Geografia da Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Professor Titular do Departamento de Geografia da UFMG, atuando principalmente nas áreas de Proteção de Recursos e Sistemas Hídricos e Hidrogeomorfologia. Coordenador do grupo de pesquisa RIVUS – Geomorfologia e Recursos Hídricos (CNPq).

Frederico Wagner de Azevedo Lopes

Geógrafo pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Doutor em Geografia e Análise Ambiental pela UFMG, com período sanduíche, e Pós-Doutorado junto ao National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA) da Nova Zelândia. Professor do Departamento de Geografia da UFMG, com experiência na área de Geociências, ênfase em Hidrogeografia, atuando principalmente nos seguintes temas: Poluição e Qualidade das Águas, Balneabilidade, Análise e Gestão Ambiental e Avaliação de Impactos Ambientais.

SOBRE OS AUTORES

Ana Carolina Pinheiro Euclides

Geógrafa e Mestre em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela UFMG. Atualmente é gerente da Consultoria Legislativa de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Tem experiência na área de Teoria, Produção e Experiência do Espaço, com ênfase em Geografia Urbana e Urbanismo.

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira

Geógrafa e Mestre em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Doutora em Ciências Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Atua em pesquisas de conservação de quedas d'água, geoconservação do patrimônio fluvial e análise sistêmica do sistema fluvial. Tem experiência profissional em Análise Ambiental e Recursos Hídricos.

Cecília Siman Gomes

Geógrafa e Mestre em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e especialização em Engenharia Ambiental. Doutoranda em Geografia pela UFMG, com orientação e parte da pesquisa desenvolvida junto à Universidad de Sevilla (US), na Espanha. Tem experiência em Ciências do Ambiente, com ênfase em Geografia Física, Recursos Hídricos, Sistemas Hídricos e Áreas Úmidas, assim como no desenvolvimento e coordenação de estudos ambientais. No âmbito das políticas de recursos hídricos, atuou no Grupo de Trabalho (GT) Áreas de Restrição de Uso de Recursos Hídricos, com continuidade no GT Áreas Prioritárias da Câmara Técnica de Planos (CTPlan) do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG), contribuindo nos temas de ecossistemas aquáticos e áreas úmidas para formulação de deliberação normativa.

Diego Rodrigues Macedo

Possui graduação em Geografia e mestrado em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e especialização em Geoprocessamento e Estatística também pela UFMG. Doutor em Ecologia/Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela UFMG. Atuou como Analista em Informações Geográficas e Estatísticas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). É professor do Departamento de Geografia da UFMG.

Tem experiência na área de Geografia Física, Recursos Hídricos, Ecologia da Paisagem, Geoecologia, Biomonitoramento, Sistemas Informativos Geográficos, Estatística Espacial e Planejamento Territorial.

Guilherme Eduardo Macedo Cota

Geógrafo e Mestre em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorando em Geografia (UFMG), com experiência nas áreas de Gestão de Recursos e Sistemas Hídricos.

Letícia de Santos Lima

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Doutora em Geografia pela Humboldt-Universität zu Berlin, na Alemanha. É professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG. Foi pesquisadora associada ao Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG. Tem experiência no desenvolvimento de modelos ambientais aplicados às mudanças de uso e cobertura da terra e seus impactos ambientais, bem como políticas públicas ambientais sobre o uso e conservação dos recursos naturais.

Luciano José Alvarenga

Graduado em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestre e Doutor em Ciências Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Professor e pesquisador, tem se dedicado a investigações sobre os temas: justiça ambiental; proteção do bioma Cerrado; geopatrimônio, paisagem e direito; e geoconservação. Integrante da Associação Brasileira de Professores de Direito Ambiental (Aprodab) e da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC).

Luiz Fernando de Paula Barros

Geógrafo, Mestre e Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Foi Analista de Infraestrutura no Ministério da Integração Nacional e no Ministério do Planejamento, trabalhando com o tema gestão de riscos e respostas a desastres naturais. Professor do Departamento de Geografia da UFMG, atua em temas associados à Geomorfologia, como processos e registros da dinâmica fluvial quaternária, datações por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) de sedimentos fluviais, morfometria de sistemas fluviais, processos de erosão acelerada e pressões humanas sobre os recursos hídricos.

Miguel Fernandes Fellipe

Geógrafo, Mestre e Doutor em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor do Programa de Pós-Graduação e do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Coordenador do grupo de pesquisa TERRA – Temáticas Especiais Relacionadas ao Relevo e à Água (UFJF-CNPq). Trabalha na interface entre Geomorfologia, Hidrologia e Hidrogeologia, com experiência nas temáticas de nascentes de cursos d'água, cabeceiras de drenagem e desastres ambientais.

Natalia Duarte Cáceres

Graduada em Políticas Públicas e Relações Internacionais, Mestre em Sociologia e Desenvolvimento Social e Doutoranda em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Possui experiência profissional e acadêmica na França, no Brasil e na Colômbia (país natal). Coordenou a construção do Plano Plurianual da cidade de Villavicencio (Colômbia), criando e implementando a metodologia de participação e sistematização das propostas realizadas por vítimas do conflito armado, mulheres, jovens, crianças, indígenas e negros. Trabalha como consultora e pesquisadora no terceiro setor, na formulação de projetos socioambientais e no desenho de metodologias para a mediação de conflitos, atuando, particularmente, com comunidades em áreas rurais e urbanas. Possui experiência nos temas de gestão comunitária da água, espaços públicos e violação dos direitos humanos e apropriação ilegal de terras como consequência da mineração.

Paulo de Tarso Amorim Castro

Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e doutorado em Geologia pela Universidade de Brasília (UnB). Professor titular do Departamento de Geologia da UFOP. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia e Meio Ambiente, atuando principalmente nos temas de sedimentologia, sistemas aluviais, geoconservação e geoética. Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPq-2.

Rodrigo Silva Lemos

Possui graduação em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), especialização em direito ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), mestrado e doutorado em Geografia e Análise Ambiental pela UFMG. Tem experiência nos temas de planejamento territorial, gestão de recursos hídricos e análise ambiental. Atua em diferentes instâncias de planejamento e gestão ambiental e de recursos hídricos, além de diferentes movimentos e organizações não governamentais (ONGs) associadas à defesa do meio ambiente e das águas.

Tarcisio Tadeu Nunes Júnior

Possui graduação em Geografia, mestrado e doutorado em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), este último com período de estudos na École Nationale des Ponts et Chaussées, em Paris. Possui experiência docente no curso de Geografia da UFMG e em faculdades particulares. Analista Ambiental no Ministério do Meio Ambiente, ocupando atualmente a chefia do Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG).

Úrsula de Azevedo Ruchkys

Geóloga pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Mestre em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) e Doutora em Geologia pela UFMG. Professora do Departamento de Cartografia da UFMG, atuando principalmente nos temas de análise e modelagem de sistemas ambientais, geotecnologias, geoética e geodiversidade.

Vitor Carvalho Queiroz

Possui graduação em Engenharia Civil e mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Possui MBA Executivo pelo Ibmec, com experiência nas áreas de saneamento e recursos hídricos.

Wellington Lopes Assis

Possui graduação, mestrado e doutorado em Geografia e Análise Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor do Departamento de Geografia da UFMG, atuando nos temas de climatologia, clima urbano, mudanças climáticas locais e geoprocessamento aplicados aos estudos climáticos.

SUMÁRIO

1	PANORAMA DAS ÁGUAS DOCES	15
1.1	Ciclo hidrossocial	19
1.2	Segurança e escassez hídrica.....	20
1.3	O cenário nacional	25
1.4	O papel estratégico da água: tensões e conflitos	30
1.5	Água virtual e pegada hídrica	33
	Referências bibliográficas.....	34
2	SISTEMAS HÍDRICOS SUPERFICIAIS CONTINENTAIS	37
2.1	Dinâmica hídrica superficial.....	37
2.2	Bacias e redes hidrográficas	40
2.3	Corpos d'água.....	43
	Referências bibliográficas.....	52
3	A DINÂMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	55
3.1	Ciclo hidrológico.....	55
3.2	Balço hídrico.....	63
	Referências bibliográficas.....	72
4	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	73
4.1	Características básicas dos aquíferos	76
4.2	Dinâmica das águas subterrâneas	78
4.3	Movimento das águas subterrâneas.....	82
4.4	Principais pressões e impactos nas águas subterrâneas.....	84
	Referências bibliográficas.....	86
5	NASCENTES E ÁREAS ÚMIDAS.....	89
5.1	Nascentes de cursos d'água.....	89
5.2	Áreas úmidas	94
5.3	Considerações finais	101
	Referências bibliográficas.....	102
6	PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	105
6.1	A institucionalização da gestão das águas na política pública	106
6.2	A construção da política de recursos hídricos brasileira.....	107
6.3	O modelo francês de gestão de recursos hídricos.....	111
6.4	A gestão comunitária da água na Colômbia	114
6.5	Considerações e reflexões.....	119
	Referências bibliográficas.....	121
7	ÁGUA E GEOCONSERVAÇÃO	124
7.1	Ameaças ao geopatrimônio associado à água	125
7.2	Nomeação e reconhecimento como geopatrimônio	125
7.3	Proteção das águas e geoconservação	129
7.4	Educação para a geoconservação da água	135
7.5	Considerações finais	136
	Agradecimentos.....	137
	Referências bibliográficas.....	137

8	OS TERRITÓRIOS E AS ÁGUAS	140
8.1	Recortes territoriais e de gestão	141
8.2	Fragmentação da gestão e os territórios das águas.....	151
8.3	Considerações finais: as dinâmicas territoriais e as águas.....	154
	Referências bibliográficas.....	157
9	GEOGRAFIA DA SAÚDE E QUALIDADE DAS ÁGUAS	159
9.1	Geografia da Saúde e os recursos hídricos	159
9.2	Usos e qualidade das águas	160
9.3	Poluição aquática: conceitos, categorias e parâmetros	161
9.4	Índices de qualidade da água	173
9.5	Padrões de qualidade das águas no Brasil	175
	Referências bibliográficas	179
10	SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS	182
10.1	Saneamento: conceitos e abordagens	182
10.2	Trajetória institucional recente do saneamento no Brasil	185
10.3	Interface entre saneamento e recursos hídricos	187
10.4	Desafios da gestão do saneamento no Brasil	191
	Referências bibliográficas	196
11	PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	200
11.1	Contextualização das políticas públicas afetas à proteção das águas ..	200
11.2	Gestão ambiental e proteção de recursos hídricos no Brasil	202
11.3	Ordenamento territorial e proteção dos recursos hídricos	207
11.4	Recuperação de sistemas hídricos	211
11.5	Considerações finais	217
	Referências bibliográficas	218
12	GEOTECNOLOGIAS E RECURSOS HÍDRICOS	221
12.1	Sistemas de informações geográficas (SIGs)	221
12.2	Sensoriamento remoto	226
12.3	Modelagem hidrológica e de qualidade da água	235
12.4	Fontes de dados	238
	Referências bibliográficas	239

As figuras com o símbolo  tem sua versão colorida no final do livro.

1 | PANORAMA DAS ÁGUAS DOCES

*Antônio Pereira Magalhães Júnior
Frederico Wagner de Azevedo Lopes
Miguel Fernandes Fellipe*

A água é foco de estudos de múltiplas disciplinas e ciências, cada qual dando ênfase a certos aspectos de suas características, dinâmica, funções ou finalidades. A Geografia preocupa-se com diversas dimensões das águas, mas foca sobretudo nas questões relativas à proteção e gestão de sistemas hídricos continentais, como cursos d'água, bacias hidrográficas e áreas úmidas. Como um campo temático da Geografia, dialogando com a paisagem e o território enquanto categorias de análise, a Hidrogeografia se fundamenta na ênfase nas funções da água como elemento estruturador das sociedades humanas e dos sistemas físicos da Terra. Nesse sentido, a Hidrogeografia se insere em um campo híbrido, interdisciplinar, que traz os aspectos territoriais e da paisagem para a compreensão das águas em uma perspectiva espacial regional e global. Assim, por excelência, a água é o objeto da Hidrogeografia, que busca também analisar a distribuição desigual dos recursos hídricos com base no meio físico e nas intervenções antrópicas no ambiente.

Trata-se de um elemento de interesse multidisciplinar, já que é um recurso vital, em termos biológicos, e essencial para as múltiplas dimensões sociais e econômicas da vida humana. Por outro lado, há uma grande variedade de abordagens de estudos da água, de acordo com os objetivos de cada ramo do conhecimento. O termo “águas”, na Hidrogeografia, é bastante abrangente, referindo-se a todas as águas em um sentido geral. Já o termo “recursos hídricos” é entendido com uma conotação utilitarista, referindo-se às águas com potencial de uso ou às

efetivamente utilizadas/apropriadas pelo homem, alçadas à categoria de capital natural.

A historicidade da Hidrogeografia remonta de uma abordagem geográfica da Hidrologia (Karthe; Chiffard; Buche, 2018). A Hidrologia compreende o estudo da quantidade, da circulação, da distribuição e das características das águas terrestres, bem como de suas relações com o ambiente. Em uma abordagem geográfica, o objeto de estudo da Hidrologia não é o volume de água da hidrosfera, e sim o seu movimento e significado em termos ecológicos, econômicos e sociais. Portanto, o conceito central da Hidrologia geográfica é o ciclo hidrológico, com ênfase na dinâmica da água em diferentes contextos espaço-temporais. A partir do viés das águas, busca-se identificar e analisar possibilidades de relações e interações nas interfaces entre as dimensões físicas e humanas dos sistemas ambientais, investigando-se o papel que as águas apresentam na estrutura horizontal (inter-relações entre os elementos que compõem a paisagem) e vertical (integração espacial das paisagens) e na dinâmica das paisagens.

A Geografia das Águas traz como um dos focos de interesse a interpretação da distribuição espacial e temporal desse elemento no planeta. Estima-se que a Terra disponha de 1,386 bilhão de km³ de água – lembrando que 1 m³ equivale a 1.000 litros (Clarke; King, 2005). As águas salgadas representam 97,5% do total existente, enquanto as doces respondem por 2,5% (Fig. 1.1). Isso dá uma ideia da importância de protegermos e gerirmos adequadamente os mananciais de água doce.

Entre 1950 e 2000, a disponibilidade hídrica *per capita* decresceu cerca de 400% no Brasil, enquanto na Europa a redução foi 13 vezes menor (ONU, 2006). O mesmo trabalho projeta que o Brasil apresentará, em 2025, um índice de disponibilidade hídrica *per capita* de 29.183 m³/hab/ano, incluindo a Bacia Amazônica, e 5.930 m³/hab/ano, excluindo-a. Esses dados são bem superiores aos limites hídricos de estresse e escassez definidos por Engelman e Leroy (1993), a saber:

- *limite hídrico de estresse*: disponibilidade hídrica inferior a 1.000 m³/hab/ano;
- *limite hídrico de escassez*: disponibilidade hídrica inferior a 1.667 m³/hab/ano.

Apesar dos números favoráveis em nível nacional, a desigualdade espacial da disponibilidade hídrica resulta em regiões mais desfavorecidas, como a região semiárida do Nordeste, onde há uma disponibilidade de 1.320 m³/hab/ano. A Região Norte conta com cerca de 7% da população brasileira e 68% da água doce de superfície

disponível, enquanto a Região Sudeste apresenta quase um terço da população e apenas 3,3% da água doce de superfície (ANA, 2017). No entanto, mesmo nas regiões e estados mais desfavorecidos, a disponibilidade ainda é promissora se comparada a outros países.

Os dados de disponibilidade hídrica anual não refletem as flutuações pluviométricas sazonais e interanuais nem o estado qualitativo das águas. Assim, uma elevada disponibilidade hídrica em termos absolutos não representa necessariamente uma elevada disponibilidade de água para os usos necessários, seja porque os recursos podem estar concentrados em certas áreas, seja porque a qualidade pode não ser adequada para satisfazer às exigências das demandas.

Além das variações naturais do regime climático e das características fisiográficas distintas entre as diversas regiões, a disponibilidade hídrica (quantitativa e qualitativa) pode ser comprometida por ações antrópicas que podem afetar diversos outros serviços ambientais (Quadro 1.1) e gerar conflitos de uso entre usuários.

Quadro 1.1 Impactos de ações e atividades humanas na disponibilidade hídrica

Atividade humana	Aspectos/impactos potenciais nos ecossistemas aquáticos	Serviços ambientais em risco
Construção de represas	Alteração do fluxo dos rios, transporte de nutrientes e sedimentos, interferência na migração e reprodução de peixes	Habitats, pesca comercial e esportiva, deltas e suas economias
Construção de diques e canais	Destruição da conexão do rio com as áreas inundáveis	Fertilidade natural das várzeas e controle das enchentes
Alteração do canal natural dos rios	Danos ecológicos aos rios, modificação de seus fluxos	Habitats, pesca comercial e esportiva, produção de hidroeletricidade e transporte
Drenagem de áreas alagadas	Eliminação de componente fundamental dos ecossistemas aquáticos	Biodiversidade, funções naturais de filtragem e reciclagem de nutrientes, habitats para peixes e aves aquáticas
Desmatamento/uso do solo	Mudança de padrões de drenagem, inibição da recarga natural dos aquíferos, aumento da sedimentação	Qualidade e quantidade da água, pesca comercial, biodiversidade e controle de enchentes
Poluição não controlada	Prejuízo da qualidade da água	Suprimento de água, custos de tratamento, pesca comercial, biodiversidade, saúde humana
Remoção excessiva de biomassa	Diminuição dos recursos vivos e da biodiversidade	Pesca comercial e esportiva, ciclos naturais dos organismos
Introdução de espécies exóticas	Supressão de espécies nativas, alteração de ciclos de nutrientes e ciclos biológicos	Habitats, pesca comercial, biodiversidade natural e estoques genéticos

2 | SISTEMAS HÍDRICOS SUPERFICIAIS CONTINENTAIS

*Luiz Fernando de Paula Barros
Antônio Pereira Magalhães Júnior
Frederico Wagner de Azevedo Lopes*

2.1 DINÂMICA HÍDRICA SUPERFICIAL

Em termos gerais, o modo como a água circula e se acumula em diferentes sistemas hídricos superficiais está intimamente ligado à morfologia do terreno. O relevo, isto é, o modelado ou conjunto de formas da superfície terrestre, é formado ao longo do tempo geológico por meio de um dinâmico balanço de fatores endógenos (geológicos) e exógenos (processos relacionados ao clima, à biota e às atividades humanas). A morfologia é importante não somente quanto à variação altimétrica e de declividade – controladores diretos da energia dos processos exógenos modeladores da superfície –, mas também em relação à sua geometria, podendo ser concentradora ou dispersora de fluxos d'água. Dialeticamente, a água em circulação é um dos mais efetivos agentes modeladores do relevo, por meio da erosão hídrica.

A compreensão da dinâmica hídrica superficial está relacionada, portanto, a uma série de elementos fundamentais do relevo, como interflúvios, talvegues e vertentes. Os interflúvios são linhas imaginárias que ligam os pontos de maior altimetria na superfície, ou seja, zonas com maior energia potencial gravitacional (Fig. 2.1). Eles são chamados também de divisores hidrográficos superficiais, tendo em vista que, a partir deles, a água circula em direções opostas em superfície.

Os talvegues são, por sua vez, as linhas imaginárias de menor altimetria ou de menor energia potencial gravitacional em determinado recorte do relevo (Fig. 2.1),

atraindo para si (a partir das áreas de maior energia potencial gravitacional) o escoamento superficial de água. Assim, os talvegues coincidem, em geral, com o traçado dos cursos d'água – sistemas de água corrente, com um ou mais canais de escoamento e que são configurados a partir de processos de erosão, transporte e sedimentação. Em maior escala, os talvegues coincidem com a linha de maior energia de escoamento nos canais fluviais, devido à convergência das linhas de fluxo.

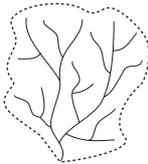
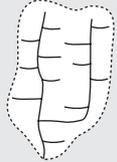
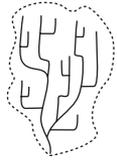
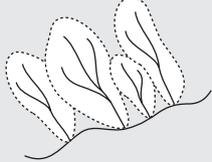
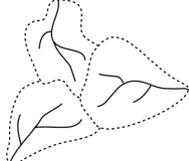
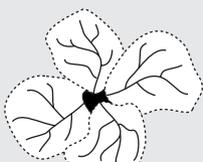
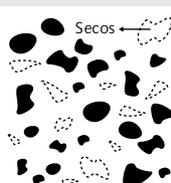
As vertentes são formas tridimensionais geradas por processos de erosão-sedimentação e/ou tectônicos que conectam interflúvios a talvegues (Fig. 2.1). São elementos dos vales fluviais, conectando topos a um mesmo talvegue fluvial a partir de inclinações convergentes. Os vales fluviais são formas escavadas por cursos d'água ao longo do tempo geológico a partir do encaixamento (incisão vertical) fluvial no substrato e da sua migração lateral via dinâmica das margens (erosão e deposição). Os processos morfodinâmicos de encostas (erosão/sedimentação e movimentos gravitacionais de massa) complementam a configuração dos vales em relação ao seu modelado.

A energia disponível para o escoamento superficial da água é função do gradiente de energia potencial gravitacional entre dois pontos e da declividade das vertentes, ou seja, da relação entre sua variação altimétrica e seu comprimento. Quanto maiores a amplitude altimétrica e a declividade de uma vertente, mais volumosos e energéticos são os fluxos, tendendo à maior erosão da

das rochas, podem gerar trechos fluviais retilíneos, curvas (meandros) fechadas e mudanças bruscas de direção. Em escalas menores, o controle geológico influencia, portanto, o *padrão de drenagem*, ou seja, a organização da rede hidrográfica numa visão em planta (Quadro 2.1), podendo ocorrer padrões diferentes em uma mesma bacia ou padrões similares em bacias vizinhas. Os diversos padrões descritos na literatura são comuns na meso e

macroescala, porém sistemas de drenagem continentais (caso da Bacia Amazônica, por exemplo) são geralmente mais complexos e podem incluir uma grande variedade de padrões específicos e intermediários entre os modelos clássicos propostos. Podem ser identificados, desse modo, padrões do tipo subdendrítico, subtreliça, subparalelo, entre outros.

Quadro 2.1 Classificação da rede hidrográfica quanto aos padrões de drenagem

Padrão	Descrição	Controle estrutural-tectônico	Representação
Dendrítico	Arranjo similar aos galhos de uma árvore. É o padrão mais comumente observado.	Rochas/sedimentos horizontais ou rochas de resistência homogênea (cristalinas); ausência de controle estrutural.	
Treliça	Uma drenagem de direção dominante com uma secundária perpendicular à primeira.	Rochas inclinadas ou dobradas, alternando substratos de diferentes resistências.	
Retangular	Rede de drenagem perpendicular com duas direções igualmente desenvolvidas.	Condicionado por sistemas de fraturas ou falhas (linhas de fraqueza) com ângulos retos.	
Paralelo	Canais principais regularmente espaçados e paralelos ou subparalelos, com confluências de ângulos bastante agudos.	Possivelmente associado a estruturas monoclinais ou a sistema de falhas pouco espaçadas.	
Radial centrífugo	Sistema de drenagens que fluem a partir de uma mesma zona mais elevada.	Cones vulcânicos, domos e relevos residuais.	
Radial centrípeto	Sistema de drenagens que fluem em direção a uma mesma zona mais rebaixada.	Crateras, caldeiras, dolinas, depressões tectônicas.	
Multibasinal	Padrões compostos por múltiplas depressões cuja origem exata não é conhecida; as conexões são, em geral, subterrâneas.	Comum em áreas de vulcanismo recente, de dissolução de rochas e de solos congelados.	

Fonte: elaborado a partir de Howard (1967), Christofolletti (1980), Grotzinger e Jordan (2013) e Summerfield (2014).

3 | A DINÂMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Wellington Lopes Assis

Antônio Pereira Magalhães Júnior

Frederico Wagner de Azevedo Lopes

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

Entre as várias divergências das correntes de pensamento no universo científico, as teorias sobre as origens das águas na Terra ainda são marcadas por questionamentos e reviravoltas à medida que o avanço tecnológico permite progressos na aquisição e análise de dados. Até o final da década de 1980, acreditava-se que o ciclo hidrológico global era “fechado” e que a origem da água no planeta estava associada aos processos vulcânicos associados à Tectônica de Placas (Rebouças, 2006). Nessa teoria, o vulcanismo teria lançado grandes quantidades de gases na atmosfera, como o hidrogênio (H_2) e o oxigênio (O) que, ao se combinarem, dão origem ao vapor de água. Seguindo essa linha, com o resfriamento da Terra ao longo do tempo geológico, o ambiente teria se tornado favorável à condensação do vapor, resultando nas primeiras chuvas. O surgimento de seres fotossintetizantes permitiria a produção do oxigênio livre e a sua incorporação na atmosfera, e a combinação entre o oxigênio e o hidrogênio teria aumentado os níveis de vapor na atmosfera, alimentando o ciclo hidrológico global.

Entretanto, estudos realizados a partir da década de 1990 reforçaram as ideias sobre a origem externa da água no planeta. Nesse sentido, cometas constituídos de gelo e partículas de pó podem ter acrescentado à Terra cerca de três trilhões de toneladas de água a cada 10 mil anos (Tundisi; Tundisi, 2008). Outros estudos indicam que o gelo encontrado em cometas surgidos no cinturão de asteroides, entre Marte e Júpiter, apresenta a mesma estrutura

molecular da água da Terra (Barbosa; Barreto, 2008). Na mesma linha, a análise isotópica da relação de deutério e hidrogênio em rochas basálticas permitiu propor que a água não teria chegado à Terra após a formação dela (Hallis et al., 2015). As moléculas teriam sido trazidas no pó que existiu em um disco nebuloso ao redor do nosso Sol (nebulosa protossolar), antes da formação do planeta. Estudos recentes acerca da composição de condritos de enstatita ou condritos tipo E (Piani et al., 2020) reforçam a origem primordial da água em nosso planeta. No entanto, pode-se afirmar que aportes adicionais de água foram incorporados no início da Terra, oceanos e atmosfera por material rico em água advindos de cometas e materiais carbonáceos semelhantes aos condritos (Peslier, 2020).

A dinâmica da água no espaço e no tempo é um processo de forte conotação geográfica. Mais do que por sua geometria, é por sua geografia que um sistema hidrográfico pode ser discernido. A Geografia permite entender o funcionamento de cada sistema ambiental e das interações entre os fenômenos físicos, sociais e econômicos, subsidiando a análise do espaço e do tempo hidrológico. A compreensão da configuração dos corpos hídricos e da dinâmica da água está intimamente relacionada à compreensão da estruturação de unidades espaciais geográficas, como territórios e sistemas hidroambientais. A Hidrologia é, portanto, uma das ciências de interesse da Geografia, dado que o ciclo hidrológico é um dos níveis de organização do espaço que não se desenvolve *sobre*, mas sim *no* espaço geográfico.

atração iônica que as partículas exercem sobre as moléculas de água) à medida que a umidade do solo diminui, já que há aumento da força de retenção no lugar das forças de movimentação das moléculas de água.

Um solo pode apresentar diversas zonas de propagação da umidade, como a *zona de saturação*, na qual todos os poros estão preenchidos por água; a *zona de transição*, na qual há grande variação de umidade; a *zona de transmissão*, que é uma zona não saturada com teor de umidade uniforme, onde parte dos poros está preenchida por água e outra parte, por ar; e a *zona de umedecimento*, em que há aumento progressivo da umidade (Grotzinger; Jordan, 2013).

A percolação da água diminui com a aproximação da *capacidade de campo* (limite superior de água disponível). Esse termo corresponde à quantidade máxima de água que um solo pode reter em condições normais de campo, quando a quantidade de água com movimento descendente por drenagem natural (gravidade) é muito pequena em relação à quantidade absorvida pelo sistema radicular (Collishonn; Dornelles, 2013). No perfil de solo, o *front* de umidade desloca-se por gravidade e sob influência do peso da coluna de água. A medição da percolação da água no solo pode ser realizada por meio de aparelhos que medem taxas de infiltração, como lisímetros, infiltrômetros e tensiômetros.

3.2 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é uma técnica que propõe avaliar, a partir de uma capacidade de armazenamento de água no solo predefinida, a quantidade de água excedente ou o seu déficit. Basicamente, o balanço hídrico contempla dados de precipitação, temperatura e evapotranspiração potencial (ETP). A técnica foi originalmente proposta por Thornthwaite em 1948 e aperfeiçoada por Thornthwaite e Mather em 1955. A entrada do balanço é a precipitação (P), ou seja, o volume de água precipitada em milímetros (mm), e a saída é a evapotranspiração potencial (ETP) ou real (ETR), também contabilizadas em milímetros. Com isso, os produtos do balanço hídrico são os excedentes e déficits hídricos para a superfície vegetada (Fig. 3.6). As informações quantitativas do balanço são utilizadas na resolução de numerosos problemas que envolvem o manejo das águas, notadamente na agricultura, na previsão de cheias e na construção e operação de reservatórios.

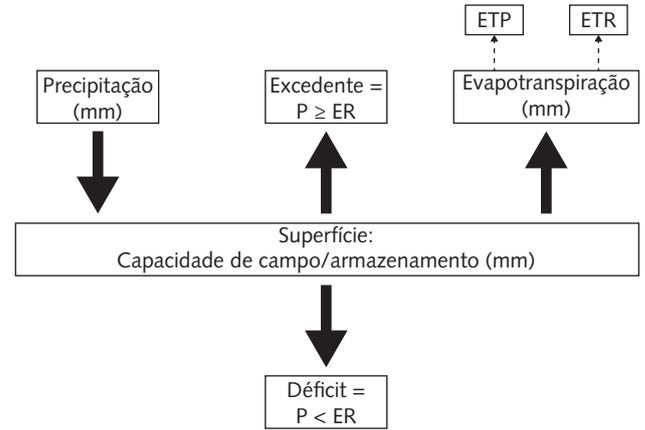


FIG. 3.6 Fluxograma do balanço hídrico segundo proposta de Thornthwaite e Mather (1955)

Cada balanço hídrico considera a capacidade de *armazenamento de água* (ARM) da superfície vegetada, que depende das suas características e apresenta as seguintes categorias: 50 mm, 100 mm, 125 mm, 150 mm e 300 mm. A ARM é a máxima quantidade de água utilizável pelas plantas que pode ser armazenada na sua zona radicular (Tubelis; Nascimento, 1984) e varia em função da quantidade de água precipitada e da evapotranspiração ocorrida. O *excedente hídrico* (EXC) ocorre quando a precipitação é superior à quantidade de água necessária para atender à demanda da evapotranspiração potencial e do armazenamento de água no solo. Já o *déficit hídrico* (DEF) ocorre quando o valor da ARM não consegue complementar a precipitação no atendimento da demanda da evapotranspiração potencial.

3.2.1 Cálculo da evapotranspiração potencial (ETP)

O primeiro passo para o cálculo do balanço hídrico é estimar o valor da evapotranspiração potencial (ETP) mensal. Essa estimativa pode ser feita através de métodos analíticos, que envolvem relações empíricas, ou utilizando medidas de evapotranspiração em campo.

A equação de Thornthwaite (1948) é muito utilizada no cálculo da ETP. Trata-se de um modelo simples baseado em dados de temperatura média do ar e do fotoperíodo, originalmente elaborado para regiões áridas e semiáridas dos Estados Unidos. A Eq. 3.4 apresenta os parâmetros para a obtenção da ETP mensal segundo Thornthwaite.

$$ETP = F_C \cdot (ETP_{na}) \quad (3.4)$$

4 | ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

*Antônio Pereira Magalhães Júnior
Frederico Wagner de Azevedo Lopes
Miguel Fernandes Fellipe*

Grande parte da água existente no globo terrestre não é visível na superfície, encontrando-se nos poros do solo e nas descontinuidades físicas das rochas. Em termos de ciclo hidrológico, as águas subterrâneas cumprem um importante papel de alimentar rios, lagos, nascentes e áreas brejosas, possuindo, portanto, conexão direta com as águas superficiais. Por outro lado, as águas subterrâneas sempre apresentaram um papel importante para o abastecimento humano, incluindo diversas atividades produtivas e a própria dessedentação.

O uso preferencial de águas subterrâneas em muitas áreas do globo é motivado por sua elevada qualidade natural em relação às águas superficiais e pelo relativo baixo custo de obtenção em muitos casos. Há milênios, diversas civilizações desenvolvem e utilizam sistemas de extração e distribuição de águas subterrâneas (*qanats*) em regiões do Oriente Médio, África, China e América do Sul (Juuti; Katko; Vuorinen, 2007; Cech, 2018). Atualmente, esse recurso apresenta papel estratégico para o abastecimento de grandes populações. Diversas metrópoles apresentam significativa dependência de água subterrânea para o seu abastecimento, como a Cidade do México.

O uso consorciado de águas superficiais e subterrâneas pode ser sustentável desde que a capacidade de recarga da água subterrânea não seja comprometida. Além disso, a confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água, que deve sofrer com a maior variação na disponibilidade de água superficial em decorrência das mudanças climáticas, pode ser reforçada, quando viável, pelo aumento do uso das águas subterrâneas.

No Brasil, a água subterrânea vem sendo utilizada desde o início da colonização europeia, especialmente em aluviões nos leitos e margens de cursos d'água, onde era captada por meio de cacimbas e poços rasos. Seu uso foi sendo intensificado e o aumento das demandas levou à perfuração dos primeiros poços nos anos de 1845-1846, em Fortaleza (CE), os quais apresentavam cerca de 150 m de profundidade (Zoby; Matos, 2002). Nos anos 1970, com a criação do Plano Nacional de Abastecimento, as águas subterrâneas passaram a ter maior participação no abastecimento público, sobretudo em localidades de pequeno e médio porte.

Quase 20.000 milhões de m³/ano (557 m³/s) de águas subterrâneas são extraídas anualmente no Brasil, destinadas a diversas finalidades (Fig. 4.1) e utilizadas para o abastecimento de 31% dos municípios brasileiros, segundo Hirata et al. (2019). De acordo com os autores, estima-se a existência de 2,5 milhões de poços no território nacional, dos quais 88% não estão cadastrados pelo poder público, ou seja, são clandestinos.

Segundo a Resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) nº 15/2001 e a do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 396/2008, as águas subterrâneas são aquelas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo. No mesmo sentido, a água subterrânea pode ser entendida como a que ocorre no meio subsuperficial preenchendo os poros e descontinuidades físicas de solos e rochas, podendo circular e aflorar em superfície (Albuquerque; Rêgo, 1998).

5 | NASCENTES E ÁREAS ÚMIDAS

Miguel Fernandes Felipe

Cecília Siman Gomes

Antônio Pereira Magalhães Júnior

5.1 NASCENTES DE CURSOS D'ÁGUA

Abordando temas hidrogeográficos, nunca é demais lembrar que a água no planeta Terra está em um constante e complexo movimento. Uma série de processos físicos envolve essa dinâmica, perfazendo a distribuição da água não apenas em um contexto geográfico (espacial), mas também através dos sistemas hídricos que compõem a hidrosfera. Assim, a água superficial se torna atmosférica, a qual, por meio da precipitação, infiltração e percolação, se transforma em água subterrânea, que pode retornar à superfície alimentando rios na forma de nascentes quando a superfície topográfica intercepta as linhas de fluxo dos aquíferos. Sendo assim, as nascentes configuram sistemas ambientais de grande peculiaridade, determinados pela magnitude e dinâmica dos fluxos hidrológicos.

As nascentes estão entre os mais diversos e singulares ecossistemas da Terra, pois apresentam uma intrincada relação entre os elementos geoecológicos, possibilitando uma diversidade biológica raramente vista em outros ambientes, caracterizada por grande heterogeneidade interna de micro-habitats. A importância das nascentes se estende à base físico-natural enquanto elementos interescares que configuram e são configurados dialogicamente pelas paisagens em que estão inseridos. Por um lado, suas características estão diretamente relacionadas a condicionantes regionais geológico-geomorfológicos e bioclimatológicos; por outro, as nascentes contribuem na evolução e dinâmica do relevo.

Na esfera socioeconômica-cultural, as nascentes são importantes mananciais hídricos, sendo utilizadas tanto

para abastecimento doméstico de significativa parcela da população mundial quanto para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas, com destaque para a agropecuária. Além disso, apresentam elementos simbólicos relativos ao lazer e à contemplação para os seres humanos.

Contemporaneidade à parte, as nascentes desempenharam um papel fundamental na evolução e história da humanidade. Estudos recentes vêm comprovando a relação entre a disponibilidade de água potável nas nascentes e a sobrevivência e dispersão dos homínídeos na África durante o Pleistoceno, verificando a associação direta entre a ocorrência de paleonascentes e sítios arqueológicos. Tais evidências, associadas à manutenção da umidade superficial mesmo em períodos paleoclimáticos de aridez, teriam garantido a sobrevivência de comunidades e contribuído para a seleção natural daquelas espécies que tinham maior capacidade de encontrar fontes hídricas mais duradouras ao longo do tempo (Ashley; Tactikos; Owen, 2009).

Do ponto de vista da Geografia, diversas abordagens são possíveis, desde aquelas voltadas ao saneamento, à cultura e à política, até as geomorfológicas e hidrológicas. Passando pelas relações sociedade-natureza, a Hidrogeografia tem-se debruçado sobretudo na avaliação de impactos ambientais e processos de degradação de nascentes. Como se pode ver, diferentemente do que uma abordagem rasa possa transparecer, a nascente é muito mais do que só a água que nela exfiltra; ela abarca toda uma complexidade de interações sistêmicas e interescares que incluem as rochas, os solos, o relevo, as comunidades ecológicas e a sociedade.

Conforme o Centro de Pesquisa do Pantanal (CPP) e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INAU), a carência de critérios legais para definição, delimitação e classificação das AUs do Brasil torna as suas funções ecológicas e ambientais pouco reconhecidas e mais difíceis de serem valorizadas em termos políticos, legais, sociais e ambientais (Junk et al., 2012). A listagem apresentada no Quadro 5.2, adaptada da proposta do

CPP-INAU, apresenta os nomes populares para as AUs do País, suas características identificadoras e sua localização no Brasil. É importante ressaltar, de qualquer modo, que as abordagens conceituais e tipológicas podem variar em função do caráter multidisciplinar das AUs, já que as diversas ciências ambientais têm concepções distintas de vários sistemas hidroambientais.

Quadro 5.2 Tipos de áreas úmidas no Brasil segundo o CPP-INAU

Denominação	Localização	Características
Baixada litorânea (restinga)	Litoral	Zonas deprimidas e encharcadas por causa da surgência do nível freático, formando corpos d'água rasos e brejosos. Por vezes, essas áreas situam-se entre dunas e possuem macrófitas aquáticas e palustres, podendo ser, inclusive, florestadas.
Banhado	Sul do Brasil	Denominação geral de áreas úmidas no Rio Grande do Sul.
Branquilha	Paraná	Floresta de várzea (de áreas inundáveis).
Brejo		Nome popular pouco específico para áreas encharcadas. Sistemas predominantemente herbáceos.
Buritizal	Áreas de Cerrado	Áreas úmidas cobertas com buritis (<i>Mauritia flexuosa</i>).
Campina, Campinarana	Amazônia central	Áreas arenosas com solos periodicamente encharcados, cobertos por vegetação savânica hidromórfica.
Carnaubal	Litoral	Áreas encharcadas de água doce, dominadas pela palmeira carnaúba (<i>Copernicia prunifera</i>) e herbáceas palustres.
Campos úmidos ou campos de surgência	Áreas de Cerrado	Sistemas semelhantes às veredas, mas sem a presença do buriti (Scolforo; Carvalho, 2006). Sua fisionomia pode variar de campo limpo a sujo, campo de altitude e rupestre.
Estuário	Litoral	Foz de cursos d'água no litoral formando áreas úmidas com forte influência das marés e águas salinas.
Igapó	Amazônia central	Área alagável ao longo de rios, com águas escuras e claras, pobres em nutrientes.
Laguna costeira	Litoral	Corpos d'água lênticos litorâneos, geralmente de salinidade e vegetação variáveis, incluindo de manguezais a macrófitas aquáticas de água doce, tais como taboais (<i>Typha angustifolia</i>).
Lagoas marginais		Áreas marginais aos corpos d'água conectadas superficialmente através de inundações e/ou de forma subsuperficial através de contatos hidráulicos entre a planície de inundação e o corpo d'água.
Lavrados	Roraima	Áreas savânicas com lagos, brejos e veredas dominados por buritis.
Manguezal	Litoral	Ecossistema costeiro marcado por depósitos sedimentares inundados e formação vegetal específica.
Mata ciliar, mata de galeria ou mata ripária		Mata periodicamente inundável nas margens de corpos d'água.
Matas de brejo, florestas paludosas		Florestas sobre solos hidromórficos, cuja presença de água na superfície é permanente ou quase permanente em função do afloramento do nível freático (Torres; Matthes; Rodrigues, 1994; Ivanauskas; Rodrigues; Nave, 1997).
Meandros abandonados		Feições resultantes de cortes de meandros ao longo da dinâmica dos cursos d'água e que se situam nas planícies de inundação.

6 | PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Rodrigo Silva Lemos

Natália Duarte Cáceres

Tarcisio Tadeu Nunes Júnior

Antônio Pereira Magalhães Júnior

A crescente utilização da água, em toda a sua multiplicidade, tem ocorrido como um complexo processo territorial no qual, muitas vezes, interesses individuais, setoriais e de coletividades têm se sobreposto às necessidades de equilíbrio nos sistemas hídricos. A falta ou ineficácia de políticas públicas integradas no campo ambiental têm dificultado a construção de um planejamento territorial que considere de forma integrada o uso da terra e os usos das águas, as desigualdades de acesso e a forte influência econômica de determinados setores econômicos. Esse cenário, associado à baixa efetividade do monitoramento e da fiscalização de ações de impacto hídrico e de demandas de água, entre outros fatores, tem gerado a superexploração de mananciais hídricos, o desperdício de água e a poluição dos meios receptores a efluentes não tratados.

No Brasil, esses problemas são particularmente intensos devido à natureza desigual do processo de urbanização e à alta concentração fundiária e de riqueza existente no País. Variáveis de desigualdade que se expressam especialmente de formas distintas em área urbanas e rurais mostram desafios para a efetivação dos direitos humanos em diferentes problemas complexos, como a dificuldade da universalização de acesso à infraestrutura de saneamento adequada. Por outro lado, tais desafios estão se fazendo públicos, nas últimas duas décadas, por causa de fortes movimentos sociais que gradualmente se tornaram agentes de destaque na formulação de políticas públicas associadas à dinâmica

ambiental, em várias escalas geográficas, do nível nacional ao local. Em especial a partir da década de 1980, as políticas públicas e os processos de regulação em torno da temática ambiental e de recursos hídricos passaram a buscar garantir as condições para que a sociedade tenha maior influência nos processos decisórios, o que, em um passado não muito distante, era uma prerrogativa exclusiva do Estado.

Em todo o mundo, formas e modelos variados foram consolidados para pensar o planejamento e a gestão de recursos hídricos. A maioria dessas estruturas envolve, como essência, a construção de estratégias e desenhos institucionais para gerir os usos múltiplos das águas e garantir instrumentos para a sua otimização, além do reconhecimento da importância da proteção dos ecossistemas aquáticos, ainda que com diferentes ênfases nessas dimensões.

Nesse contexto, este capítulo apresenta alguns conceitos e princípios associados à gestão de recursos hídricos, explicando o processo de construção da política nacional de recursos hídricos brasileira, e também introduz experiências de modelos internacionais (Colômbia e França). A abordagem traz argumentos associados ao fato de que diferentes modelos de gestão são frutos de práticas políticas e organizacionais fundamentadas em princípios e perspectivas de Estado e que podem ser percebidas em diferentes momentos e formas nos variados desenhos institucionais de gestão de recursos hídricos.

envolve, ordinariamente, um “jogo” de interesses, onde cada grupo busca a aprovação de pautas que atendam a seus anseios. Apesar de o consenso nem sempre ser justo e democrático, os indivíduos geralmente estão mais dispostos a acatar uma decisão da qual participam do debate e da votação.

Desde a criação dos primeiros CBHs no País, a tendência é que haja um maior conhecimento e conscientização da população quanto ao seu papel e à possibilidade de participação na tomada de decisões relativas aos recursos hídricos, ainda que de modo representativo.

6.3 O MODELO FRANCÊS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A experiência francesa resultou em um dos sistemas de gestão de recursos hídricos mais consolidados do mundo, influenciando diversos desenhos institucionais nacionais e, em particular, o do Brasil. O modelo atual foi estruturado na Lei da Água de 16 de dezembro de 1964 e aprimorado pelas leis de 1992 e 2006, e contribuiu para a disseminação de princípios de gestão descentralizada e participativa, de gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas em seus aspectos quantitativos e qualitativos, e de consideração conjunta de dimensões físicas, químicas, ecológicas e sociais dos sistemas hídricos (Drobenko, 2015).

A França apresenta densidade demográfica relativamente baixa em comparação a outros países europeus. O país dispõe de uma disponibilidade hídrica relativamente elevada e do privilégio de estar a montante da maioria dos rios internacionais que atravessa o seu território, o que o coloca com certa independência com relação aos recursos hídricos. Por outro lado, essa abundância, de certo modo cristalizada no seio da sociedade francesa, e a desconsideração do princípio da finitude dos recursos naturais geraram cenários de demandas excessivas e degradação em certas regiões ao longo do tempo. Desse modo, há conflitos entre usos concorrentes, como na maior parte do planeta, em particular durante os períodos de baixa vazão. O surgimento de conflitos estimulou o desenvolvimento da regulamentação que propiciou a repartição de papéis entre os grupos implicados na gestão de recursos hídricos (Richard; Bouleau; Barone, 2009).

As pressões exercidas sobre os recursos hídricos franceses são numerosas e variadas. Como ilustrado por

Nicolazo e Redaud (2007), o consumo é estimado em 38 bilhões de m³/ano, sendo 15% voltados ao uso doméstico, 19% ao industrial, 64% ao resfriamento das centrais térmicas e 12% à agricultura. O volume de água utilizado por habitante é superior à média dos países europeus da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). As captações para fins domésticos e industriais estão estabilizadas há alguns anos; no entanto, há aumento em algumas bacias agrícolas devido ao crescimento significativo da irrigação a partir dos anos 1980. Essa estabilização foi alcançada a partir da redução das perdas na rede de abastecimento e do aumento do preço da água, o que contribuiu para acelerar a redução das demandas. A redução do consumo na indústria se deve a razões similares às dos outros países desenvolvidos: redução da atividade nos setores de mineração e siderurgia, modernização das usinas e implantação do programa eletronuclear.

Os principais problemas enfrentados pela França, no que concerne aos recursos hídricos, são: a penúria d'água na região sudoeste, sobretudo devido ao aumento das demandas para irrigação associado à disponibilidade hídrica relativamente baixa; a poluição dos rios e aquíferos; a mudança do fluxo proveniente da construção de barragens para a produção de energia; a forte alta do preço da água desde 1991, em razão do custo dos investimentos na luta contra a poluição, o que conduziu à insatisfação dos consumidores; e os riscos e danos das inundações, que geram perdas de 150 milhões de euros por ano e diversas vítimas (Richard; Bouleau; Barone, 2009).

O Estado francês era fortemente centralizado até os anos 1960 e se transformou à medida que emergiram novos níveis de ação pública nas escalas local e regional, em associação ao fortalecimento da Europa como bloco. Esses fatores, que influenciaram o aumento das interações entre os níveis, mudaram a escala de articulação de diferentes políticas públicas e ações governamentais. Diversos grupos conquistaram influência na construção da ação pública, sendo reforçada a interação entre governos locais, setor privado e associações, resultando na denominada construção de modelos de governança (Hooghe; Marks, 2002).

Compreender os diferentes níveis territoriais da gestão da água na França é uma tarefa complexa, pois a escala se estende de uma lógica continental e de regu-

7 | ÁGUA E GEOCONSERVAÇÃO

Úrsula de Azevedo Ruchkys

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira

Luciano José Alvarenga

Paulo de Tarso Amorim Castro

Geodiversidade, geopatrimônio e geoconservação são compreensíveis a partir de uma visão sistêmica da Terra. O prefixo *geo* associa-se à teoria de Gaia, postulada por Lovelock (1995) com inspiração na mitologia grega, na qual *Gaia*, *Geia* ou *Ge* (em grego, Γαῖα) é a Mãe-Terra (Ruchkys et al., 2018). A compreensão da Terra como totalidade, *Gaia*, provém de uma inteligência criativa e integradora, que corresponde à etimologia latina da palavra *intelligere* e exprime as ideias de unir, combinar, pensar junto, em contraste com formas de raciocínio fragmentárias da realidade. Trata-se de uma “inteligência sintética”, em que natureza e humanidade são percebidas como uma totalidade (Diagne, 2010).

Os termos *geodiversidade* e *geoconservação* apareceram em meados da década de 1990, em artigos publicados na Tasmânia e na Austrália (Sharples, 2002). Geodiversidade é a diversidade natural de aspectos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (formas de relevo, topografia, processos físicos), pedológicos (solos) e hidrológicos, incluindo seus conjuntos, estruturas, sistemas e contribuições para a formação das paisagens (Gray, 2013). Quando os componentes da geodiversidade apresentam valor científico, educacional, cultural ou estético, emprega-se o termo *geopatrimônio* (Díaz-Martínez, 2011; GSA, 2012). A importância do geopatrimônio decorre do seu potencial de narrar a história da Terra, no registro de rochas, formas de relevo, fósseis, minerais, solos, água (Crofts; Gordon, 2015). O valor patrimonial atribuído a determinados componentes da

geodiversidade implica a necessidade de instrumentos que promovam a sua conservação, o que é então denominado *geoconservação* (Sharples, 2002).

A água é um componente da geodiversidade, seja em disposição superficial, seja em subsuperfície. Quando passíveis de utilização para o atendimento de necessidades sociais, como as relativas ao abastecimento doméstico, à agricultura, à indústria e à recreação, as águas podem ser consideradas recursos hídricos.

Historicamente, a água tem sido uma preocupação central das civilizações desde os primeiros homínidos caçadores-coletores, passando pelos povos nômades, até os povos contemporâneos. Para garantir o acesso a esse recurso, os seres humanos passaram a se estabelecer, comumente, ao longo de rios, lagos e costas, primeiro para fins de consumo e depois para a efetivação de atividades agrícolas, comerciais e de navegação ou segurança. Construções para manipulação de sistemas de água foram e ainda são realizadas, deixando um legado tecnológico e cultural que inclui aquedutos, redes de irrigação e drenagem, sistemas de diques e de defesa.

A água é estudada em diferentes áreas do conhecimento, como a Geografia, a Engenharia, a Ecologia e o Direito (Hein et al., 2020). Do ponto de vista patrimonial, há estudos envolvendo estruturas construídas em diferentes partes do mundo para manipular o uso desse recurso. Entretanto, novas linhas de investigação podem servir de fonte de inspiração para a construção e o reconhecimento de identidades em torno da água, e

8 | OS TERRITÓRIOS E AS ÁGUAS

Rodrigo Silva Lemos

Antônio Pereira Magalhães Júnior

Guilherme Eduardo Macedo Cota

A abordagem das águas sob o viés dos processos de sua apropriação pela sociedade, e dos interesses e das relações de poder associados, passa pela contextualização da noção de meio ambiente e de como os bens naturais são entendidos pelas diferentes culturas. Apesar das representações correntes e cotidianas, que entendem a natureza segregada da dimensão social, a concepção de ambiente associa-se diretamente ao espaço circundante, que insere e que é percebido e apropriado pela sociedade. Formas de apropriação que são desiguais e que, na modernidade, foram orientadas muitas vezes de forma antropocêntrica, nas quais o espaço produzido e reproduzido pela e para a estruturação do Capital recria formas e modelos muito pouco sensíveis às dinâmicas do espaço natural e das diferentes necessidades sociais.

Foi principalmente a partir da década de 1960 que a relação homem × natureza e as formas de produção espacial foram questionadas com base em uma dimensão ecológica e no eventual esgotamento dos recursos naturais. Isso demandou novas políticas, ações e formas de se perceber e gerir as diferentes lógicas de enxergar e construir a dinâmica espacial. Os múltiplos territórios precisam de instrumentos que sejam sensíveis às particularidades do espaço natural e de suas formas de ocupação, organização e estruturas de poder inerentes às relações sociais.

Os cursos d'água demonstram cotidianamente as formas predatórias e pouco sensíveis das dinâmicas de uso e ocupação dos territórios. Poluição difusa,

esgotos sanitários, impermeabilização do solo, fragmentação das autorizações e licenças ambientais por meio de estudos individualizados e pouco articulados regionalmente, além de diversas outras questões, impactam diretamente a dinâmica das águas. A gestão das águas, envolvendo o planejamento de seus usos e a sua proteção, é, antes de tudo, um processo de entendimento das dinâmicas, prioridades e formas de ocupação dos territórios. Dentro das temáticas ambientais, as águas e suas dimensões foram incorporadas setorialmente em diferentes recortes territoriais.

A dinâmica das águas é um processo complexo que envolve diversas instituições e prioridades. Nosso contexto político e normativo atual é produto da evolução das relações da sociedade com a água e com a natureza, uma vez que a água é essencial para a organização dos núcleos e das atividades humanas. As primeiras civilizações se desenvolveram às margens de grandes rios, ilustrados pelos primeiros mapas elaborados por antigas sociedades e que, na grande maioria das vezes, incluíam os corpos d'água em suas representações. A água provê alimento e saúde e é recurso para múltiplas atividades. Ironicamente, os diferentes contextos de ocupação territorial, intensificados pelo adensamento das cidades modernas e a necessidade contínua de produção agrícola e industrial, transformaram a água em objeto de disputa, conflito e degradação.

Durante a revolução industrial inglesa, o Rio Tâmsa recebeu uma enorme quantidade de equipamentos, como

9 | GEOGRAFIA DA SAÚDE E QUALIDADE DAS ÁGUAS

Frederico Wagner de Azevedo Lopes
Antônio Pereira Magalhães Júnior

9.1 GEOGRAFIA DA SAÚDE E OS RECURSOS HÍDRICOS

A Geografia da Saúde, conhecida anteriormente como Geografia Médica, aborda as interações entre o homem e o ambiente, considerando as influências deste sobre a saúde e o bem-estar humano (Dummer, 2008). Diferentemente das demais ciências da saúde, o foco principal é a análise das relações e padrões espaciais de distribuição de doenças em diversas escalas. Embora a relação entre enfermidades e fatores ambientais remonte desde a obra *Sobre o ar, a água e a terra* de Hipócrates, considera-se a publicação

de Ludwig Finke, *An attempt at a general medical-practical geography [Versuch einer allgemeinen medicinischpraktischen Geographie]*, de 1972, como o marco da Geografia Médica (Bousquat; Cohn, 2004).

Atualmente, as pesquisas em Geografia da Saúde abrangem a análise de padrões, relações, causas e espalhamento de doenças, além do planejamento de ações e serviços de saúde, impactos da desigualdade espacial e social na saúde, relações entre fatores ambientais e benefícios à saúde mental pelo contato humano com áreas naturais, conforme ilustra o Quadro 9.1.

Quadro 9.1 Exemplos de pesquisas na área da Geografia da Saúde

Área de pesquisa	Exemplos
Monitoramento de doenças, mapeamento e modelagem	Análise de agrupamentos geográficos (<i>clusters</i>) de doenças; mapeamento de surtos de doenças de veiculação hídrica, como dengue e esquistossomose
Etiologia de doenças e determinantes da saúde	Variação geográfica da doença inflamatória intestinal e identificação de possíveis fatores de risco ambiental; influências locais e modificáveis na dieta, atividade física e obesidade
Avaliação de fatores de risco à saúde ambiental	Associação entre poluição do ar e taxas de mortalidade
Uso de serviços de saúde	Acesso e uso de hospitais e centros de saúde; reorganização regional de serviços de saúde
Desigualdades na saúde	Variações nos territórios rurais-urbanos; polarização social e espacial nos resultados da saúde ao longo da vida
Paisagens terapêuticas e saudáveis	Percepção de risco, estigma ambiental e desigualdade de vizinhança na caracterização de lugares saudáveis e não saudáveis; influência da água e espaços verdes na saúde mental

Fonte: modificado de Dummer (2008).

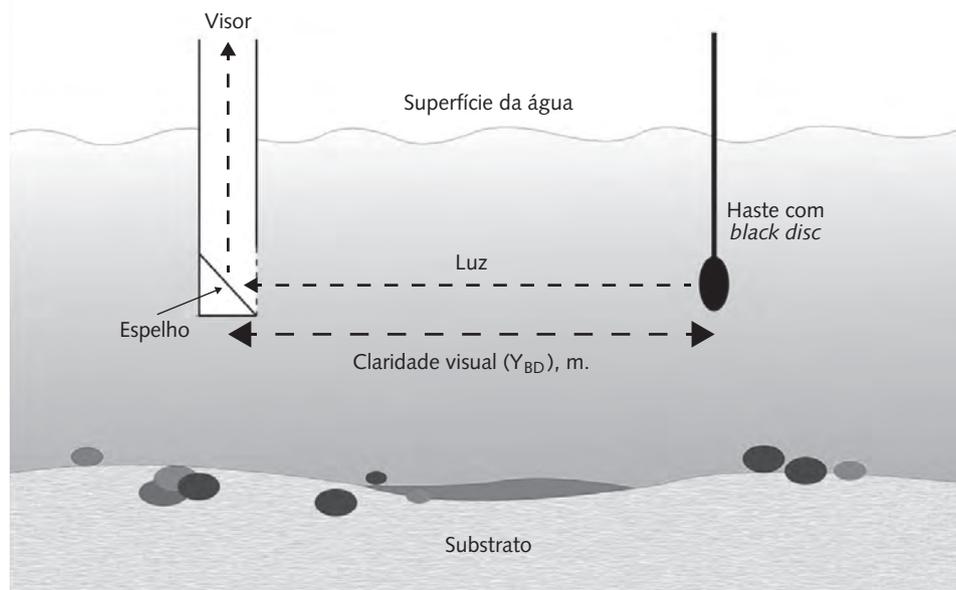


FIG. 9.2 Representação esquemática da medição da claridade visual pelo método do *black disc*
Fonte: Lopes (2012).

9.3.7 Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos, que também ocorrem em estado semissólido, são oriundos de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Também englobam lodos gerados em sistemas de tratamento de água ou em equipamentos e instalações de controle de poluição, e certos líquidos cujas particularidades inviabilizem o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou que exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inexequíveis considerando a tecnologia disponível (ABNT, 2004). Alguns resíduos, em função do seu potencial de danos à saúde humana, são classificados como resíduos perigosos, como é o caso do lixo hospitalar e de materiais radioativos.

O lixo urbano apresenta grande quantidade de matéria orgânica, a qual é oxidada e entra em decomposição acelerada ao ar livre. A falta de revolvimento dessa massa faz com que o oxigênio seja consumido de forma rápida em seu interior pela ação bacteriana, dando lugar à decomposição anaeróbia, com desprendimento de gases mefíticos, como metano e gás sulfídrico. O chorume pode conter compostos nitrogenados e metais tóxicos que oferecem riscos à saúde humana, sobretudo por meio da contaminação de mananciais.

Como exposto ao longo deste capítulo, diversos parâmetros estão disponíveis para a avaliação da qualidade das águas e o diagnóstico das principais fontes de poluição antrópica. A seleção dos parâmetros, a frequência e os locais de amostragem são determinados em função dos

objetivos e limitações técnicas e operacionais, e, nesse sentido, eles podem ser avaliados, individualmente ou em agregados, por índices de qualidade da água (IQA).

9.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Um dos principais desafios dos gestores ambientais é a conversão de dados abundantes e complexos em informações compreensíveis e acessíveis ao público não técnico. Para facilitar esse acesso, diversas áreas do conhecimento que estudam temas como poluição atmosférica, qualidade da água e economia têm-se utilizado de índices que, independentemente do objeto de estudo, visam converter uma série de dados em informação sucinta e inteligível. Nesse contexto, os *índices de qualidade da água* (IQA) são potencialmente úteis, em termos de aplicabilidade, para transmitir informações sobre o estado dos corpos d'água e o grau de poluição de mananciais. Os índices de qualidade da água podem subsidiar os processos de tomada de decisão no tocante ao planejamento e à gestão de recursos ambientais e ao ordenamento territorial. Quando são detectados problemas de inconformidade da água, em relação à qualidade necessária para atender aos usos a que se destina, pode haver a necessidade de estudos detalhados de parâmetros individuais, já que os índices tendem a gerar um valor único ponderado para uma série de parâmetros.

Desde o trabalho de Horton (1965), diversos outros índices de qualidade das águas vêm sendo desenvolvidos ao longo das últimas décadas, para os mais diversos usos. O IQA da National Sanitation Foundation (NSF) é o mais

10 | SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS

*Vitor Carvalho Queiroz
Frederico Wagner de Azevedo Lopes
Rodrigo Silva Lemos
Antônio Pereira Magalhães Júnior*

As atividades humanas são pensadas continuamente considerando as dinâmicas de recursos ambientais disponíveis nos diferentes territórios. Nesse sentido, a água é sempre um recurso que se configura como forte centralidade potencializadora ou limitadora do desenvolvimento das mais diferentes atividades humanas. Ao longo da história, recursos hídricos e saneamento estiveram intimamente associados e relacionados às demandas sociais e de produção.

A oferta de água em qualidade e quantidade para abastecimento de populações e a garantia de usos múltiplos, considerando as demandas econômicas e produtivas e as dinâmicas ecológicas e sociais, é um pressuposto para o real desenvolvimento das diversas economias e da existência humana. É principalmente a partir do século XIX que as águas e as dinâmicas de saneamento assumem forte importância no desenvolvimento das grandes cidades em todo o mundo, especialmente sob a ótica higienista baseada no foco à saúde pública a partir do combate às doenças transmitidas por águas contaminadas.

Das epidemias de cólera que impactaram as dinâmicas das grandes cidades europeias no século XIX às grandes reformas urbanistas e ascensão do planejamento urbano enquanto técnica e política de intervenção territorial na modernidade, um trajeto complexo e diferenciado foi traçado pelas diferentes realidades de desenvolvimento em países e urbes do planeta. No Brasil, a concentração populacional em grandes polos urbanos e a intensificação das atividades

econômicas industriais geraram um crescimento vertiginoso das demandas por saneamento a partir do século XIX, fenômeno que se mostrou bastante complexo, devido justamente à concentração populacional, à realidade econômico-financeira brasileira e seus recortes político-administrativos internos ao longo do tempo, e à pouca prioridade política que as ações de saneamento tradicionalmente assumem no País, a despeito de sua importância econômica e social (Heller; Castro, 2013).

10.1 SANEAMENTO: CONCEITOS E ABORDAGENS

O saneamento envolve o controle de fatores ambientais que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre as pessoas e comunidades. Nesse sentido, o saneamento contempla um conjunto de medidas que visam preservar ou modificar as condições do ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde humana. A saúde, nesse contexto, é entendida como “um completo estado de bem-estar físico, mental e social, e não apenas ausência de doença ou enfermidade” (WHO, 1948). Assim, o conceito de saúde não se restringe ao atendimento às necessidades básicas dos seres humanos, incorporando também a sensação de segurança, haja vista a intrínseca relação entre qualidade ambiental e problemas de ordem física e psicológica. Iniciada no século XIX, a Revolução Sanitária, por meio da ligação de moradias à água potável canalizada e à rede de esgotos, foi considerada o marco mais importante da medicina desde 1840, superando

vinculado à administração direta; prestação municipal por autarquia; prestação municipal com companhias municipais; prestação por companhias estaduais; empresas privadas e consórcios municipais. O modelo de consórcios vem sendo defendido como alternativa importante para a prestação de serviços, sobretudo devido ao ganho de escala. Essa modalidade tem avançado no manejo de resíduos sólidos.

Atualmente, cerca de 71% da população brasileira estão situados em regiões atendidas por companhia estadual, 22% por sistemas municipais e 6% por empresas privadas (Fig. 10.6). As Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste apresentam padrão mais ou menos similar à média nacional, com alguns destaques: percentual maior de sistemas municipais na Região Sudeste em relação à média nacional, menor participação de empresas privadas na Região Sul e maior participação de empresas privadas na Região Centro-Oeste. Já na Região Norte, a participação de empresas estaduais é bem menor do que a média nacional, enquanto a de empresas privadas é bem maior. Finalmente, na Região Nordeste a participação de empresas estaduais é muito superior à média nacional, e a participação de sistemas municipais e empresas privadas, bem menor, sendo a última praticamente inexistente.

Diversos estudos têm-se dedicado a comparar os diferentes modelos de prestação em relação a critérios como eficiência, qualidade, valor de tarifa, entre outros. No entanto, não há uma tendência clara de acordo com o modelo de prestação, ou seja, há bons e maus exemplos das várias categorias para as diversas variáveis (Heller, 2012). Portanto, a definição do modelo a ser adotado depende da realidade de cada município. Com a aprova-

ção da Lei nº 14.026/2020, há uma tendência de aumento da participação privada, em função dos dispositivos legais trazidos pelo marco regulatório, mas especialmente diante da agenda proposta pelo Governo Federal, sobretudo por meio dos trabalhos de apoio a concessões que têm sido promovidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Desde a mudança na legislação, já foram realizadas licitações robustas de prestação de serviços de abastecimento de água e/ou esgotamento sanitário pela iniciativa privada, sendo todas com suporte do BNDES para modelagem e estruturação das concessões (BNDES, s.d.).

10.4.4 Regulação e fiscalização

A regulação no setor de saneamento do País foi institucionalizada com a aprovação da LNSB, a qual estabelece que o exercício da função de regulação deve ser pautado pelos princípios de independência decisória, incluindo autonomia administrativa, orçamentária e financeira da entidade reguladora. Ao regulador cabe estabelecer normas de caráter social, operacional e econômico, especificamente:

- i] estabelecer padrões e normas para a adequada prestação dos serviços e para a satisfação dos usuários [...];
 - ii] garantir o cumprimento das condições e metas estabelecidas [...];
 - iii] prevenir e reprimir o abuso do poder econômico [...];
 - iv] definir tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico e financeiro dos contratos como a modicidade tarifária, mediante mecanismos que induzam a eficiência e eficácia dos serviços [...]
- (Brasil, 2007, art. 22).

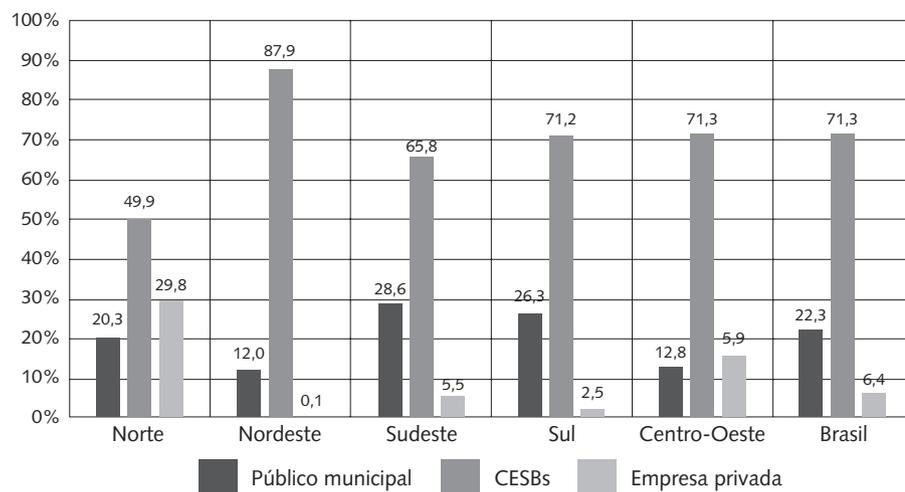


Fig. 10.6 Natureza jurídica do prestador por percentual da população nas macrorregiões do Brasil
Fonte: elaborado a partir de SNIS (s.d.).

11 | PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

*Ana Carolina Pinheiro Euclides
Tarcisio Tadeu Nunes Júnior
Antônio Pereira Magalhães Júnior
Diego Rodrigues Macedo*

Além de buscar promover a utilização moderada e integrada das águas, o poder público e a sociedade podem contribuir para a proteção dos recursos hídricos por meio da criação de áreas onde a cobertura vegetal seja prioritariamente preservada, favorecendo, por conseguinte, a manutenção do equilíbrio da dinâmica hidrológica. Essas áreas protegidas e suas formas de utilização variam conforme tipologias definidas por instrumentos legais. No Brasil, a maior parte dos tipos de áreas protegidas está prevista na legislação ambiental, mas as legislações urbanística e de planejamento territorial também fazem uso frequente de instrumentos dessa natureza.

As políticas de saneamento, abrangendo os serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, também devem ser concebidas com a função de proteger os recursos hídricos. Ainda que seu objetivo maior esteja ligado à promoção da saúde pública, a existência, a abrangência e a qualidade dos mencionados serviços interferem diretamente no controle da poluição e da contaminação das águas oriundas de atividades humanas, particularmente no tocante aos efluentes domésticos e industriais. As políticas públicas devem, portanto, atentar para que os processos de ocupação e expansão territorial ocorram balizados por medidas de proteção dos recursos hídricos que contemplem metas de universalização do saneamento, sobretudo a partir dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU).

Dessa forma, a proteção das águas não envolve somente princípios e fundamentos de gestão específicos de políticas de recursos hídricos, mas também aspectos de outras esferas da gestão ambiental. Este capítulo busca, nesse contexto, apresentar e problematizar os instrumentos de proteção e recuperação das águas previstos na legislação ambiental, urbanística, de planejamento territorial e de saneamento no Brasil, além de discutir projetos de intervenção em corpos hídricos e possibilidades de reaproveitamento e reúso da água. Para refletir sobre o potencial e as limitações desses instrumentos, adota-se como referência o processo de gestão das águas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a partir da experiência de pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) entre os anos de 2008 e 2020.

11.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS AFETAS À PROTEÇÃO DAS ÁGUAS

Para contextualizar as políticas públicas brasileiras relacionadas à proteção das águas, devem-se destacar alguns pontos da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (Brasil, 1988) relativos à natureza jurídica dos recursos hídricos e à organização da gestão das políticas que os afetam nos níveis federal, estadual e municipal. Dentro do referido marco legal, todas as águas brasileiras (não confundir com as propriedades nas quais as águas estão inseridas) são bens de domínio público,

11.4 RECUPERAÇÃO DE SISTEMAS HÍDRICOS

A recuperação de sistemas hídricos envolve processos de intervenção em corpos d'água visando melhorias em suas dimensões ambientais. Esse conceito está inserido na lógica mais ampla da restauração ecológica ou ambiental – que envolve também termos derivados, como restauração ambiental, restauração de rios e reabilitação fluvial – e vem ganhando atenção de pesquisadores, ambientalistas e governos nas últimas décadas.

A restauração fluvial é o processo de intervenção em um sistema fluvial impactado baseando-se em um conjunto de ações que visam reconstruir e recuperar os aspectos de estrutura, função, diversidade e dinâmica dos ecossistemas, em níveis os mais próximos possíveis do seu estado original (Ollero, 2015). Em termos biológicos, essas ações objetivam recuperar a capacidade de suporte do ambiente para a manutenção de uma comunidade de organismos com uma composição de espécies, diversidade e organização funcional comparável à do habitat natural da região (Bernhardt; Palmer, 2007). Nessa perspectiva, a restauração de sistemas hídricos é uma temática multidisciplinar, pois as intervenções devem contemplar a recomposição dos processos geomorfológicos, hidrológicos e biológicos.

Como já mencionado, a pretensão lógica de busca de “naturalidade” não significa a exigência de condições “virgens” ou “prístinas”, praticamente inexistentes na superfície terrestre, mas sim condições de ausência de

intervenções diretas nos sistemas hídricos, como obras de artificialização. Nesse sentido, a restauração pode ocorrer de modo ativo via ações que acelerem ou conduzam os sistemas hídricos aos estados de recuperação.

No entanto, o nível de alteração dos sistemas fluviais, como o elevado grau de urbanização, barramentos, alterações hidrológicas do escoamento superficial, a impossibilidade da determinação de condições naturais de referência (*background*), atualmente ou no passado, bem como a ausência de registros históricos, tornam a restauração *stricto sensu* inviável. Assim, em uma perspectiva mais pragmática, pode-se considerar que são possíveis somente ações de reabilitação, processo entendido como a busca de melhora do estado ambiental do sistema, baseando-se na recuperação de alguns elementos, processos ou funções, na perspectiva de se alcançar a melhor situação possível, mas sem a necessidade de busca de retorno do sistema às condições originais (Ollero, 2015). Portanto, a reabilitação inclui ações que podem recuperar certas qualidades dos ecossistemas, incluindo aspectos estéticos, de modo que não ocorra a degradação das áreas de entorno ou dos aspectos a jusante dos sistemas reabilitados, o que comprometeria usos futuros. Em resumo, a reabilitação tende a atingir um nível de recuperação ambiental inferior à restauração (Fig. 11.9).

Intervenções para restauração e reabilitação de cursos d'água vêm sendo desenvolvidas por agências públicas nos Estados Unidos, União Europeia, Austrália e Nova Zelândia desde a década de 1970, impulsionadas

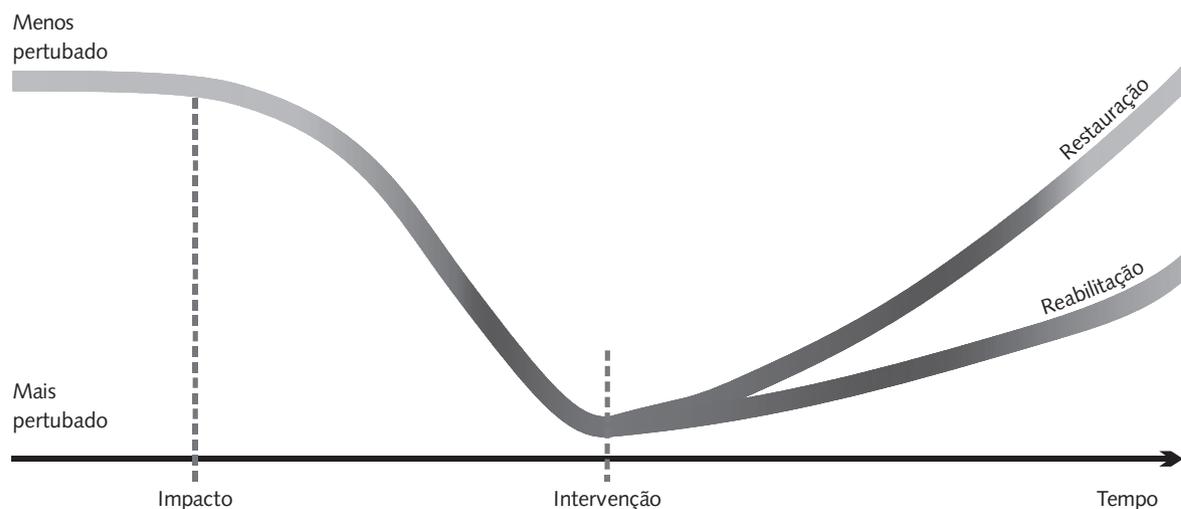
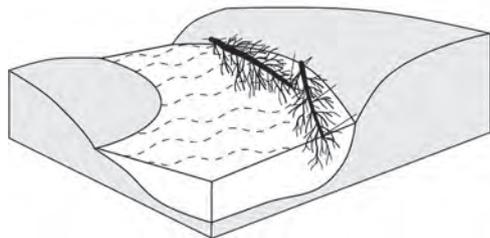


FIG. 11.9 Comparação esquemática entre níveis de resultados de processos de restauração e reabilitação em relação ao estado original de sistemas fluviais impactados

Árvores e troncos caídos

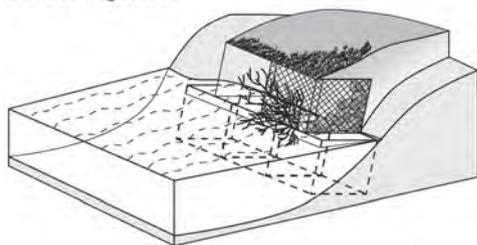


Árvores caídas e troncos colocados e amarrados ao longo da margem do riacho para fornecer cobertura, substrato e habitat para os organismos aquáticos, deflexão do fluxo d'água.



FIG. 11.14 Exemplo de aplicação de troncos amarrados ao longo de margens fluviais. Rio Mangarai, Santa Leopoldina (ES)
Fonte: adaptado de FISRWG (1998, p. 577) e Agra (2015).

Gabiões vegetados

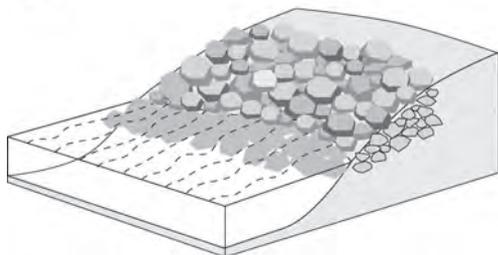


Gaiolas retangulares de malha de arame (gabiões) preenchidos com rocha e solo de tamanho pequeno a médio e amarrados para formar uma parede lateral. Cortes de galhos vivos podem ser colocados em cada camada consecutiva entre os gabiões para criar raízes, consolidar a estrutura e ligá-la à encosta.



FIG. 11.15 Exemplo de aplicação de gabiões vegetados em margens fluviais. Parque Urbano do Córrego Baleares, Belo Horizonte (MG)
Fonte: adaptado de FISRWG (1998, p. 581) e Macedo (2019).

Riprap



Uma manta de rochas de tamanho apropriado que se estende pela encosta até a altura necessária para prover durabilidade de longo prazo.



FIG. 11.16 Exemplo de aplicação de estrutura do tipo *rip rap* ao longo de margens fluviais. Rio Doce, Município de Barra Longa (MG)
Fonte: adaptado de FISRWG (1998, p. 584) e Macedo (2017).

12 | GEOTECNOLOGIAS E RECURSOS HÍDRICOS

Diego Rodrigues Macedo
Leticia de Santos Lima

12.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIGs)

O *geoprocessamento*, ou processamento de informações geoespaciais, fornece ferramentas e subsídios para análises baseadas em evoluções espaciais e temporais de fenômenos geográficos e suas inter-relações, através do tratamento espacial da informação. Apesar de estar, na atualidade, intimamente associado ao processamento computacional, um exemplo pioneiro do uso do geoprocessamento relaciona-se a um surto de cólera em Londres em 1854. O médico John Snow, após suspeitar de que a doença estava sendo transmitida através do consumo de água contaminada, fato que ainda não estava comprovado à época, utilizou o mapa da cidade para espacializar os endereços dos pacientes diagnosticados. Por meio do georreferenciamento dos endereços, ele identificou o poço da Rua Broad (atual Rua Broadwick) como o possível foco da doença e, ao persuadir o conselho municipal a lacrá-lo, constatou a diminuição dos casos de cólera (Câmara et al., 2004). A partir desse exemplo, observa-se que, já nas origens, o geoprocessamento tem sido fundamental para encontrar soluções para problemas geográficos complexos, inclusive nas pesquisas relacionadas aos recursos hídricos.

O acelerado desenvolvimento da tecnologia de informática, sobretudo no século XXI, tem proporcionado a expansão do uso do geoprocessamento através de *geotecnologias*, que são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações espaciais. Existem várias geotecnologias,

como os sistemas de informações geográficas (SIGs), o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global (GPS), a topografia, a fotogrametria, o levantamento por veículos aéreos não tripulados (VANTs), aplicações *web* e para *smartphones*, entre outras. A utilização das geotecnologias na gestão dos recursos hídricos tem diversas aplicações, como na modelagem de processos hidrológicos, em sistemas de captação e tratamento de água, em estudos de qualidade de água, no planejamento territorial através do gerenciamento espacial de informações e em estudos de definição de Áreas de Proteção Permanente (APP). Dentro desse conjunto de geotecnologias, destaca-se a utilização de dados de sensoriamento remoto e modelagem espacial através dos SIGs.

De maneira geral, os SIGs são um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real em um ambiente computacional. São utilizados como sistema integrado de suporte à decisão em várias áreas do conhecimento e estruturados em vários módulos, equipamentos e programas independentes, o que permite ao usuário customizar seu próprio SIG. Os dados espaciais são armazenados em um banco de dados geográfico, de maneira local ou remotamente, com acesso pela internet. Esse banco de dados precisa se comunicar com o usuário e, nesse sentido, é necessária a utilização de um sistema de gerenciamento e um programa que permita a sua manipulação. Por essa interface também é possível produzir análises espaciais e saídas de dados (Fig. 12.1).

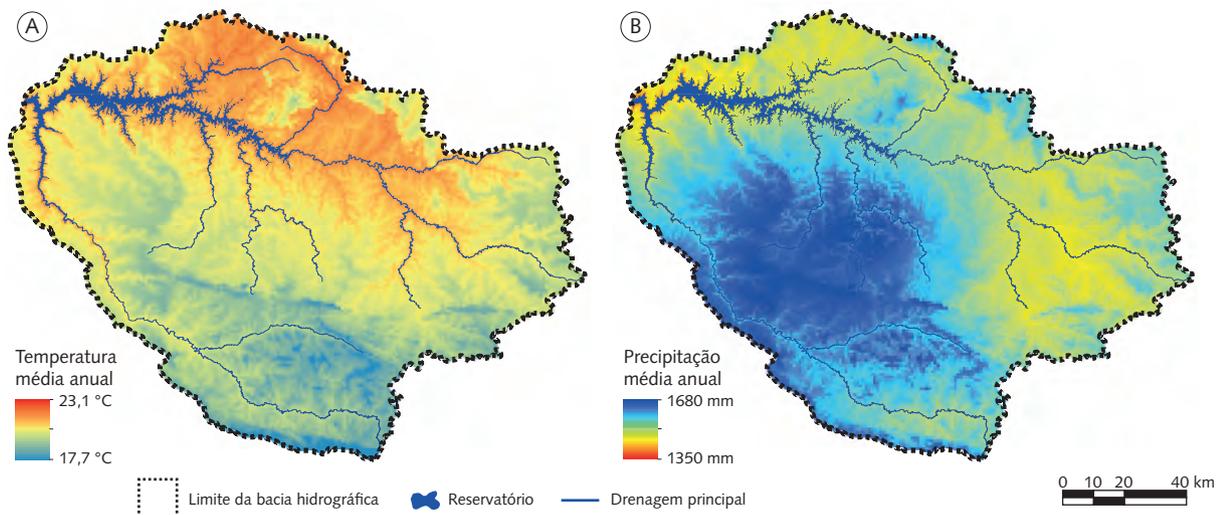


FIG. 12.7 Exemplo de representação de informações climáticas como raster ou grade associada aos recursos hídricos: (A) temperatura média anual; (B) precipitação média anual. Bacia do reservatório da UHE Nova Ponte (MG)
 Fonte: elaborado a partir de imagens digitais de temperatura e precipitação do WorldClim (<https://www.worldclim.org/>).

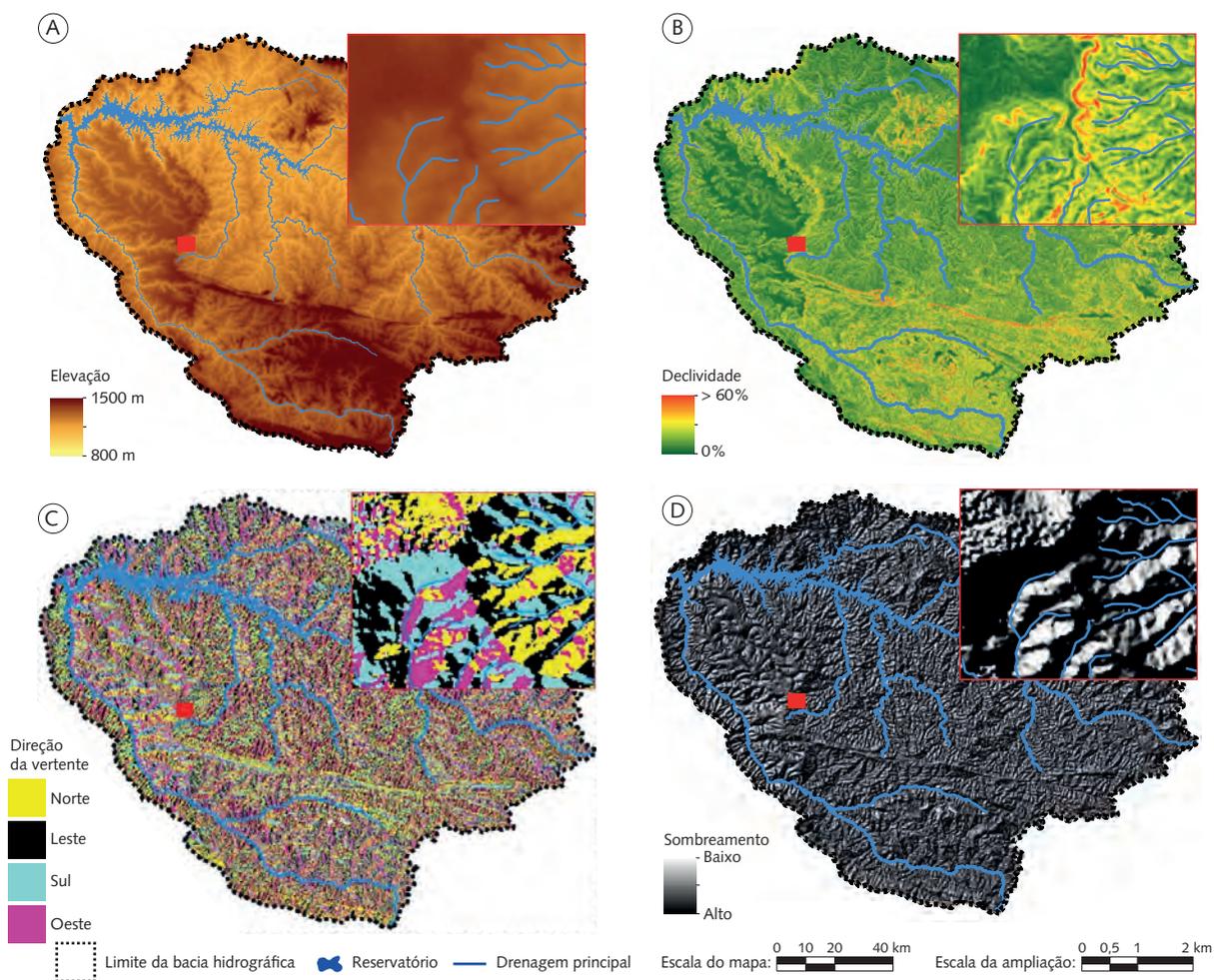


FIG. 12.8 Exemplo de representação de informações de terreno como raster ou grade associada aos recursos hídricos: (A) elevação; (B) declividade; (C) posição da vertente; (D) modelo digital de terreno sombreado. Bacia do reservatório da UHE Nova Ponte (MG)
 Fonte: elaborado a partir de imagens digitais de relevo do EarthExplorer (USGS, s.d.).