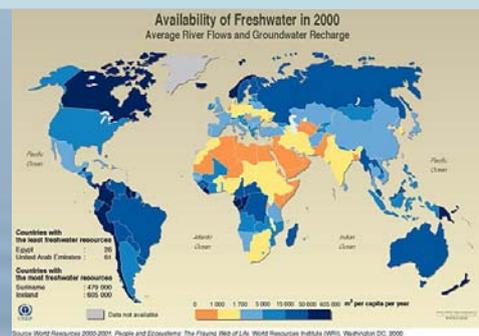
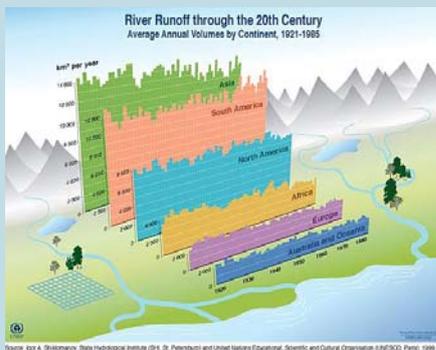


Catarina Ramos

Programa de HIDROGEOGRAFIA



Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial

DILIF - 3

Centro de Estudos Geográficos

Universidade de Lisboa

Lisboa – 2005

Catarina Ramos

**Programa de
HIDROGEOGRAFIA**

Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial

DILIF - 3

Centro de Estudos Geográficos

Universidade de Lisboa

Lisboa – 2005

Capa: figuras e fotos extraídos de:

<http://www.unep.org/vitalwater/freshwater.htm>

http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/geography/images/g_drought.jpg

http://www.rac.co.uk/web/img/advice_driving_floods.jpg

FICHA TÉCNICA

Título: Programa de Hidrogeografia

Autor: Catarina Ramos

Unidade de Investigação: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

Edição e Distribuição: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

Impressão: David Barreira

Tiragem: 300 exemplares

ISBN: 972-636-159-1

“ Não é culpa minha que o corpo humano sucumba ao fim de três dias sem beber. Eu desconhecia que fosse tão dependente da água. Eu não fazia ideia de que tivesse tão pouca autonomia... É suposto que o ser humano seja livre... e ninguém vê a amarra que o liga ao poço, como um cordão umbilical ao ventre da Terra “.

Antoine De Saint-Exupéry

Aos meus alunos

Índice

pág.

Introdução	7
I. Objectivos, métodos de ensino e avaliação da disciplina	
1. Objectivos gerais e métodos de ensino.....	13
2. Objectivos específicos.....	14
3. Avaliação.....	16
II. Programa	
1. Plano do programa.....	21
2. Planificação das aulas teóricas e práticas.....	23
III. Desenvolvimento do programa	
1. A Hidrosfera e o Ciclo Hidrológico à escala global.....	25
2. Os Sistemas de Drenagem dos Continentes: as Bacias Hidrográficas.....	47
3. Os Rios e seus Regimes.....	57
4. As Águas Subterrâneas.....	85
5. A Água e a Humanidade.....	93
Bibliografia	
1. Notas bibliográficas.....	107
2. Bibliografia Geral.....	110
3. Bibliografia Temática	111
4. <i>Sites</i> na Internet.....	121

Introdução

A Hidrogeografia tem sido, tal como lhe chamou Mateu Bellés (1989), o “ramo desprezado” da Geografia Física, nas escolas de Geografia da Europa Mediterrânea. Numa região do Globo em que a irregularidade temporal (intra e interanual) da quantidade de água disponível é um factor condicionante da manutenção dos padrões de produtividade agrícola, energética e industrial e do próprio desenvolvimento, a Hidráulica foi privilegiada no contexto da Hidrologia. A necessidade de construção de estruturas hidráulicas capazes de reter a água nas épocas de abundância para as de escassez ou que permitissem o desvio do escoamento fluvial durante as cheias, a fim de minorar as respectivas consequências, facilitou a “apropriação” da Engenharia dos estudos hidrológicos, sendo acompanhada (em menor grau) pela Geologia (hidrogeologia), já que o abastecimento através das águas subterrâneas é essencial em áreas onde os recursos hídricos superficiais se revelam insuficientes para as actividades humanas. As outras ciências foram assim relegadas para uma posição secundária e a Geografia não foi excepção.

Contudo, este panorama viria a sofrer uma profunda modificação a partir de meados dos anos 80, com a generalização e agravamento das questões ambientais, de entre as quais se destacam a degradação e escassez crescentes dos recursos hídricos. A multiplicidade de problemas que afectam a água e a sua transversalidade relativamente aos vários subsistemas que constituem o Sistema Ambiental Terrestre (atmosfera, litosfera, hidrosfera, biosfera e noosfera) contribuíram para a diversificação dos estudos com ela relacionados e para o desenvolvimento de ciências e de ramos científicos, com fortes ligações à Hidrologia.

O aprofundamento da visão sistémica e holística foi eliminando a resolução pontual e parcelar das questões relativas à água, estando esta a ser progressivamente substituída por modelos integrados de gestão dos recursos hídricos, que necessitam de estudos multi e inter - disciplinares no âmbito, não só das Ciências da Terra e da Vida, mas também das Ciências Sociais e Humanas.

A Hidrogeografia beneficiou desta nova realidade “renascendo das cinzas” nas escolas mediterrâneas de Geografia, mas sobretudo nas escolas anglo-saxónicas, onde atingiu um extraordinário desenvolvimento, através da aposta na modelização por parte dos geógrafos físicos. É por impulso destes geógrafos, nomeadamente do Reino Unido e da América do Norte, que é criado em 1998, no seio da União Geográfica Internacional, o Study Group on Environmental Change and Extreme Hydrological Events, cuja 1ª reunião se efectuou em Lisboa, aquando da Conferência Regional da

U.G.I.. O Grupo mudou, posteriormente, a sua designação para Study Group on Water Sustainability, na reunião de Seoul (2000), acompanhando as tendências prioritárias dos estudos hidrológicos: dos fenómenos extremos (especialmente as cheias), nos finais do século XX, para a sustentabilidade dos recursos hídricos, no século XXI. O dinamismo do Grupo foi reconhecido na reunião de 2004, efectuada em Durban, quando subiu na hierarquia da UGI para Commission for Water Sustainability.

A Geografia Humana também não ficou insensível à crescente preocupação e debate sobre a utilização sustentável dos recursos hídricos e a um dos principais problemas que a Humanidade terá que defrontar no século XXI: a “crise” generalizada da água no Planeta. As enormes dissimetrias regionais do acesso à água, os custos da utilização sustentada deste recurso tanto em qualidade como em quantidade, a diferente capacidade económica das populações para os suportar e as tensões políticas e sociais que daí poderão advir, levaram ao desenvolvimento daquilo a que J. Bethemont designou como Hidrogeopolítica (hidropolítica para outros autores) e que para R. Maury (1992) constitui um novo capítulo da Geografia Política e Económica.

Na Escola de Geografia de Lisboa, os estudos hidrológicos foram sendo ministrados, de forma parcelar, nas disciplinas de base de Geografia Física (nomeadamente na Prática de Geografia Física, mais tarde designada por Geografia Física II), ou ocasional, em algumas opções designadas por Hidrologia, a ciência base dos estudos hidrológicos. Assim, no pós-25 de Abril, foram leccionados por Suzanne Daveau, a opção “Hidrologia: os Rios Portugueses”, no ano lectivo de 1976-77, e o Seminário (também optativo) “A Água e o Homem em Portugal”, no ano lectivo de 1979-80. Nos 10 anos lectivos seguintes (durante toda a década de 80) não houve qualquer cadeira, ministrada nas licenciaturas em Geografia, no domínio dos estudos hidrológicos. Este vazio foi interrompido, no ano lectivo de 1990-91, por Suzanne Daveau ao reiniciar o ensino autónomo (optativo) das disciplinas de Hidrologia. Na década de 90, as opções em Hidrologia (com as designações de “Elementos de Hidrologia”, “Hidrologia” e “Hidrologia Fluvial”), foram-se sucedendo apenas não funcionando em 1995-96 e 1997-98. Este facto deveu-se não só ao empenhamento de Suzanne Daveau, mas também ao interesse crescente de alguns assistentes de Geografia Física (Catarina Ramos, Maria José Machado e Eusébio Reis) pelo estudo dos fenómenos hidrológicos e pelas questões relativas à água.

A Escola de Geografia de Lisboa seguia, deste modo, as tendências evolutivas, referidas acima, de outras escolas europeias no domínio dos estudos hidrológicos.

Concomitantemente, o aparecimento do Tema Água nos elencos curriculares dos ensinos básico e secundário e a preparação deficiente dos professores de Geografia neste tema (como eles próprios várias vezes nos transmitiram), bem como o

reconhecimento em Portugal, a nível oficial, da Bacia Hidrográfica como a unidade física base do planeamento e gestão dos recursos hídricos e, ainda, a consciencialização de que uma grande parte dos problemas que afectam a água se deve ao desordenamento do território, fortaleceram a convicção de que era necessário dar aos futuros geógrafos uma preparação básica neste domínio, de uma forma sistemática e não ocasional.

Perante esta conjuntura, quando, entre 1996 e 1998, se discutiu a revisão do elenco curricular das disciplinas de Geografia Física, que deveriam integrar o chamado “tronco comum” da licenciatura em Geografia, pareceu aos docentes de Geografia Física que o “4º ramo” da Geografia Física - a Hidrogeografia - tinha condições para ser ministrada autonomamente, a par dos outros três ramos - Geomorfologia, Climatologia e Biogeografia - de tradições mais fortes entre os geógrafos.

O Programa de Hidrogeografia, que a seguir se apresenta, resulta da experiência de ensino desta disciplina, a nível teórico e prático, a partir do ano lectivo de 1999-2000 e dos ajustamentos daí decorrentes. Estes ajustamentos foram efectuados com base na análise crítica dos docentes que leccionaram a disciplina, bem como da avaliação feita pelos alunos no final do 1º ano do seu funcionamento.

O Processo de Bolonha conduziu, durante o ano de 2005, à proposta de uma nova licenciatura em Geografia, com a duração de 3 anos lectivos, na qual a Hidrogeografia continua a ser ministrada obrigatoriamente, integrando a unidade curricular “Hidrossistemas e Ecossistemas”, com uma valência de 10 ECTS (5 ECTS para os Hidrossistemas). Essa proposta foi aprovada pela Comissão Científica do Departamento de Geografia da F.L.U.L., mas à data de elaboração deste relatório (Dezembro de 2005) ainda não subiu ao Senado da Universidade.

Aos colegas que comigo leccionam ou leccionaram a disciplina de Hidrogeografia - Eusébio Reis e Henrique Andrade - quero expressar o meu agradecimento, não só pelas sugestões e melhorias introduzidas no ensino das aulas práticas, mas também pelo empenho e dedicação na sua leccionação.

Dezembro de 2005

Catarina Ramos

I. Objectivos, métodos de ensino e avaliação da disciplina

1. Objectivos gerais e métodos de ensino

A Hidrogeografia tem integrado o elenco curricular das disciplinas de Geografia Física do denominado “tronco comum” da Licenciatura em Geografia, sendo ministrada no 2º ano. O seu objecto de estudo é a Hidrosfera, um dos 5 subsistemas que constituem o Sistema Ambiental Terrestre. Contudo, como é uma disciplina semestral, não é possível abranger o estudo de toda a Hidrosfera, pelo que se privilegiou a água doce¹ nos continentes, por ser neles que a Humanidade se estabeleceu e que dela depende e, dentro desta, a dos rios e toalhas aquíferas. Nesta opção programática está subjacente o facto de ser com estes hidrossistemas (bacias hidrográficas e aquíferos) que a maior parte dos alunos irá trabalhar nas questões relativas ao ordenamento, planeamento e gestão do território.

O objectivo principal da Hidrogeografia é o estudo da ocorrência, repartição geográfica e circulação da água doce no Planeta, bem como das principais consequências da sua utilização pelo Homem. Esse estudo é efectuado a várias escalas de análise: a do Planeta (global), a das bacias hidrográficas (regional) e a dos fundos de vale (local). A abordagem dos fenómenos hidrológicos a diferentes escalas espaciais tem como duplo objectivo mostrar a sua diferente natureza e a modificação do grau de importância dos factores que os influenciam. Os fenómenos hidrológicos manifestam-se, ainda, a diferentes escalas temporais: milenar, centenária, anual, mensal, diária e horária. Os métodos quantitativos, a par dos qualitativos, são assim essenciais nesta disciplina.

Na interpretação da variação temporal e da diferenciação espacial dos fenómenos hidrológicos utilizam-se métodos quer dedutivos quer indutivos, consoante a sua natureza. As relações dinâmicas entre os fenómenos são efectuadas a partir de uma análise sistémica, procurando desenvolver nos alunos a percepção e a compreensão do funcionamento dos sistemas hidrológicos.

Este ponto parece-nos de importância fulcral na formação dos futuros geógrafos, porque só conhecendo como funcionam os sistemas físicos (e biofísicos) se poderá intervir neles não ferindo os seus limiares de resiliência, condição *sine qua non* para o seu aproveitamento sustentável.

No Ensino da Hidrogeografia são utilizados quadros-síntese, esquemas, modelos e imagens, recorrendo-se, em todas as aulas teóricas, aos meios audio-visuais, de forma a facilitar a apreensão pelos alunos dos diferentes assuntos leccionados. As

¹ Água que ocorre naturalmente, com reduzida concentração de sais (geralmente inferior a 1000 ppm), cuja composição química é considerada adequada para consumo humano.

fontes estatísticas e cartográficas são utilizadas nas aulas práticas no sentido de exemplificar e ilustrar mais detalhadamente alguns dos temas abordados nas aulas teóricas.

O elevado número de alunos torna muito difícil quer o ensino quer o acesso à bibliografia (1 exemplar para mais de 100 alunos), pelo que se tem optado pela elaboração de um caderno de documentos de apoio quer às aulas teóricas quer às aulas práticas, com textos extraídos de diferentes autores, quadros de dados, esquemas e figuras ilustrativos dos diversos temas abordados na disciplina.

Finalmente, uma palavra para o trabalho de campo, essencial nas disciplinas de Geografia Física. Não se poderá chamar propriamente de “trabalho de campo” uma saída efectuada no final do semestre, com mais de 100 alunos... Os motivos são conhecidos: o excesso de alunos já mencionado, as dificuldades de horários compatíveis, etc. Contudo, mesmo essa única experiência no terreno revela-se marcante. Nela, os alunos são incentivados através da observação directa, na detecção dos processos e formas dos fenómenos hidrológicos (por exemplo, a definição de um leito de cheia), bem como o modo como o Homem se adaptou ou modificou o funcionamento hidrológico das bacias hidrográficas em análise e quais as respectivas consequências.

O domínio dos conceitos-chave, o treino na inter-relação dinâmica dos fenómenos, a consciencialização das causas e consequências das questões-chave respeitantes à água e da necessidade da sua abordagem sistémica, a aplicação prática de métodos e técnicas, ainda que básicos, na resolução dessas questões e o empenhamento na resolução das mesmas, constituem as competências essenciais que se pretende que os alunos atinjam no final da disciplina.

2. Objectivos específicos

A disciplina de Hidrogeografia está organizada em cinco blocos temáticos:

O Bloco Temático 1 - A Hidrosfera e o Ciclo Hidrológico à Escala Global tem como objectivos: a compreensão do funcionamento da Hidrosfera como um sistema fechado; quais os subsistemas abertos que a integram; como é que a água circula entre eles (ciclo hidrológico); quais os ritmos de renovação da água em cada subsistema e as respectivas consequências para os seres vivos e para o Homem; quais as regiões do Planeta com balanço hídrico positivo e negativo e suas causas. Nas aulas práticas mostra-se, através da aplicação do método de Thornthwaite-Mather, como o balanço hídrico de uma mesma região varia ao longo do ano e quantificam-se as suas 4

situações hídricas: déficit de água, evapotranspiração em detrimento da reserva de água do solo, reconstituição da reserva de água do solo e excesso de água.

O Bloco Temático 2 - Os Sistemas de Drenagem dos Continentes: as Bacias Hidrográficas tem como objectivos essenciais: a compreensão do funcionamento das bacias hidrográficas como sistemas abertos, que recebem água através da precipitação e produzem escoamento, sedimentos e nutrientes; quais os factores que influenciam o escoamento fluvial e como alguns desses factores são, simultaneamente, as componentes biofísicas das bacias hidrográficas. Nas aulas práticas pretende-se desenvolver a análise quantitativa de algumas dessas componentes (rede de drenagem e relevo), através da iniciação à análise morfométrica das bacias de drenagem.

O Bloco Temático 3 - Os Rios e seus Regimes tem como objectivos essenciais: a compreensão do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, através da análise das componentes do escoamento fluvial; o conhecimento dos métodos de medição do escoamento fluvial; como se define um regime de um rio através da análise quantitativa dos seus elementos (caudais, irregularidade, variações estacionais, estiagens, cheias e caudais sólidos); a influência do regime dos rios na dinâmica geomorfológica e hidrológica actual dos fundos de vale e suas consequências no ordenamento das áreas ribeirinhas. Nas aulas práticas faz-se a análise do regime de um rio, através de diversas metodologias de cálculo aplicadas aos elementos que o integram.

O Bloco Temático 4 - As Águas Subterrâneas tem como objectivos essenciais: precisar alguns conceitos de natureza hidrogeológica (aquífero, toalha aquífera...); mostrar a dependência das águas subterrâneas relativamente às características das formações geológicas, nomeadamente da porosidade e permeabilidade; conhecer a aptidão das principais formações geológicas (sedimentares, magmáticas e metamórficas) para conter e ceder água; perceber a relação entre a permeabilidade e a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos. Nas aulas práticas inicia-se a leitura do mapa hidrogeológico e salientam-se as informações que dele se podem tirar e quais as respectivas aplicações no ordenamento do território.

O Bloco Temático 5 - A Água e a Humanidade tem como objectivos essenciais: discutir os principais impactes da intervenção humana no sistema hidrológico, nomeadamente através das grandes barragens; discutir a chamada “crise da água” no Planeta e quais os factores que a justificam; definir os contrastes regionais na disponibilidade e grau de utilização humana dos recursos hídricos, nomeadamente na região euromediterrânea; discutir o papel da (escassez de) água nos conflitos políticos existentes ou latentes entre alguns dos países desta região; mostrar a evolução

positiva no enquadramento legal das questões relativas à partilha de recursos hídricos transnacionais e o papel inovador da Europa neste domínio, nos últimos 40 anos.

A Saída de Campo, que procura relacionar todos os blocos temáticos da disciplina, tem como objectivos essenciais: o contacto com um sistema hidrológico que é uma bacia hidrográfica (o que é); o reconhecimento de processos e formas da dinâmica fluvial (como funciona); a ocupação humana do território em função da água (suas adaptações e modificações às condições naturais) e quais as suas consequências (como foi modificada).

3. Avaliação

Como a Hidrogeografia é uma cadeira de base, é dada especial atenção à apreensão dos conceitos, que constituem o seu corpo teórico, à capacidade de análise de situações-tipo, bem como ao domínio dos métodos e técnicas aprendidas nas aulas práticas. Por este motivo, e apesar do “desgaste” que tal opção provoca no corpo docente, os trabalhos práticos têm sido individuais, porque “só fazendo se aprende a fazer”. Os trabalhos de grupo são ministrados em cadeiras mais avançadas, onde é suposto que cada aluno domine já minimamente quer os conceitos quer as técnicas de base aprendidas na Hidrogeografia.

Os trabalhos práticos estão sempre relacionados com os Blocos Temáticos. Nas aulas práticas, o treino na aprendizagem das técnicas e métodos de análise é feito, como foi referido, através de trabalhos práticos individuais, que o aluno vai auto-corrigindo à medida que vão sendo esclarecidas as dúvidas pelo professor, sendo a interpretação dos resultados feita colectivamente. A avaliação é efectuada, para o balanço hidrológico e para os regimes dos rios, na aula seguinte, através de testes presenciais individuais.

A avaliação teórica obedece às normas actuais, em vigor no Departamento de Geografia: um teste presencial individual no final do semestre, o qual, além das aulas teóricas, abrange também a saída de campo.

A solução ideal (e perfeitamente possível em termos organizativos) seria a de dois testes, um a meio e outro no fim da disciplina, permitindo a auto-correcção dos alunos e a apreciação da sua evolução, por parte do professor.

No final do primeiro ano de funcionamento da disciplina foi pedido aos alunos o preenchimento (facultativo) de uma ficha de avaliação. Esse preenchimento foi anónimo a fim de não os condicionar nas suas opiniões. Foram feitas 3 perguntas:

- Considera que os conteúdos programáticos da Hidrogeografia são importantes para a formação geográfica de base de todos os alunos da licenciatura?

- Considera que a quantidade de matéria ministrada é excessiva, equilibrada ou insuficiente?
- Quais os conteúdos que acha que se deveriam retirar ou simplificar e os que se deveriam aprofundar ou incluir?

As respostas recebidas, respeitantes a 1/3 dos alunos (cerca de 50), revelaram o sim à 1ª pergunta da totalidade das respostas, embora os motivos apontados variassem consoante o interesse dos alunos pelos vários temas. As opiniões dividiram-se ao meio, quando cerca de metade dos alunos acharam que a quantidade de matéria era excessiva e a outra metade que era equilibrada. Na 3ª pergunta, voltou a haver unanimidade quando os alunos manifestaram a opinião de que a parte respeitante à hidrometria deveria ser muito simplificada. Quanto a novos conteúdos a incluir na cadeira, apenas 1/4 dos alunos, que preencheram a ficha, deu sugestões. As que foram dadas eram comuns: a necessidade de uma saída de campo (no 1º ano de funcionamento da cadeira não existiu devido a questões técnicas que se prenderam com a organização do estágio de campo do 2ºano da licenciatura); o aprofundamento que gostariam de ver dado ao estudo dos grandes rios do Planeta e a inclusão no programa teórico dos rios e águas subterrâneas de Portugal.

A partir da reflexão dos docentes e da avaliação dos alunos foi mantida a quantidade de matéria ministrada, foi incluída a saída de campo, independentemente do tema do estágio de campo a efectuar todos os anos, foi alargado o estudo dos grandes organismos fluviais do Planeta, foram reduzidas as noções de hidrometria, mas não foram incluídos os temas respeitantes a Portugal, por um motivo óbvio: na disciplina de Geografia de Portugal (obrigatória também para todos os alunos), um dos pontos do respectivo programa é totalmente dedicado a esta temática, pelo que não fazia sentido leccioná-la duas vezes em cadeiras diferentes.

II. Programa

Plano do programa

I. A HIDROSFERA E O CICLO HIDROLÓGICO À ESCALA GLOBAL

1. A importância da água. Definição e objecto da Hidrogeografia

2. A água no Planeta: ocorrência, repartição geográfica e circulação

2.1. O Princípio de Conservação da Água e o Ciclo Hidrológico

2.2. Os grandes reservatórios naturais de água do Planeta

2.3. A renovação das reservas de água do Planeta

3. A água nos continentes: o ramo terrestre do ciclo hidrológico

3.1. O papel da atmosfera na repartição da água nos continentes

3.2. As regiões de escassez e de abundância de água

Trabalho prático

II. OS SISTEMAS DE DRENAGEM DOS CONTINENTES: BACIAS HIDROGRÁFICAS

1. Definição e tipologia

1.1. As diferentes concepções de bacia hidrográfica

1.2. Tipos de bacias hidrográficas

2. Os factores do escoamento

2.1. O clima

2.2. As componentes biofísicas das bacias hidrográficas

2.3. A intervenção humana

3. Análise sistémica das bacias hidrográficas

3.1. A geometria

3.2. A rede de drenagem

3.3. O relevo

3.4. O substrato geológico

3.5. Os solos

3.6. A vegetação

Trabalho prático

III. OS RIOS E SEUS REGIMES

1. O escoamento fluvial

1.1. As componentes do escoamento fluvial

1.2. As unidades de medição

1.3. As séries hidrológicas

2. Os elementos dos regimes fluviais

- 2.1. O caudal
- 2.2. A (ir)regularidade
- 2.3. As variações estacionais
- 2.4. As estiagens
- 2.5. As cheias
- 2.6. O caudal sólido

3. A dinâmica fluvial

- 3.1. Os processos fluviais
- 3.2. Os tipos de leitos fluviais

Trabalho prático

IV - AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1. A dependência das águas subterrâneas do substrato geológico

- 1.1. Os meios de circulação subterrânea da água
- 1.2. A porosidade e a permeabilidade
- 1.3. Classificação das formações geológicas quanto ao conteúdo e capacidade de cedência de água

2. As toalhas aquíferas

- 2.1. Tipos de toalhas aquíferas
- 2.2. As nascentes
- 2.3. As águas subterrâneas e a vulnerabilidade à contaminação

Trabalho prático

V - A ÁGUA E A HUMANIDADE

1. Consequências da intervenção humana no sistema hidrológico

- 1.1. A influência humana no ciclo da água
- 1.2. Os impactes das grandes barragens

2. A geopolítica da água

- 2.1. “Crise da água” no século XXI?
- 2.2. Os contrastes regionais na disponibilidade e grau de utilização da água: a situação na região euromediterrânea
- 2.3. A evolução dos princípios orientadores do planeamento e gestão dos recursos hídricos

Saída de Campo

Planificação das aulas teóricas e práticas

Sessão nº	Aulas Teóricas	Aulas Práticas
1	Definição e objectivos da Hidrogeografia. Método de avaliação. A Hidrosfera e o ciclo hidrológico à escala global. A água no Planeta: ocorrência, repartição e circulação.	O Balanço Hidrológico: definição das suas componentes e metodologia de cálculo. Início do cálculo do balanço hidrológico.
2	Conclusão da lição anterior. A água nos continentes: o ramo terrestre do ciclo hidrológico. Regiões de escassez e de abundância de água.	Cálculo do balanço hidrológico.
3	As bacias hidrográficas: definição e tipologia. Os factores do escoamento.	Conclusão do cálculo do balanço hidrológico e interpretação dos resultados.
4	Análise sistémica das componentes das bacias hidrográficas.	Teste prático sobre o Balanço Hidrológico.
5	Conclusão da lição anterior. O escoamento fluvial e suas componentes. As séries hidrológicas. Os elementos dos regimes fluviais.	Iniciação à análise morfométrica das bacias hidrográficas: delimitação e hierarquização da rede de drenagem.
6	Os grandes tipos de regimes fluviais e sua repartição geográfica nos diversos continentes.	As fontes de informação no estudo dos caudais. Noções básicas de hidrometria. Início da quantificação dos elementos do regime fluvial: a) caudais.
7	Conclusão da lição anterior. As situações hidrológicas extremas: as estiagens.	Quantificação dos elementos do regime fluvial: b) (ir)regularidade dos caudais anuais; c) variações mensais dos caudais.
8	As situações hidrológicas extremas: as cheias. O conceito de inundação. Causas e tipos.	Quantificação dos elementos do regime fluvial: d) as estiagens; e) as cheias.
9	As medidas mitigadoras das cheias e sua aplicação no ordenamento do território. A influência do escoamento fluvial na morfogénese dos diversos tipos de leitos fluviais.	Conclusão da quantificação dos elementos do regime fluvial. Interpretação dos resultados obtidos.

10	As águas subterrâneas. Classificação das formações geológicas quanto à sua capacidade de conteúdo e cedência de água. Tipos de toalhas aquíferas. Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.	Teste prático sobre os Regimes Fluviais.
11	Impactes das actividades humanas no sistema hidrológico. As grandes barragens. Discussão de casos-tipo.	Iniciação à leitura do mapa hidrogeológico: análise da legenda e informações úteis para o ordenamento do território.
12	A crise da água à escala global? A situação na região euromediterrânea quanto à disponibilidade e grau de utilização dos recursos hídricos.	Saída de campo (*): o funcionamento hidrológico das bacias hidrográficas e as actividades humanas.
13	Teste Teórico.	-----

(* Sessão correspondente a 6h (3 aulas práticas).

Total de horas leccionadas: 48h; total de horas de avaliação: 6h; total de horas da disciplina = 54h

III. Desenvolvimento do Programa

I. A HIDROSFERA E O CICLO HIDROLÓGICO À ESCALA GLOBAL

1. A importância da água. Definição e objecto da Hidrogeografia

A água como fonte e meio de vida, entra na composição de todos os seres vivos, das rochas, solos e ar. É um poderoso agente modelador da superfície terrestre, actuando através da alteração química e da erosão mecânica das rochas. É o principal agente erosivo dos continentes através dos rios, glaciares, correntes marinhas, ondas e marés.

A água é um meio de transporte, não só dos sedimentos, provenientes da erosão das rochas e dos nutrientes resultantes da sua alteração, mas também da matéria orgânica proveniente da actividade biológica de plantas e animais, levando-os a percorrer por vezes milhares de quilómetros, desde as áreas mais elevadas dos continentes até às áreas mais deprimidas (lagos e mares interiores, regiões costeiras e oceanos).

A água é ainda utilizada nas diversas actividades humanas: higiene e abastecimento público, agricultura e irrigação, pesca e aquicultura, produção de sal, produção de energia (motriz e hidroeléctrica), através das barragens, ondas e marés, na indústria (dissolvente, reagente, sistemas de arrefecimento), como via de transporte de pessoas e mercadorias (transporte fluvial e marítimo), e também no desporto, recreio e lazer.

A água é um recurso natural fundamental, factor de progresso e desenvolvimento das sociedades humanas, podendo, em certas circunstâncias, actuar como factor limitante a este último. A água pode constituir um perigo através da sua escassez (secas, estiagens, desertificação), do seu excesso (cheias, inundações) ou da sua degradação (contaminação, poluição).

A água é transversal às Ciências da Terra e da Vida e às Ciências Sociais e Humanas, sendo, por isso, nos seus múltiplos aspectos, objecto de estudo de diferentes especialistas. A água encontra-se em todo o Sistema Ambiental Terrestre, estando em constante movimento entre os diversos subsistemas que o compõem: atmosfera, litosfera, hidrosfera, biosfera e noosfera (ou esfera do conhecimento e acção humana). O objecto de estudo da Hidrogeografia é a Hidrosfera, que é composta pelas águas em estado sólido (glaciares e calotes de gelo), líquido (oceanos, mares, lagos, rios e toalhas aquíferas) e gasoso (vapor de água).

A maior parte do corpo teórico da Hidrogeografia provém da Hidrologia, que é a ciência que estuda a ocorrência, distribuição e circulação da água na Terra, bem como as suas propriedades físicas e químicas e as suas relações com o Ambiente, incluindo as relações com os seres vivos (definição recomendada, em 1962, pelo United States Federal Council of Science and Technology, Committee for Scientific Hydrology).

A Hidrologia divide-se em marinha e continental. A primeira estuda os oceanos e mares, a segunda estuda as águas que se encontram nos continentes.

O objectivo principal da Hidrogeografia será o estudo da ocorrência, repartição geográfica, circulação da água doce no Planeta, bem como das principais consequências da sua utilização pelo Homem, às escalas global, regional e local.

2. A água no Planeta: ocorrência, repartição e circulação

2.1. O Princípio de Conservação da Água e o Ciclo Hidrológico

O planeta Terra pode ser considerado como um sistema global fechado, onde a circulação da água se faz de forma contínua e fechada entre oceanos - atmosfera - continentes - oceanos. A manutenção da quantidade de água no Planeta, desde o aparecimento do Homem. O equilíbrio entre a formação de “água nova”, devida aos vulcões e às fontes termais, e a sua destruição, por fotodissociação do vapor de água da atmosfera, devido à radiação solar. A massa global da água, qualquer que seja a intensidade e frequência da sua utilização pelo Homem e pelos outros seres vivos, mantém-se praticamente constante: Princípio de Conservação da Água. Deste princípio resultam duas características essenciais da água: é um recurso renovável mas não inesgotável.

O Ciclo Hidrológico, conceito fundamental da Hidrologia, é uma consequência do Princípio de Conservação da Água, mas é constituído por uma cadeia de subsistemas abertos, porque há troca de massa e energia entre eles. As energias que alimentam o ciclo hidrológico: solar e gravítica. As fases do ciclo hidrológico e as suas componentes.

2.1.1. As componentes do ciclo hidrológico

A precipitação (P) faz a transferência de água do ramo aéreo para o ramo terrestre do ciclo hidrológico, constituindo o “input” (entrada) da água nos sistemas naturais. É ela que alimenta as outras componentes do ciclo hidrológico. Este facto é dado pela equação clássica da hidrologia:

$$P = Et + I + Es + \Delta A_{sup} + \Delta A_{so} + \Delta A_{sub} \quad \text{em que:}$$

P – precipitação	ΔA_{sup} - variação do armazenamento superficial
Et – evapotranspiração	ΔA_{so} - variação do armazenamento no solo
Es – escoamento	ΔA_{sub} - variação do armazenamento subterrâneo
I - infiltração	

Quando se consideram longos períodos de tempo, é usual admitir-se que as variações de armazenamento de água (ΔA) se anulam, pelo que a equação se pode simplificar: $P = E_t + I + E_s$.

A evapotranspiração é o fenómeno resultante da transpiração das plantas e da evaporação do meio circundante. Ao calcular-se a água perdida (“output”) numa região revestida por vegetação, é praticamente impossível separar a transpiração da evaporação do solo, lagos e rios. Assim, em termos de balanço hidrológico, os dois processos devem ser considerados em conjunto, sob a designação de evapotranspiração. Os factores que influenciam a evapotranspiração: radiação solar (e todas as formas de energia que entram no ciclo hidrológico), que por sua vez depende da latitude, estação do ano, hora do dia e nebulosidade; o calor armazenado pela massa de água; a tensão do vapor, que depende da temperatura do ar, pressão atmosférica e humidade; a velocidade do vento; a extensão da superfície evaporante e a profundidade da massa de água; a salinidade das águas; a natureza do solo; a vegetação.

A evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial: definição e aplicação. A evapotranspiração real (E_{tr}) é a quantidade de água que, realmente, é transferida (ou perdida) para a atmosfera. A evapotranspiração potencial (E_{tp}) representa a perda máxima de água possível para a atmosfera, em condições ideais do solo estar amplamente abastecido em água, a fim de permitir o desenvolvimento de uma cobertura uniforme de vegetação; ou seja, quando o solo atinge a sua capacidade de campo (quantidade de água que o solo pode reter, em oposição à força da gravidade, quando há drenagem livre). Estas condições (só possíveis nos períodos mais húmidos) propiciam o óptimo desenvolvimento da vegetação, sendo, por isso, a E_{tp} um elemento informador das necessidades de água das plantas. Assim, utiliza-se a diferença $P - E_{tp}$ quando, de uma maneira simplificada, se pretende averiguar se uma dada região tem um balanço hídrico positivo ($P > E_{tp}$) ou negativo ($P < E_{tp}$). Quando o balanço hídrico é positivo, reconstituem-se as reservas de água do solo² e a água em excesso alimenta o escoamento; quando o balanço é negativo, a evapotranspiração faz-se à custa das reservas de água do solo, entrando-se numa situação de défice hídrico.

Por sua vez, a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração real (E_{tr}) corresponde à quantidade de água que alimenta a infiltração profunda (I , que vai

² O solo é constituído por partículas minerais e substâncias orgânicas que permitem o crescimento das plantas. O solo sobrepõe-se, assim, ao subsolo (substrato geológico) não devendo ser confundido com este.

recarregar as reservas de água subterrâneas) e o escoamento superficial (Es); assim: $P = E_{tr} + I + E_s$. São estas 2 últimas componentes do balanço hidrológico que definem o escoamento (subterrâneo e superficial) e permitem avaliar as potencialidades hídricas naturais de uma dada região ou recursos hídricos renováveis.

A infiltração: movimento da água no solo, marcado pela acção da gravidade e pelo potencial capilar. Quando a água atinge a superfície do solo definem-se:

- a água higroscópica ou pelicular (a que é retida no solo por atracção molecular formando uma película envolvente das partículas constituintes do solo);
- a água de capilaridade (a que é retida no solo acima do nível freático devido à acção da capilaridade, ou seja, a água retida pela tensão superficial e pelas forças moleculares contra a acção da gravidade);
- a água de percolação ou gravitacional (a água da zona não saturada que se move sob a influência da gravidade desde a superfície do solo até ao nível freático).

A água que as plantas aproveitam é a água de capilaridade, enquanto a de percolação alimenta os aquíferos.

O escoamento superficial e subterrâneo: a componente do ciclo hidrológico mais importante para as actividades humanas.

2.1.2. As fases do ciclo hidrológico

Os oceanos, pela sua constante disponibilidade em água e pela enorme superfície que ocupam, são os grandes fornecedores de vapor de água à atmosfera, dando-lhe mais água do que a que dela recebem (Precipitação < Evaporação). Os continentes, pelo contrário, recebem mais água da atmosfera do que a que deles se evapora. Este excesso de água dos continentes (Precipitação > Evapotranspiração) é devolvido aos oceanos através do escoamento, reequilibrando assim o balanço hídrico dos oceanos (quadro 1).

De uma forma simplificada, poderemos assim calcular o balanço hídrico dos continentes: Precipitação (111) = Evapotranspiração (71) + Escoamento para os oceanos (40).

No ciclo hidrológico o volume de entradas e saídas de água de cada um dos subsistemas é muito diferente (figura 1). Os fluxos principais, pela quantidade de água que movimentam, dão-se entre os oceanos e a atmosfera (78% do total). A evaporação dos oceanos para a atmosfera é o fluxo mais importante com cerca de 41% do total das transferências de água entre os diferentes subsistemas. A água assim transferida para a atmosfera, no estado de vapor, é depois transportada por

esta, para diferentes áreas geográficas, através da sua circulação geral ou de circulações regionais e locais.

Quadro 1 – Volumes de água envolvidos no balanço hídrico do Planeta

Fluxos de água entre os diversos subsistemas (em milhares de km ³ /ano)					
Subsistema	Evaporação	Precipitação	Escoamento para os Oceanos		
			Rios	Águas subterrâneas	Fusão dos gelos
Oceanos	425	385	---	---	---
Continentes	71	111	27	12	1
Total	496	496	40		

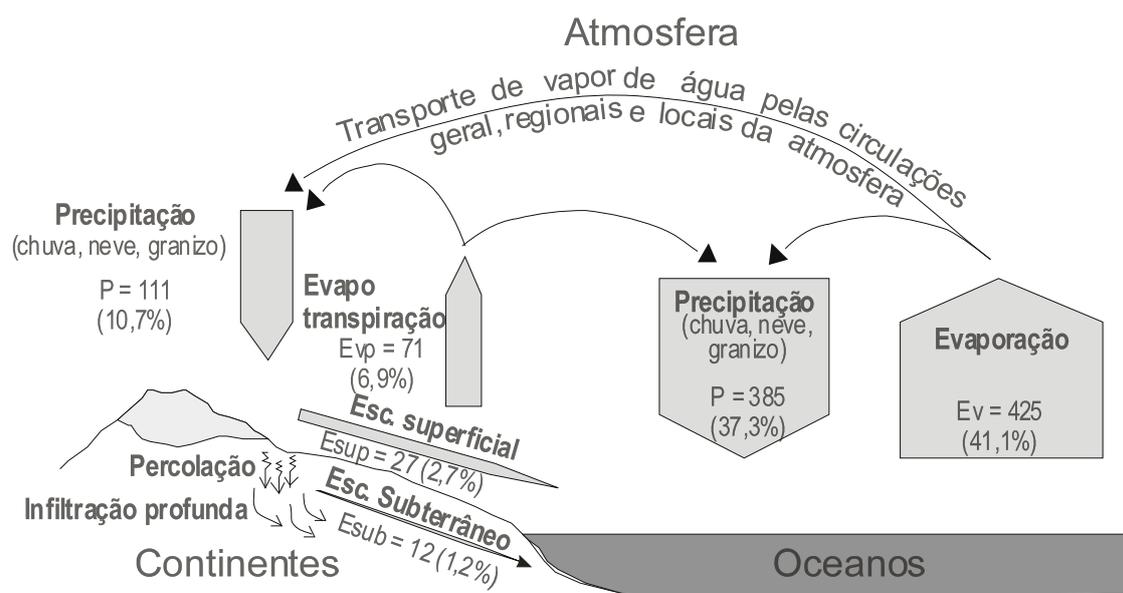


Figura 1 - Tipos de fluxos e volumes de água movimentados no ciclo hidrológico anual do Planeta (em milhares de km³). As setas da precipitação, evaporação e escoamento são proporcionais à quantidade de água que movimentam.

Os processos de condensação parcial do vapor de água da atmosfera, em partículas sólidas ou líquidas, levam à sua consequente precipitação ou deposição à superfície.

A precipitação pode ocorrer sob a forma de chuva, neve ou granizo; a deposição ocorre sob a forma de orvalho e geada.

Se a precipitação ocorre sobre o oceano, o ciclo termina, pois a água volta ao seu ponto de partida; mas se cai sobre os continentes, pode seguir quatro vias diferentes: ou se evapora, ou se infiltra, ou se escoar ou se acumula.

- Uma parte evapora-se imediatamente, entrando na fase precedente.
- Da parte que se infiltra, duas situações podem ocorrer: ou alimenta as reservas de água do solo, ou continua a infiltrar-se indo alimentar as reservas de água subterrâneas. A água que penetra no solo pode-se evaporar mais tarde ou ser absorvida pelas plantas e libertar-se destas, através da evapotranspiração, entrando também na fase precedente.

A água que se infiltra mais profundamente, atingindo o subsolo (substrato geológico), vai alimentar os aquíferos e acumular-se nestes sob a forma de toalhas aquíferas.

Depois de um trajecto subterrâneo, mais ou menos longo, atinge a superfície, sob a forma de nascentes, podendo estas ocorrer acima ou abaixo do nível do mar; no primeiro caso, entram na fase seguinte, no segundo caso, regressam à primeira fase.

- Uma parte escoar-se à superfície, assim que ocorre a precipitação, sem penetrar no solo ou no subsolo, constituindo o escoamento directo e alimentando rios e ribeiras. Estes podem também ser alimentados pela água resultante das nascentes, depois de ter feito o seu percurso subterrâneo, constituindo o escoamento de base. Escoamento directo e escoamento de base constituem, assim, o escoamento fluvial, levando a água a ingressar novamente na primeira fase do ciclo.
- Uma última parte pode acumular-se sob a forma de neve ou gelo formando as neves perpétuas, os glaciares e os *inlandsis*. Contudo, durante o Verão, uma parte desta água, resultante da fusão da neve ou do degelo vai alimentar o escoamento superficial, regressando, posteriormente, à primeira fase do ciclo, ou evapora-se para a atmosfera.

2.2. Os grandes reservatórios naturais de água do Planeta

Os oceanos são os grandes reservatórios de água do Planeta, com cerca de 96,5% do volume total, seguindo-se os continentes com pouco mais de 3,4% e a atmosfera com 0,001% (quadro 2). A água doce é uma pequena parcela do total da água do Planeta: apenas 2,5%. Os continentes são os grandes reservatórios de água doce do Planeta (99,9% do total; quadro 3).

Quadro 2
Repartição da água na Terra

Subsistema	Volume (km ³)	%
Oceanos	1.338.000.000	96,538
Continentes	47.971.710	3,461
Atmosfera	12.900	0,001
Total	1.385.984.610	100

(UNESCO, 1978, em Chow, Maidment, Mays, 1988)

Um outro aspecto importante é o de que 69,6% da água doce se encontra no estado sólido (neve e gelo): quase toda na Antártida (61,7%) e na Gronelândia (6,7%). A restante, encontra-se no permafrost (0,9%), no Ártico (0,2%) e nas montanhas (0,1%), sob a forma de glaciares e neves perpétuas.

Se à parcela de água líquida se retirar a água do solo e do biota resta uma pequena quantidade de água doce disponível, que é, afinal, aquela da qual a Humanidade depende todos os dias, para beber, higiene, irrigação de terrenos agrícolas e actividades industriais. Essa pequena quantidade de água (cerca de 30,4% do total de água doce) encontra-se quase toda nas toalhas aquíferas (30,1%), à qual se tem acesso através de poços e furos de captação.

Noção de recursos hídricos. Os dois tipos de recursos hídricos: subterrâneos (toalhas aquíferas) e superficiais (rios e lagos).

Quadro 3 – Os “reservatórios” de água doce do Planeta

Reservatórios		Volume (km ³)	%	estado dominante
Continentes	Calotes de gelo e glaciares	24.364.100	69,554	sólido
	Toalhas aquíferas	10.530.000	30,060	líquido
	Lagos	91.000	0,260	«
	Água no solo	16.500	0,047	«
	Pântanos	11.470	0,033	«
	Rios	2.120	0,006	«
	Biota	1.120	0,003	«
Atmosfera		12.900	0,037	gasoso
Total		35.029.210	100	--

(UNESCO, 1978, em Chow, Maidment, Mays, 1988)

2.3. A renovação das reservas de água do Planeta

A renovação da água da atmosfera, dos oceanos ou dos continentes e, dentro destes, dos aquíferos, dos lagos, dos rios, etc. depende do *stock* de água que contêm e da entrada de água que recebem. Essa renovação é medida pelo Tempo de Residência: $Tr = S / Q$, em que S é o volume de água armazenado no subsistema (atmosfera, lago, rio, etc.) e Q é o volume de água que sai numa determinada unidade de tempo.

O tempo de residência e, conseqüentemente, a renovação das reservas de água dos diferentes reservatórios naturais onde ela se encontra, tem ritmos muito diferentes (quadro 4): desde alguns dias (como no caso da atmosfera) até às centenas de milhares de anos (no caso das calotes de gelo polares).

O problema da enorme variação do tempo de residência das águas subterrâneas: o Tr das toalhas aquíferas depende de vários factores, de entre os quais se destacam a recarga dos aquíferos, a permeabilidade do substrato geológico, a dimensão dos aquíferos, a profundidade a que se encontram, etc.; no entanto, em termos médios, a renovação da água dos aquíferos é bastante mais lenta que a dos rios. As implicações em caso de contaminação: os recursos hídricos subterrâneos levam mais tempo a regenerar-se do que os rios. Nestes, a situação pode resolver-se em semanas ou meses, dependendo do volume de água escoada, mas as reservas de água subterrânea poderão levar gerações para tornarem a ser utilizáveis. A noção, segundo Pinto Peixoto (1989), de recursos hídricos renováveis (quando têm um tempo de residência, nos diversos subsistemas, relativamente curto) e não renováveis (quando esse tempo é da ordem das décadas, séculos ou milénios).

Quadro 4 – Tempo de residência da água nos diferentes subsistemas

Subsistemas	Tempo de Residência
Biosfera	1 semana
Atmosfera	1,5 semanas
Rios	> 2 semanas
Água no solo	2 semanas a 1 ano
Lagos e albufeiras	2 semanas a 10 anos
Áreas pantanosas	1 a 10 anos
Calotes de gelo e glaciares	> 1000 anos
Mares e oceanos	> 4000 anos
Toalhas aquíferas	+ de 2 semanas a 10 000 anos

(Newson, 1994)

A Água não se “consome”, apenas passa de subsistema para subsistema. A dependência da quantidade de água em cada subsistema dos fluxos de entrada e saída em cada um deles. As mudanças de estado a que a água é submetida, durante as fases do ciclo hidrológico, dão-se a temperaturas bem definidas, o que quer dizer que uma pequena variação da temperatura do Globo pode modificar substancialmente as condições do ciclo hidrológico, retardando-o ou acelerando-o. O abaixamento da temperatura no Planeta pode provocar um período de glaciação, fazendo retardar o ciclo hidrológico e aumentando a quantidade de água retida sob a forma de gelo, ou seja, a criosfera; pelo contrário, num período de aquecimento global, o ciclo hidrológico acelera-se, aumentando a evaporação e a quantidade de água existente na atmosfera.

3. A água nos continentes: o ramo terrestre do ciclo hidrológico

3.1. O papel da atmosfera na repartição da água nos continentes

O papel decisivo da circulação atmosférica no *input* de água nos continentes. Noção de água precipitável: quantidade de água, expressa em altura (mm) ou em massa (g/cm^2), que poderia ser obtida se todo o vapor de água contido numa coluna de atmosfera de secção de transversal horizontal unitária se condensasse e se precipitasse. A sua maior abundância no Hemisfério Sul, sobre os oceanos (exceptuando a bacia do Amazonas, onde atinge o máximo absoluto) e o seu decréscimo do Equador para os pólos. As zonas (subtropicais) de divergência atmosférica, principalmente sobre os oceanos, como as grandes fornecedoras de vapor de água à atmosfera (precipitação < evaporação). As zonas de convergência atmosférica - zona equatorial (C.I.T.) e latitudes médias e elevadas (frente polar e depressões migratórias) -, como as grandes receptoras de água (precipitação > evaporação).

3.2. As regiões de escassez e de abundância de água

A disposição das grandes massas continentais no hemisfério norte e a sua influência no balanço hídrico regional (figura 2). Repartição espacial do escoamento nos diversos continentes e seus factores (quadro 5). As regiões arreicas. A rede hidrográfica, como o dispositivo natural nos continentes que permite dispôr do excesso de água, nas zonas onde predomina a convergência atmosférica. As (35) bacias de alimentação dos grandes rios (área > 500.000 km^2) e sua distribuição geográfica pelos diversos continentes. As influências climáticas e da tectónica de placas nessa distribuição.

A repartição espacial do escoamento anual nos diversos continentes (figura 3), reflecte a influência da circulação atmosférica global e a distribuição da precipitação anual. De facto, a maior abundância de escoamento (>1000 mm anuais) ocorre nas regiões afectadas mais intensamente pela CIT (zona de convergência dos ventos alíseos provenientes dos dois hemisférios, que provoca a ascensão de massas de ar quentes e húmidas e a ocorrência de chuvas convectivas abundantes) e nas latitudes médias, atingidas pela frente polar (convergência das massas de ar tropicais e polares, levando à ocorrência de chuvas frontais), especialmente nas fachadas dos continentes, mais afectadas pelas massas de ar oceânicas muito húmidas. As regiões de maior escassez de escoamento (<50mm anuais) são aquelas onde predomina a divergência atmosférica, ou seja, as afectadas pelas cinturas de altas pressões subtropicais e pelos anticiclones polares, bem como o interior dos continentes norte americano e asiático (a latitudes médias), devido à secura das massas de ar.

Quadro 5 – Balanço hídrico por continente (em km³ / ano)

	Europa	Ásia	África	América do Norte	América do Sul	Austrália
Precipitação	7162	32590	20780	13810	29255	6405
Escoamento fluvial total	3110	14190	4295	5960	10480	1965
Escoamento subterrâneo	1065	3410	1465	1740	3740	465
Evaporação	4055	18500	16455	7850	18800	4340
Nº de grandes bacias hidrog. *	3	12	6	8	5	1
Área (milhares de km ²)	10500	43475	30120	24200	17800	8950

* Bacias hidrográficas > 500.000 km²

(Herschey e Fairbridge, 1998)

No quadro 6 estão representadas as maiores bacias hidrográficas do Planeta (cuja área é superior ou igual a 1/2 milhão de km²), num total de 35. De todas elas se destaca a bacia do Amazonas, com mais de 6 milhões de km², cerca de 4,5 vezes maior do que a maior bacia hidrográfica europeia (Volga) e cerca de 67 vezes mais extensa do que Portugal.

Dos 35 rios que drenam estas bacias, apenas 5 não desaguam nos oceanos (Nilo, Chari, Volga, Danúbio e Dniepre), mas em mares ou lagos. Dois destes cinco rios têm

bacias totalmente endorreicas: o Volga, que desagua no mar Cáspio, no interior do continente europeu, e o Chari, que desagua no lago Chade, no interior do continente africano.



Figura 2 – Regiões de balanço hídrico positivo e negativo.

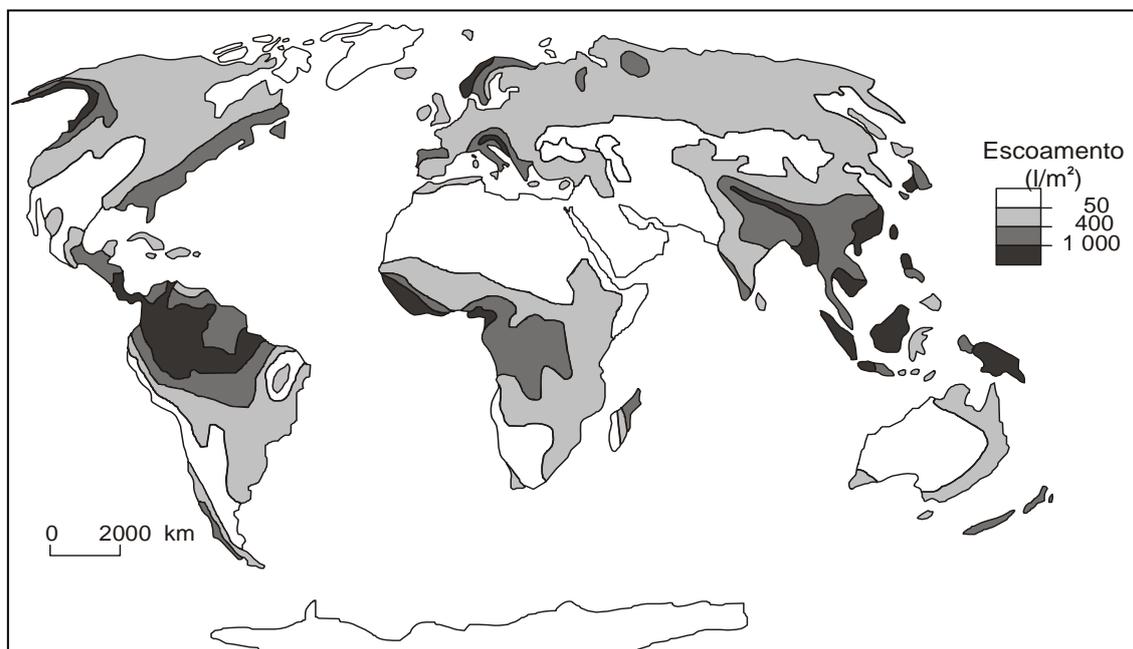


Figura 3 - Repartição espacial do escoamento anual nos diferentes continentes.

Apesar de não ser o oceano mais extenso e de contactar com 4 continentes, tal como o Pacífico, é ao Atlântico que vão desembocar um maior número destes grandes rios (12), contra apenas 7 no Pacífico. Esta situação, aparentemente anómala, deve-se ao

facto dos grandes rios da América do Sul desagurem todos no Atlântico, porque a cordilheira montanhosa dos Andes, que bordeja, a oeste, todo o continente sul americano, funciona como barreira ao escoamento das grandes bacias para o Pacífico.

Quadro 6 – As grandes bacias hidrográficas do Planeta (> 500 000 km²)

Rios	Continente	Área da Bacia (10 ³ km ²)	Comprimento do rio(km)	Foz (Oceano/Mar)
Amazonas	América S	6150	6440	Atlântico
Zaire	África	3820	4670	Atlântico
Mississipi	América N	3270	3779	Atlântico
Nilo	África	2960	6695	Mediterrâneo
Paraná	América S	2830	4200	Atlântico
Jenissei	Ásia	2580	4130	Ártico
Obi	Ásia	2500	4012	Ártico
Lena	Ásia	2430	4270	Ártico
Yang-Tsé Kiang	Ásia	1940	6380	Pacífico
Amur	Ásia	1850	4510	Pacífico
Mackenzie	América N	1810	1800	Ártico
Volga	Europa	1350	3688	Cáspio
Níger	África	1210	4170	Atlântico
Zambeze	África	1200	2700	Índico
Nelson	América N	1150	650	Atlântico
Murray	Austrália	1060	2570	Índico
S.Lourenço	América N	1030	1197	Atlântico
Orange	África	1020	2090	Atlântico
Orenoco	América S	990	2200	Atlântico
Ganges	Ásia	980	2525	Índico
Indo	Ásia	970	2740	Índico
Tocantins	América S	900	2640	Atlântico
Chari	África	880	1000	Chade
Yukon	América N	840	3290	Pacífico
Danúbio	Europa	810	2850	Negro
Mekong	Ásia	790	4184	Pacífico
Amarelo	Ásia	770	4670	Pacífico
Shatt-el-Arab	Ásia	750	2720	Índico
Grande	América N	670	3078	Atlântico
Colúmbia	América N	670	1950	Pacífico
Kolyma	Ásia	640	2600	Ártico
Colorado	América N	640	2330	Pacífico
S.Francisco	América S	600	2900	Atlântico
Bramaputra	Ásia	580	2900	Índico
Dniepre	Europa	500	2285	Negro

- a) A designação antiga do rio Zaire era rio Congo
b) O rio Yang-Tsé Kiang também é conhecido por Chang Jiang ou lansequião
c) O Rio Amarelo também é conhecido por Hwang-Ho ou Huang-He
d) O Shatt-el-Arab é o rio que resulta da confluência dos rios Eufrates e Tigre
Fonte: Summerfield, 1991, p. 385 e Vários (1988)

A Ásia, que é o continente mais extenso, é também o que possui o maior número de grandes bacias hidrográficas (12). De facto, a quantidade de grandes bacias hidrográficas que se repartem pelos vários continentes depende, fundamentalmente, da área de cada um, com duas excepções: a África, que é o segundo maior continente, mas que ocupa a terceira posição, em número de grandes bacias, porque 1/3 do seu território é ocupado por desertos, deles se destacando o Sara, que é o maior deserto quente do mundo (abrange 30% do território africano); a Antárctida, por ser um continente gelado e o maior inlandsis do Planeta, não permitindo, por isso, no seu interior, a circulação da água no estado líquido e a formação de bacias de drenagem.

Os desertos (frios e quentes) são regiões arreicas, ou seja, não têm bacias hidrográficas estruturadas, devido às fracas precipitações e, no caso dos desertos arenosos, à movimentação das dunas que acabam por cobrir os canais de drenagem formados aquando das chuvas esporádicas.

Trabalho prático

Cálculo do balanço hidrológico, segundo o método de Thornthwaite - Mather

As fontes documentais utilizadas para este exercício são as “Normais Climatológicas” e os “Anuários Climatológicos” das estações climatológicas de Portugal continental e Regiões Autónomas, publicados pelo Instituto de Meteorologia, ou dados disponibilizados na internet por diferentes organizações meteorológicas.

Um dos métodos mais divulgados da aplicação sequencial do balanço hidrológico é devida a C. Thornthwaite e J. Mather através da seguinte equação:

$$P - (E_{tr} + \Delta A_{so}) = E_{sup} + \Delta A_{sup} + E_{sub} + \Delta A_{sub}$$

Todos os termos devem ser expressos nas mesmas unidades de volume ou de altura de água e ser, obviamente, referentes ao mesmo intervalo de tempo.

Este método utiliza como parâmetros de base a temperatura média do ar e a precipitação total, disponíveis a partir dos registos das estações climatológicas.

O método não contempla o estado higrométrico do ar, embora ele varie muito para uma mesma temperatura média. O poder evaporante da atmosfera depende do seu grau higrométrico e do vento, mas quando se trabalha à escala da bacia-vertente e com valores acumulados (caso do balanço hidrológico), os resultados obtidos são satisfatórios.

O mês utilizado para o início do cálculo do balanço hidrológico depende do hemisfério e do tipo de clima em que se insere a área a estudar. No caso português, seria conveniente começar o balanço em Outubro, quando se inicia o ano hidrológico (fim da estação seca estival), considerando nulo o armazenamento de água no solo neste mês. No entanto, este procedimento não oferece confiança suficiente visto existir sempre alguma água no solo e ser difícil definir o seu valor. Mais seguro é iniciar o balanço no fim da estação húmida, visto existir uma maior garantia que o solo se encontra totalmente abastecido.

A reserva útil do solo (RU) corresponde à diferença entre a capacidade de campo (quantidade de água retida no solo depois de drenada a água gravitacional) e o coeficiente de emurchecimento (quantidade de água que resta no solo quando as plantas murcham definitivamente).

C. Thornthwaite considera a reserva útil dos solos = 100mm, para efeitos de comparação de tipos climáticos. No entanto, para o cálculo das necessidades de rega

é necessário considerar que a capacidade de retenção de água do solo depende de dois factores distintos: tipo e estrutura do solo e tipo de vegetação que o cobre (ver quadro).

A Reserva Útil do solo (mm),
segundo diferentes combinações do tipo de solo e da vegetação

Tipo de solo	plantas com raízes superficiais (1)	plantas com raízes inter-médias (2)	plantas com raízes profundas (3)	pomares	florestas cerradas
arenoso	50	75	100	150	250
arenoso e margoso	75	150	150	250	300
siltoso e margoso	125	200	250	300	400
argiloso e margoso	100	200	250	250	400
argiloso	75	150	200	200	350

(1) espinafres, ervilhas, feijões, beterrabas, cenouras, etc.

(2) milho, algodão, tabaco, cereais vários

(3) pastagens, arbustos

(C. Thornthwaite e J. Mather, 1957)

Um solo arenoso reterá apenas 10 a 20 mm de água por cada 30 cm de espessura, enquanto um solo siltoso ou argiloso pode reter 100 mm ou mais de água na mesma espessura. Ao mesmo tempo, diferentes espécies de vegetação possuem raízes mais ou menos profundas.

Thornthwaite e Mather mostraram a existência de uma correlação estreita entre os valores da evapotranspiração potencial obtidos experimentalmente e os valores das temperaturas médias mensais. Assim:

a) Define-se o índice de calor mensal (ou índice térmico mensal), i_j , de cada um dos doze meses consecutivos do ano

$$i_j = (T_j / 5)^{1,514} \quad , \text{ em que } T_j \text{ é a temperatura média para cada um dos meses } j \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

b) Define-se o índice de calor (ou térmico) anual, I , através do somatório dos 12 índices térmicos mensais.

c) A evapotranspiração potencial (Etp_0), num local do Equador (latitude 0° e 12 horas de luz por dia), durante um mês com a temperatura média T , é dada por

$$Etp_0 = 16 \times (10T / I)^a \quad , \text{ em que } a = 0,493 + (17900 I - 77,1 I^2 + 0,675 I^3) \times 10^{-6} .$$

d) Como o nº de horas de sol acima do horizonte (insolação) varia ao longo do ano e com a latitude do lugar é preciso ajustar os valores da Etp_0 calculada. Para tal utiliza-se um factor de correcção, o coeficiente **K**, que representa a proporção do número de horas de luz do dia para a latitude do lugar em estudo em relação ao Equador.

A tabela seguinte apresenta os valores de **K** para algumas latitudes que enquadram o território de Portugal continental.

Latitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
50°N	0,72	0,84	0,99	1,15	1,29	1,36	1,33	1,21	1,06	0,89	0,76	0,68
42°N	0,79	0,88	1,00	1,12	1,22	1,27	1,24	1,15	1,04	0,92	0,82	0,76
40°N	0,80	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78
39°N	0,82	0,90	1,00	1,11	1,19	1,24	1,22	1,14	1,04	0,93	0,84	0,79
38°N	0,82	0,90	1,00	1,10	1,19	1,24	1,21	1,13	1,04	0,93	0,84	0,80
37°N	0,83	0,91	1,00	1,10	1,18	1,23	1,21	1,13	1,03	0,94	0,85	0,80
30°N	0,87	0,93	1,00	1,08	1,14	1,17	1,16	1,10	1,03	0,95	0,89	0,85
Equador	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

e) A evapotranspiração potencial (Etp) do local em estudo será **$Etp = K \times Etp_0$** .

A Etp consiste, como vimos, na quantidade máxima de água que se libertaria para a atmosfera, se existisse sempre humidade disponível para o processo. Contudo, isso nem sempre acontece, pois depende da precipitação ocorrida.

f) Por vezes ocorre um défice pluviométrico (Dp), quando $P < Etp$.

Assim **$Dp = P - Etp$**

Se $P > Etp$, então a reserva útil (RU) é alimentada, podendo haver, eventualmente excesso de água.

g) Cálculo do défice pluviométrico acumulado (**L**), que corresponde ao somatório dos valores mensais negativos da relação $P - Etp$.

h) Cálculo do coeficiente de perda potencial de água do solo, **α** , em que

$$\alpha = e^{(-L/RU)}$$

i) A água no solo (**A**) é calculada a partir da seguinte equação **$A = \alpha RU$** .

As funções anteriores permitem perceber que a cedência de água por parte do solo não é linear, visto que o solo cede muito mais facilmente água quando esta se encontra em abundância, tornando-se cada vez mais difícil a sua cedência à medida

que esta escasseia. Permite também concluir que, em situações extremas de escassez, o armazenamento de água se aproxima gradualmente de zero, mas nunca se atingindo esse valor, ou seja, há sempre uma quantidade ínfima de água que permanece no solo.

j) Cálculo da variação mensal da água no solo (ΔA). Essa variação pode ser nula se a quantidade de água no solo (A) se mantiver; de mês para mês, negativa de A diminuir ou positiva se A aumentar.

l) Cálculo da evapotranspiração real (**Etr**). Duas situações podem ocorrer:

se $P \geq Etp$, então $Etr = Etp$;

se $P < Etp$, então $Etr < Etp$, logo, evapotranspiração real faz-se em detrimento da reserva de água do solo. A evapotranspiração real corresponde à soma da precipitação com o volume de água cedido pelo solo, ou seja, com a variação de armazenamento (ΔA). Assim, $Etr = P + |\Delta A|$.

m) Cálculo do déficit hídrico (**DH**). O déficit de água ocorre sempre que $P < Etp$. O déficit hídrico corresponde à quantidade de água que faltou às plantas para o seu óptimo desenvolvimento. Assim $DH = Etp - Etr$.

n) Cálculo do superávit (ou excesso) hídrico (**S**). Quando o solo está saturado e $P \geq Etp$, então $S = P - Etp$. Mas se está a ocorrer a reconstituição da reserva útil, então $S = (P - Etp) - |\Delta A|$.

Não se deve confundir o superávit hídrico com o escoamento. O superávit alimenta o escoamento superficial, a percolação das águas subterrâneas e o escoamento subterrâneo. Além disso, nem toda a água resultante do excesso hídrico de um mês se escoar nesse mês, podendo escoar-se no(s) mês(es) seguinte(s).

o) O balanço hidrológico pode ser positivo ou negativo e nele se definem 4 situações:

Balanço positivo ($P > Etp$)	{	1. reconstituição da reserva de água do solo
	{	2. excesso de água
Balanço negativo ($P < Etp$)	{	3. evapotr. em detrimento da reserva de água do solo
	{	4. déficit de água

Entre as diversas utilizações do balanço hidrológico podem-se referir: a caracterização climática de uma região, a determinação das necessidades de rega de um sistema de culturas agrícolas ou o cálculo da recarga natural de um aquífero.

p) Representação gráfica das 4 situações hidrológicas definidas no Balanço Hídrico: 1. reconstituição da reserva de água do solo; 2. superávit ou excesso de água; 3. evapotranspiração em detrimento da reserva de água do solo; 4. défice de água.

q) Interpretação dos resultados.

II OS SISTEMAS DE DRENAGEM DOS CONTINENTES: BACIAS HIDROGRÁFICAS

1. Definição e tipologia

1.1. As diferentes concepções de bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica como uma porção de território continental drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água, os quais transportam, além da água, sedimentos, materiais dissolvidos e nutrientes vários até um ponto comum: a desembocadura ou secção de referência da bacia.

Discussão das designações: bacia hidrográfica, bacia de drenagem, bacia de recepção, bacia-vertente. As diversas concepções da bacia hidrográfica: hidrológica, geomorfológica, da engenharia, da geografia humana tradicional, do planeamento.

Os problemas de delimitação das bacias: as duas linhas divisórias de águas, que separam a bacia das bacias vizinhas: topográfica ou superficial (que segue as linhas de cumeada ou de festo, ou seja, as linhas que unem os pontos de maior altitude); freática ou subterrânea, em geral determinada pela estrutura geológica e, por vezes, também influenciada pela topografia. Os casos particulares das áreas cársicas e dunares.

1.2. Tipos de bacias hidrográficas

Noção de escoamento global de uma bacia hidrográfica. Sua dependência da área da bacia, da precipitação total e seu regime, das perdas devidas à evapotranspiração e da infiltração. Classificação das bacias, quanto ao escoamento global: bacias exorreicas (que drenam para os oceanos ou mares que com eles comunicam), bacias endorreicas (que drenam para o interior dos continentes), bacias criptorreicas (cujo escoamento é essencialmente subterrâneo) e bacias arreicas (que carecem de drenagem superficial quase por completo). Exemplos.

2. Os factores do escoamento

Os três grandes grupos de factores do escoamento: clima, componentes biofísicas das bacias e intervenção humana (figura 4). A influência da escala de análise no grau de importância de cada um deles.

Qualquer um destes factores, que influenciam o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, se pode quantificar, proporcionando a análise científica e a identificação dos que são mais importantes no funcionamento de cada bacia.

2.1. O clima

À escala continental o escoamento anual depende, sobretudo, das zonas ou das regiões climáticas onde as bacias se inserem; ou seja, das características do clima. As áreas mais chuvosas são também as que têm um maior escoamento fluvial.

A variação mensal do escoamento é também, em parte, dependente do clima, através da precipitação e da temperatura. A precipitação é responsável pela quantidade de água que entra mensalmente nas bacias; a temperatura comanda a retenção da água nos meses mais frios, sob a forma de neve ou gelo, e também a sua evaporação, dependendo, igualmente, esta última, do estado e agitação do ar. As variações diárias da precipitação (quantidade e intensidade) e da temperatura e sua influência no escoamento.

2.2. As componentes biofísicas das bacias hidrográficas

A importância das componentes biofísicas das bacias dentro do mesmo contexto climático: a geometria (área, forma), a rede de drenagem (nº de cursos de água, comprimento, sinuosidade / rectilinearidade e hierarquia), o relevo (altitude, exposição e inclinação), o substrato geológico (litologia, estrutura), os solos (textura e espessura) e a vegetação (tipo e grau de cobertura).

2.3. A intervenção humana

A acção humana nas bacias hidrográficas e a sua capacidade de modificar completamente o comportamento hidrológico destas. Noções de artificialização e regularização do escoamento. Intervenção indirecta (sobre as componentes biofísicas das bacias) e intervenção directa sobre o escoamento. As intervenções na rede de drenagem (aprofundamento, alargamento e rectilinearização dos canais fluviais, construção de canais artificiais), no coberto vegetal (desflorestação ou florestação de vastas áreas, alargamento de perímetros de rega com introdução de espécies novas) e nos solos (impermeabilização de solos devido ao processo de urbanização). A intervenção directa no escoamento: sobre-exploração ou recarga artificial aquíferos, criação de reservatórios artificiais e regularização do escoamento através de grandes barragens.

3. Análise sistémica das bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica como um sistema físico aberto, constituído por diversas componentes, que interagem e influenciam o seu comportamento hidrológico.

Análise qualitativa e quantitativa (linear, areal e hipsométrica) das bacias hidrográficas.

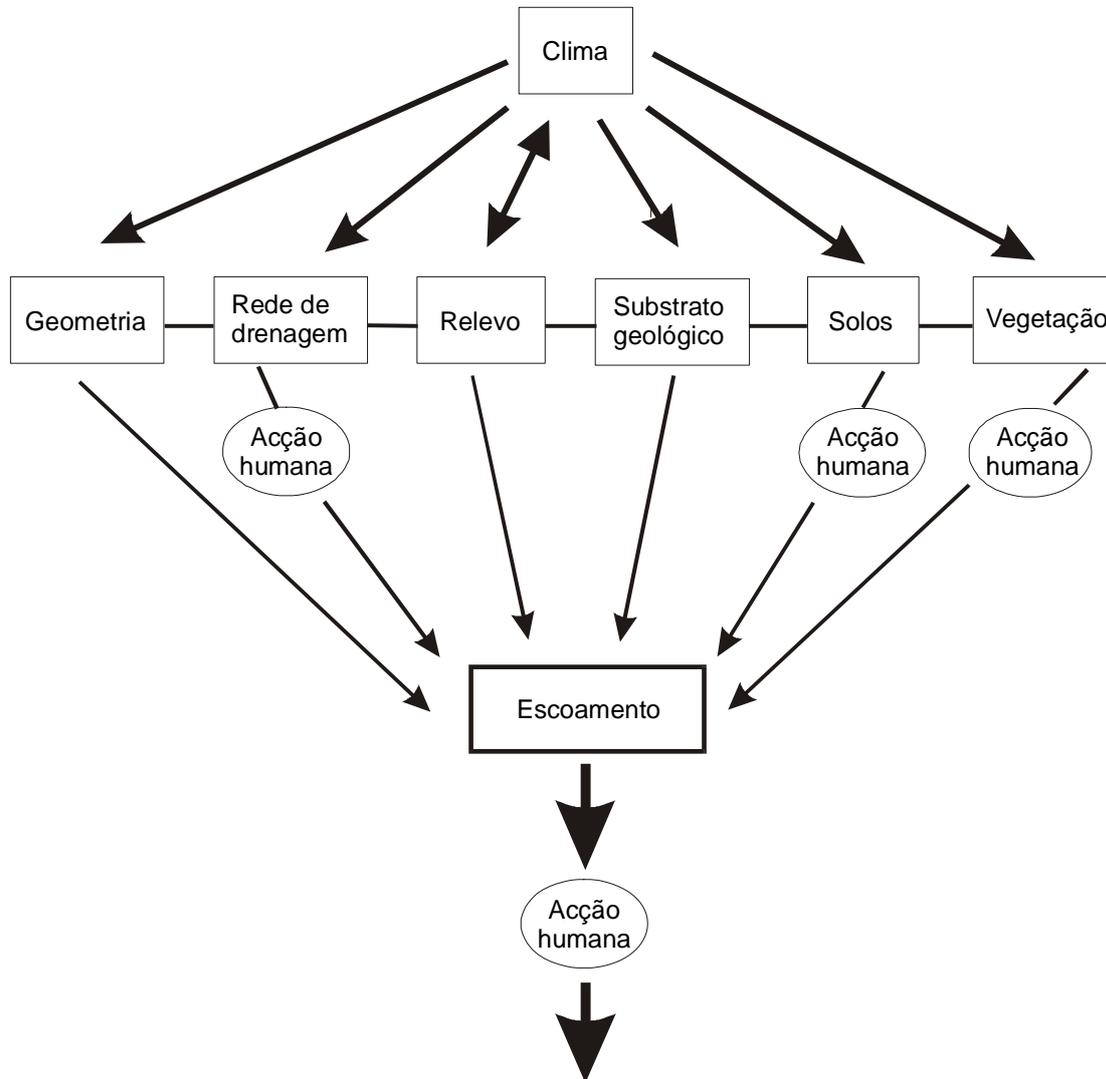


Figura 4 – Factores do escoamento das bacias hidrográficas: enquadramento climático, componentes biofísicas das bacias e intervenção humana.

3.1. A geometria

A geometria: área e forma. As escalas de análise utilizadas segundo a área (A) das bacias: $1/25.000$ para $A < 500 \text{ km}^2$, $1/50.000$ para $500 < A < 1000 \text{ km}^2$, $1/100.000$ para $1000 < A < 5000 \text{ km}^2$, $1/200.000$ para $5000 < A < 10.000 \text{ km}^2$, $1/500.000$ para $A > 10.000 \text{ km}^2$. A relação entre a área e o escoamento. Na mesma região climática, duas bacias com áreas diferentes produzirão também escoamentos diferentes. Quanto maior for a área maior será o escoamento total. Mas com áreas semelhantes, as bacias podem ter comportamentos diferentes dependendo da sua forma. Assim, numa

bacia estreita e alongada (que se estende ao longo do rio principal), os afluentes mais importantes vão atingindo o rio principal em diferentes pontos do mesmo e ao longo de toda a sua extensão, enquanto numa bacia circular, os afluentes mais importantes têm tendência a convergir em secções muito próximas, elevando muito o escoamento nesses pontos de confluência. Este facto é importante sobretudo nas situações de cheia, aumentando muito os caudais de ponta e tornando, por isso, as bacias circulares mais perigosas do que as alongadas.

Exemplo de um indicador que quantifica a forma das bacias, e que procura relacionar a forma da bacia com a de um círculo, o Índice de Gravelius ou Coeficiente de Compacidade, $K_c = 0,28 P / \sqrt{A}$, em que: P é o perímetro da bacia (em km) e A é a área da bacia (em km²). É a relação entre o perímetro da bacia (P) e o perímetro de um círculo (P_c) de igual área:

$K_c = P / P_c$, mas como $P_c = 2 \pi r$ e $r = \sqrt{(A / \pi)}$, então

$$K_c = P / 2 \pi r = P / \{2 \pi \sqrt{(A / \pi)}\} = 0,28 P / \sqrt{A}$$

O Índice de Gravelius é um número adimensional. No mínimo será igual à unidade (1), correspondendo, nesse caso, a uma bacia circular. Quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o respectivo coeficiente de compacidade. Considera-se compacta uma bacia em que $K_c < 1,6$. Em igualdade dos restantes factores, a tendência para grandes cheias será tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor deste coeficiente.

3.2. A rede de drenagem

A influência do tipo de documento (imagem de satélite, fotografia aérea ou mapa topográfico) e da respectiva escala de análise no levantamento da rede hidrográfica. A hierarquização da rede de drenagem, segundo os métodos de Horton e de Strahler. A magnitude da rede, segundo o método de Shreve. Definição do curso de água principal de uma bacia, segundo os critérios de Horton. A densidade de drenagem, $D_d = C_t / A$ (km / km²), em que C_t é o comprimento total dos cursos de água da bacia (em km) e A é a área da bacia (em km²). A dependência da densidade de drenagem (D_d) da precipitação e, em condições climáticas similares, do substrato geológico e do relevo. A D_d fornece uma indicação da eficiência da drenagem natural das bacias, sendo estas tanto mais bem drenadas quanto maior for a D_d. Em igualdade dos restantes factores, as bacias com maior densidade de drenagem tenderão a estar mais sujeitas a cheias do que as bacias com menor densidade de drenagem. A densidade hidrográfica, $D_h = N / A$ (nº de cursos de água / km²), em que: N é o número total de cursos de água existentes na bacia e A é a área da bacia.

Os padrões de drenagem e sua dependência do relevo e do substrato geológico (diferenças de declive, natureza e disposição das camadas, diferentes graus de resistência das rochas, tectónica e evolução geomorfológica da região drenada). Caracterização dos principais padrões de drenagem. Padrão dendrítico (ou arborescente, por fazer lembrar o tronco de uma árvore com os ramos): os afluentes do curso de água principal distribuem-se em todas as direcções, formando as respectivas confluências ângulos agudos. Padrão em treliça: os rios principais são cataclinais, recebem afluentes ortoclinais e, estes, por sua vez, recebem afluentes anaclinais e cataclinais, realizando-se, em geral, as confluências em ângulos rectos. Padrão rectangular: a rede de drenagem apresenta um aspecto ortogonal, devido às bruscas alterações de direcção quer dos cursos de água principais, quer dos seus afluentes. Padrão paralelo: os cursos de água escoam paralelamente uns aos outros. Padrão radial: os cursos de água dispõem-se como os raios de uma roda, divergindo do centro de uma área mais elevada para a periferia. Padrão centrípeto: a rede de drenagem converge da periferia para um ponto central comum, localizado numa posição topográfica deprimida. Padrão anelar: a rede de drenagem dispõe-se em anéis concêntricos, formando cursos de água principais ortoclinais, os quais recebem afluentes anaclinais e cataclinais. Padrão desorganizado: inexistência de um sistema fluvial organizado.

3.3. O relevo

O relevo e a sua influência nas características climáticas da bacia hidrográfica: a altitude no aumento da precipitação e na diminuição da temperatura, levando à maior entrada de água na bacia e, eventualmente, à sua retenção sob a forma de neve ou gelo; a exposição aos fluxos pluviogénicos; o declive e sua interferência na velocidade de escoamento e na infiltração (quanto maior ele for maior será a velocidade e menor a infiltração). As bacias declivosas podem ser perigosas nas situações de cheia, porque favorecem o aumento da velocidade de progressão das cheias.

A análise hipsométrica das bacias hidrográficas: amplitude altimétrica, relação de relevo, inclinação e perfil longitudinal dos cursos de água. A Amplitude Altimétrica e a sua influência sobre a energia potencial da água; $Aa = H_{máx} - H_{mín}$, em que: Aa é a amplitude altimétrica, expressa em metros (m), $H_{máx}$ é a altitude máxima e $H_{mín}$ é a altitude mínima da bacia.

A relação de relevo, como um indicador da inclinação da bacia influenciando, por isso, a velocidade do escoamento (quanto maior ele for mais rápida é a chegada das águas à desembocadura da bacia). $Rr = Aa / C$, em que: Aa é a amplitude altimétrica (em

metros) e C é o comprimento máximo da bacia (em km), medido paralelamente ao curso de água principal.

A inclinação média ou gradiente dos cursos de água, $G = D / Ch$ (m / km), em que: Ch representa o comprimento do curso de água entre dois pontos de desnível D, e o perfil longitudinal dos cursos de água, que relaciona as cotas do respectivo leito com as distâncias à desembocadura. A análise do perfil longitudinal e as informações que dele se podem tirar (rupturas de declive, troços de maior erosão e / ou assoreamento potencial).

3.4. O substrato geológico

A influência da litologia, fácies e estrutura geológica no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas. Noção de permeabilidade. A dependência da permeabilidade do grau de compactação, coesão, textura e número de descontinuidades que atravessam as formações geológicas.

O substrato geológico é constituído por formações geológicas consolidadas (rochas) e não consolidadas (cascalho, areia, silte, argila), as quais influenciam o escoamento principalmente através de uma das suas propriedades, a permeabilidade. A permeabilidade é a capacidade que as formações geológicas têm de se deixar atravessar pela água e depende da dimensão dos espaços vazios nelas existentes. A permeabilidade será tanto maior quanto menos compacto e coeso for o substrato, quanto mais grosseira for a sua textura (os espaços entre as areias são maiores do que entre as argilas) e quanto maior for o número de descontinuidades que o atravessam (por exemplo, quanto mais fracturado estiver o substrato maior será a facilidade de infiltração da água ao longo dessas fracturas). Assim, um substrato geológico de elevada permeabilidade, ao facilitar a infiltração da água, diminui o escoamento superficial directo e permite o aumento das reservas de água subterrâneas da bacia hidrográfica. Pelo contrário, um substrato de baixa permeabilidade, ao dificultar a infiltração, favorece o escoamento superficial, aumentando a densidade da rede hidrográfica e intensificando os caudais de ponta das cheias.

3.5. Os solos

Os solos cobrem o substrato geológico, constituindo a película superficial das bacias. São compostos por matérias minerais, provenientes da alteração (química) e erosão (mecânica) das rochas, e por matérias orgânicas, provenientes da decomposição biológica de plantas e animais (dependem, por isso, das características da sua rocha-

mãe e do ambiente climático em que se formaram). Os solos ganham importância, no escoamento das bacias hidrográficas, através da espessura e textura. Quanto mais espessos forem maior será a sua capacidade de absorção da água, chegando a funcionar como reservas de água importantes e com influência decisiva no escoamento, nas regiões de clima quente e húmido ou com uma estação húmida muito extensa.

A textura dos solos e a sua influência no escoamento. Os quatro tipos hidrológicos do solo, segundo a classificação do Soil Conservation Service.

3.6. A vegetação

A vegetação na dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, através do tipo de revestimento (arbóreo, arbustivo ou herbáceo), do grau de cobertura e do tipo de utilização pelo Homem (florestal, agrícola, incultos). As florestas revelam-se de capital importância porque, além de minimizarem o impacto da chuva no solo (*splash*), reduzindo desse modo a erosão do mesmo, fazem diminuir a velocidade do escoamento superficial, favorecendo a infiltração e contribuindo, assim, para o aumento das reservas hídricas subterrâneas e para a redução das pontas de cheia.

Trabalho prático

Iniciação à Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas

Este exercício tem como documento-base o mapa topográfico de Portugal à escala 1/25.000. Dadas as limitações de tempo (1 aula), os objectivos deste exercício são os seguintes:

- a) definição das regras a seguir para a delimitação de uma bacia hidrográfica;
- b) delimitação da bacia hidrográfica em análise;
- c) definição da hierarquia dos cursos de água pertencentes à bacia hidrográfica, segundo o método de Strahler;
- d) definição da magnitude da rede de drenagem, segundo o método de Shreve;
- e) reconhecimento dos padrões de drenagem da bacia hidrográfica;
- f) reconhecimento de áreas de diferente densidade de drenagem;
- g) definição da amplitude altimétrica e da inclinação da bacia;
- h) discussão dos resultados.

III. OS RIOS E SEUS REGIMES

1. O escoamento fluvial

1.1. As componentes do escoamento fluvial

O escoamento fluvial como o resultado do somatório da água que é imediatamente escoada a seguir à precipitação (ou que resulta da fusão da neve ou do degelo) e da que é cedida pelas reservas hídricas subterrâneas da bacia. O diagrama de Ward (figura 5): síntese explicativa das várias componentes do escoamento fluvial.

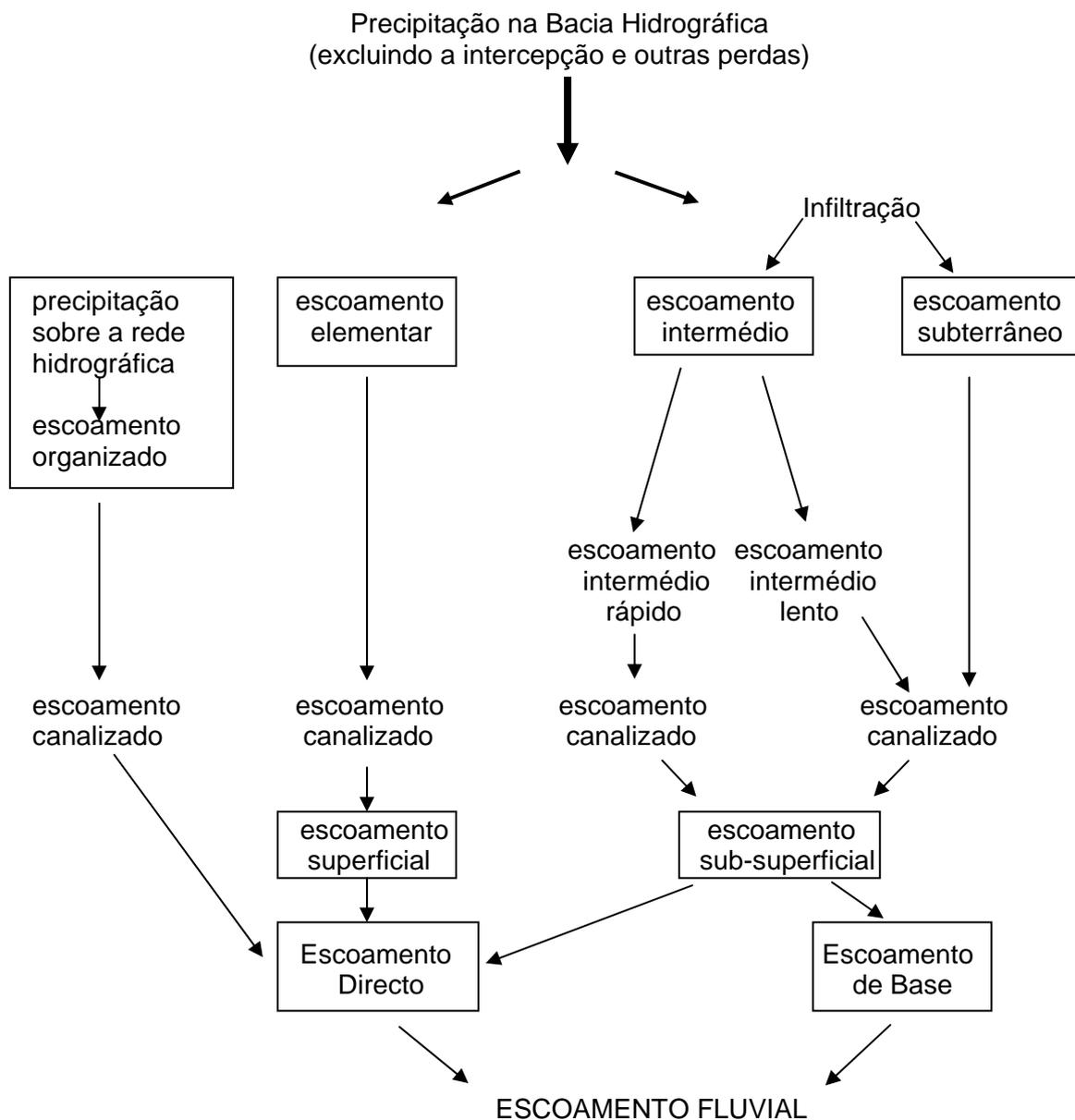


Figura 5 - Diagrama de Ward: as componentes do escoamento fluvial.

Noções de: escoamento elementar (laminar ou em toalha e linear ou concentrado), escoamento organizado (em cursos de água), escoamento intermédio, escoamento subterrâneo, escoamento superficial e escoamento sub-superficial.

As duas componentes essenciais do escoamento fluvial: o escoamento directo e o escoamento de base. O escoamento directo (correspondente à precipitação útil, isto é, à fracção da precipitação que, depois de satisfeitos os processos de evaporação, infiltração e retenção superficial na bacia, chega à rede hidrográfica) constitui a componente mais importante do escoamento fluvial durante os períodos chuvosos. O escoamento de base resulta da parcela da precipitação sujeita a processos de infiltração profunda e representa a contribuição das reservas hídricas subterrâneas da bacia para o escoamento fluvial. A sua importância é diminuta durante os períodos chuvosos, mas chega a representar a totalidade do escoamento fluvial quando as outras componentes se esgotam.

1.2. As unidades de medição

O escoamento fluvial pode ser medido através das estações hidrométricas: secção de um curso de água onde se efectua um registo periódico de níveis, e onde se definiu uma curva de vazão para conversão dos respectivos valores em caudais. Noção de curva de vazão (relação entre a altura e o caudal de um curso de água numa estação hidrométrica). Métodos de estabelecimento das curvas de vazão: método “estrutural” (que utiliza estruturas hidráulicas como descarregadores ou comportas, cuja vazão pode ser estabelecida teoricamente ou por modelo reduzido) e método “secção-velocidade” (determinação do caudal de um curso de água através pela medição da velocidade média do fluxo da água num determinado número de pontos da secção transversal, com a mesma profundidade e somando os produtos das velocidades médias pelas áreas elementares resultantes). Noção de perímetro molhado (comprimento da linha de contacto entre um curso de água em movimento e o seu canal medido na direcção normal do escoamento) e de secção transversal do perímetro molhado (secção do perímetro molhado que é perpendicular à direcção principal do escoamento).

Cálculo do caudal: $Q = V \times S$, em que Q é o caudal (em m^3/s), V é a velocidade média na secção considerada (em m/s) e S é a superfície da secção transversal do curso de água (em m^2). As isotáquias (linhas de igual velocidade numa secção transversal de um curso de água). Os problemas que afectam as curvas de vazão: o fenómeno de histerese. O registo dos dados: o limnigrama (gráfico que representa a variação do

nível da água em função do tempo) e o hidrograma (representação gráfica do caudal ao longo do tempo).

As unidades de medição, sua definição, conversões e aplicações práticas: escoamento total ou integral (volume total, em m^3 , escoado de uma bacia hidrográfica durante um determinado período de tempo); escoamento específico (altura de água, em mm, escoada de uma bacia hidrográfica durante um determinado período de tempo); caudal médio (volume de água que passa numa secção transversal de um curso de água por unidade de tempo, mede-se, normalmente, em m^3/s) e caudal específico (caudal por unidade de superfície, mede-se em $l/s.km^2$).

Ao contrário do caudal médio, que vai aumentando de montante para jusante, à medida que os rios vão recebendo as águas dos seus afluentes, o caudal específico tem tendência a diminuir. Esta situação deve-se ao facto das áreas mais elevadas das bacias onde os rios têm instaladas as suas cabeceiras serem, normalmente, mais chuvosas (chuvas orográficas) do que as mais baixas, para onde os rios se dirigem.

1.3. As séries hidrológicas

As formas de apresentação das observações hidrométricas: séries cronológicas, acumuladas e classificadas.

As séries cronológicas (formadas por valores de caudais ou escoamentos apresentados segundo a ordem de ocorrência): sua aplicação na análise da variação dos caudais instantâneos ou médios (horas, dias, semanas, meses ou anos) e na duração das situações hidrológicas extremas (cheias e estiagens).

As séries acumuladas (formadas pelo somatório dos valores dos escoamentos integrais ou específicos ao longo de um determinado período de tempo): sua aplicação no estudo de aflúências a locais onde se pretendem construir albufeiras de armazenamento.

As séries classificadas (resultantes do agrupamento dos valores dos caudais por ordem decrescente): sua aplicação nos estudos de aproveitamentos hidráulicos. A curva de duração dos caudais e a definição dos caudais característicos do curso de água. A importância dos caudais característicos máximo, semi-permanente (ou mediano) e mínimo.

2. Os elementos dos regimes fluviais

Os regimes fluviais estudam-se a partir dos dados fornecidos pelas estações hidrométricas, situadas em determinadas secções dos cursos de água. É a análise

quantitativa desses dados que permite caracterizar os elementos constituintes dos regimes fluviais:

- Elementos dos regimes fluviais
- caudal (líquido)
 - (ir)regularidade
 - variações estacionais
 - estiagens
 - cheias
 - caudal sólido

2.1. O caudal

O caudal (Q) define-se como o volume de água que passa numa secção do curso de água por unidade de tempo, sendo geralmente expresso em m^3/s ou l/s . Dele depende: a capacidade erosiva e de transporte de sedimentos dos cursos de água, o abastecimento de água para as diversas actividades humanas, a capacidade de diluição dos produtos contaminantes a que estão sujeitos.

O caudal permite hierarquizar os cursos de água, quanto à quantidade de água que, em média, transportam. Um curso de água é um fluxo canalizado, mais ou menos caudaloso, que se pode manter ou não ao longo de todo o ano. A designação de rio costuma reservar-se para o curso de água principal de uma bacia de drenagem, no qual converge a água transportada pela sua rede de afluentes e subafluentes. Esses afluentes têm, por sua vez, designações diferentes consoante o seu grau de importância dentro da rede de drenagem. Assim, por importância decrescente, podem designar-se os cursos de água por: rio, ribeira, ribeiro, e regato. Estas designações são, todavia, subjectivas e variam de região para região.

A classificação da UNESCO (1978) dos cursos de água baseada no seu caudal médio anual: grandes rios ($>1000 m^3/s$), rios (150 a $1000 m^3/s$), ribeiras (5 a $150 m^3/s$) e pequenas correntes de água ($<5 m^3/s$).

Os grandes organismos fluviais do Planeta, segundo o seu caudal (quadro 7 e figura 6). Só o Amazonas transporta 23% da água drenada por todos os rios do Planeta e os 4 rios mais caudalosos (Amazonas, Zaire, Orenoco e Yang-Tsé) são responsáveis por mais de 1/3 do escoamento fluvial mundial.

Das grandes bacias hidrográficas que drenam os vários continentes três se destacam pela sua enorme produtividade (mais de $30 l/s.km^2$), uma vez que se situam em regiões muito chuvosas: as do Amazonas e Orenoco, na região equatorial da América do Sul, e a do Bramaputra, na região dos Himalaias. No extremo oposto (caudais

específicos inferiores a 2 l/s.km²) estão as bacias cujos rios atravessam extensas regiões secas ou mesmo desérticas (Nilo e Shatt-el-Arab).

Quadro 7 - Os grandes rios do Planeta (Q > 1000 m³/s), com bacias hidrográficas de área > 500.000 km²

Rios	Caudal médio (m ³ /s)	Caudal específico (l/s.km ²)	Escoamento total (km ³)	Escoamento específico (mm)
Amazonas	199.700	32,5	6298	1024
Zaire	39.250	10,3	1238	324
Orenoco	34.880	35,2	1100	1111
Yang-Tsé Kiang	28.540	14,7	900	464
Bramaputra	19.290	33,3	608	1049
Mississipi	18.350	5,6	579	177
Jenissei	17.750	6,9	560	217
Lena	15.870	6,5	501	206
Mekong	14.910	18,9	470	595
Paraná	14.900	5,3	470	166
S.Lourenço	14.180	13,8	447	434
Obi	12.210	4,9	385	154
Ganges	11.590	11,8	366	373
Tocantins	10.990	12,2	347	385
Amur	10.270	5,6	324	175
Mackenzie	9.700	5,4	306	169
Volga	8.390	6,2	265	196
Colúmbia	7.970	11,9	251	375
Indo	7.540	7,8	238	245
Zambeze	7.080	5,9	223	186
Danúbio	6.520	8,1	206	254
Yukon	6.180	7,4	195	232
Níger	6.100	5,0	192	159
Nelson	3.500	3,0	110	96
Orange	2.880	2,8	91	89
S.Francisco	2.870	4,8	91	151
Nilo	2.820	1,0	89	30
Kolyma	2.250	3,5	71	111
Chari	1.930	2,2	61	69
Dniepre	1.650	3,3	52	104
Amarelo	1.540	2,0	49	63
Shatt-el-Arab	1.450	1,9	46	61

Fonte: Summerfield (1991)

2.2. A (ir)regularidade

O caudal médio (módulo) esconde, em muitos casos, enormes variações dos caudais anuais. Nestas situações é de fundamental importância definir a (ir)regularidade, através da amplitude/flutuação do escoamento fluvial produzido de ano para ano.

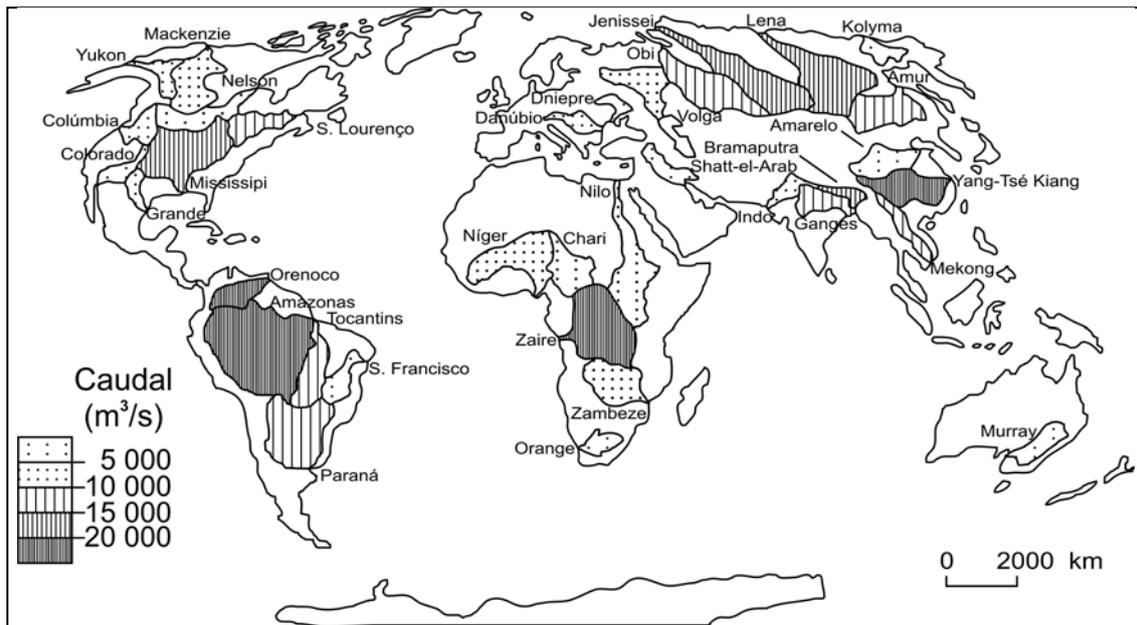


Figura 6 - As grandes bacias hidrográficas do Planeta e caudais anuais (calculados na foz) dos rios que as drenam.

Num regime regular os caudais apresentam características que se repetem periódica e ciclicamente, sem grandes diferenças, ao longo dos anos.

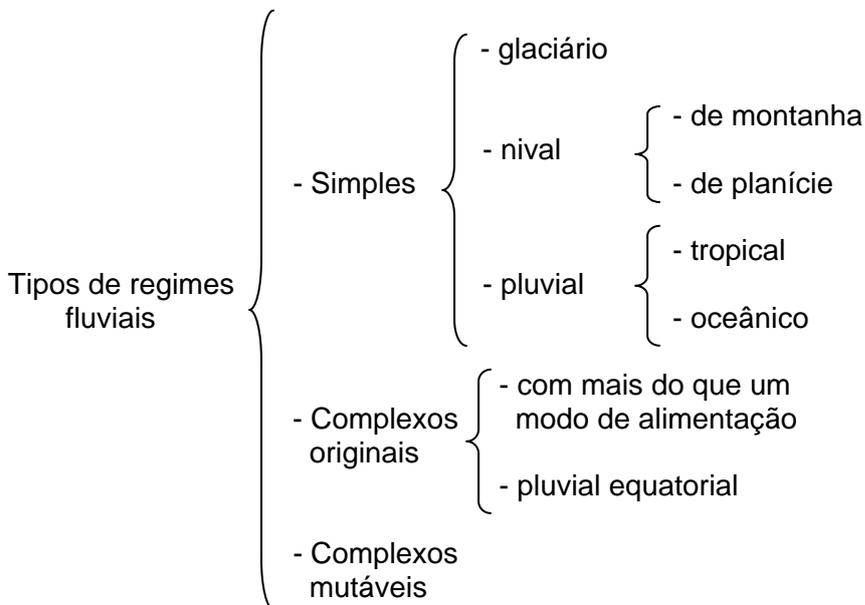
Os regimes irregulares dificultam a gestão da água, porque a quantidade de água varia muito de um ano para o outro. Os regimes de maior irregularidade ocorrem nas regiões semi-áridas e áridas, dos bordos dos desertos quentes, onde, em certos anos, nem sequer existe escoamento fluvial. Nestes casos, os valores do coeficiente de flutuação atingem o infinito. No extremo oposto encontram-se os cursos de água cujas bacias hidrográficas dispõem de abundantes reservas de água líquida (toalhas aquíferas ou lagos) ou sólida (glaciares). Nestes casos, os valores do coeficiente de flutuação (Q anual mais elevado / Q anual mais reduzido) são muito baixos: 2 ou inferiores a 2.

2.3. As variações estacionais

As variações mensais dos caudais permitem definir não só as estações de abundância e de escassez, mas também os grandes tipos de regimes fluviais, com base nos coeficientes mensais dos caudais (cmc). Estes coeficientes resultam da razão entre os caudais médios mensais e o caudal médio anual (Q mensal / Q anual). Quando o $cmc = 1$, quer dizer que o caudal médio mensal é igual ao caudal médio anual, quando o $cmc > 1$, define o período de abundância de escoamento, quando o valor do $cmc < 1$, define o período de penúria de escoamento.

Pode acontecer, em casos especiais, que os rios não tenham, praticamente, oscilações mensais dos seus caudais. Diz-se, então, que os rios apresentam um regime ponderado. Este consiste num fraco afastamento quer entre os caudais mensais mais elevados e os mais baixos quer entre os caudais extremos. Os rios que atravessam grandes lagos, ao longo do seu percurso, são um exemplo desta situação. Na estação de maior abundância de água esta é retida nos lagos e, na de menor abundância, os lagos cedem-na, lentamente, aos rios, provocando a ponderação do seu regime.

Tipologia dos regimes fluviais. Caracterização dos tipos e sub-tipos e repartição geográfica pelos diversos continentes. Como a maior parte das massas continentais se situam no hemisfério norte, nele se podem encontrar todos os tipos de regimes fluviais, pelo que, por uma questão prática, se comparam os rios cujas bacias se localizam neste hemisfério.



Os regimes simples são os que têm apenas duas estações hidrológicas, a de abundância e a de penúria. As curvas dos cmc são caracterizadas por possuírem apenas um máximo de escoamento (figuras 7 e 8), o que prova a preponderância de um modo de alimentação: o degelo (regime glaciário), a fusão das neves (regime nival) ou a estação das chuvas (regime pluvial).

O regime glaciário encontra-se nas zonas sub-polares e nas regiões montanhosas onde os glaciares ocupam, pelo menos, 15 a 20% da área das bacias hidrográficas. Este regime depende directamente da temperatura. Durante a estação fria as baixas temperaturas retêm a água no estado sólido impedindo-a de alimentar o escoamento

fluvial, provocando estiagens acentuadas ($cmc < 0,2$) e persistentes durante o Inverno. Na estação quente dá-se o degelo, provocando o aumento dos caudais que atingem os valores máximos ($cmc > 3$) em pleno Verão (Julho ou Agosto). É, por isso, um regime regular, com diferenças muito acentuadas entre os meses extremos (fig.7).

O regime nival depende também da temperatura, ocorrendo a época de menor escoamento nos meses mais frios devido à retenção da água no estado sólido, que, todavia, é menos acentuada do que no regime glaciário (cmc raramente $< 0,2$), dado que estas bacias encontram-se a latitudes ou altitudes mais baixas, onde o frio não é tão intenso. A época de maior abundância é também mais precoce do que no regime glaciário (Primavera), porque a fusão da neve se inicia antes do degelo dos glaciares.

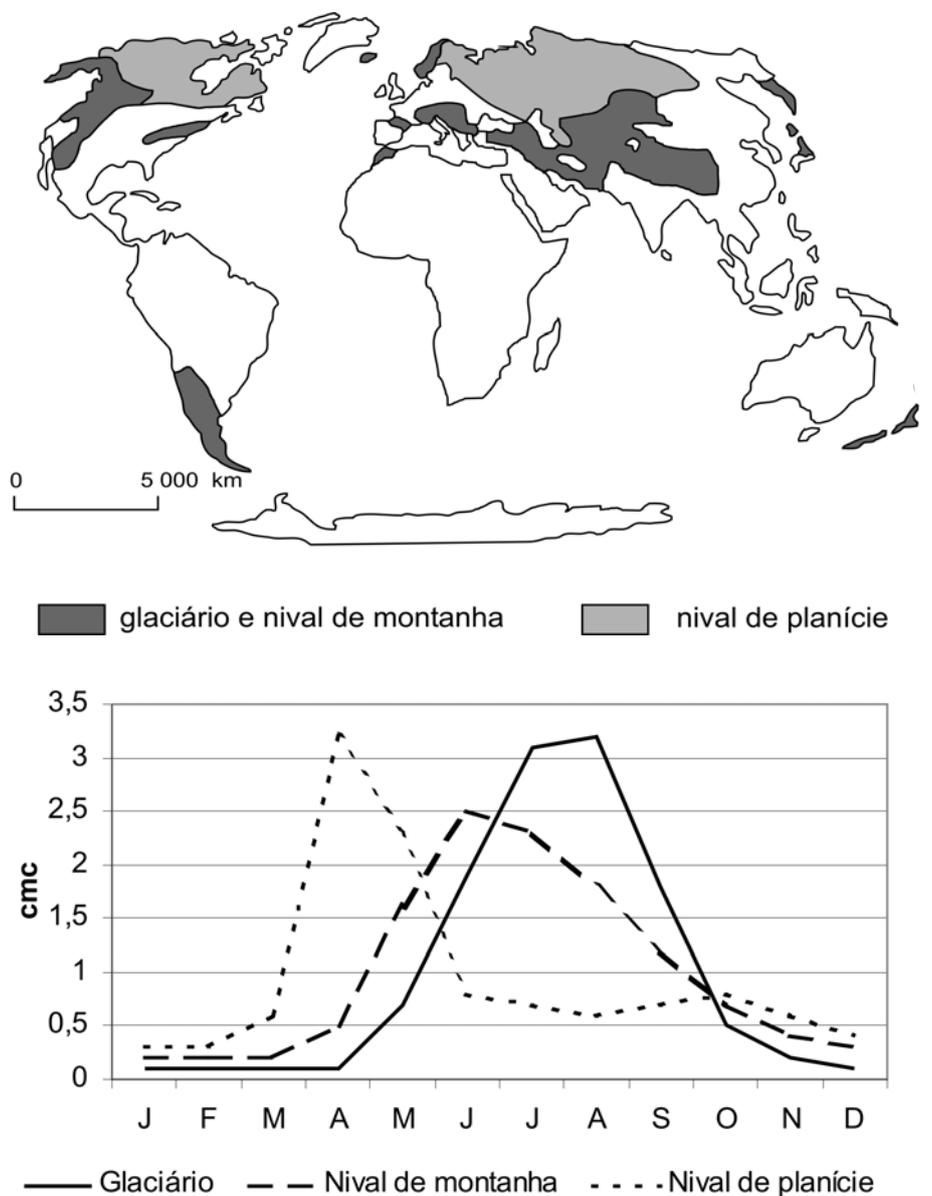


Figura 7 - Os regimes fluviais simples glaciários e nivais: repartição geográfica e variações estacionais.

É um regime regular, que se subdivide em dois sub-tipos: nival de montanha e nival de planície. O nival de montanha atinge o pico máximo de escoamento no final da Primavera (Junho, $cmc > 2$), enquanto o nival de planície tem tendência a ocorrer mais cedo (entre Abril e Junho).

Na montanha, a fusão nival é gradual e sobe lentamente as vertentes, atingindo altitudes crescentes; os caudais são, então, abundantes e persistentes mas não atingem a magnitude dos que se registam no regime nival de planície (figura 7).

Os rios que drenam as grandes planícies russas e canadianas gelam durante a estação fria devido às baixas temperaturas e à lentidão do escoamento ao longo dessas superfícies planas de fraca inclinação.

Contudo, quando a fusão da neve se desencadeia atinge vastas superfícies planas, provocando o aumento brusco do caudal ($cmc > 3$ ou 4). Os rios transbordam inundando extensões enormes, é a chamada “cheia de fusão”. Este fenómeno ocorre todos os anos, primeiro nas planícies do Sul e Oeste da Rússia (Abril), estendendo-se depois, progressivamente, em direcção ao interior norte das planícies e planaltos siberianos (Junho), onde a persistência do frio é maior.

Os regimes simples pluviais dividem-se em dois sub-tipos fundamentais: regime pluvial tropical e regime pluvial oceânico (figura 8).

O regime pluvial tropical apresenta duas estações hidrológicas bem marcadas: uma de escoamento abundante ($cmc > 3$ ou 4) no Verão (estendendo-se, por vezes, até ao início do Outono), em que se registam cheias, por vezes, espectaculares, e outra de escassez de escoamento, em que se destaca uma acentuada estiagem ($cmc < 0,2$). A estação das chuvas, no ambiente tropical, ocorre durante os meses mais quentes devido à subida da CIT (Convergência Intertropical) em latitude, acompanhando o movimento anual aparente do Sol.

O período de maior abundância de escoamento ocorre com um atraso de um a dois meses relativamente ao de maior precipitação, devido ao facto das primeiras chuvas servirem para repor as reservas de água do solo, muito depauperadas após a estação seca. É um regime regular com diferenças muito acentuadas entre os meses extremos.

É de salientar que os rios do Sul e Sudeste asiático (Ásia das monções) que nascem na cordilheira montanhosa dos Himalaias, apesar de terem, na sua maioria, um regime pluvial tropical, também são alimentados pela fusão nival e glaciária, mas esta coincide com as chuvas de monção, reforçando assim o máximo estival.

O regime pluvial tropical é característico de grandes rios como o Amarelo, o Yang-Tsé Kiang, o Ganges, o Bramaputra, o Indo, o Orenoco e o Zambeze, entre outros.

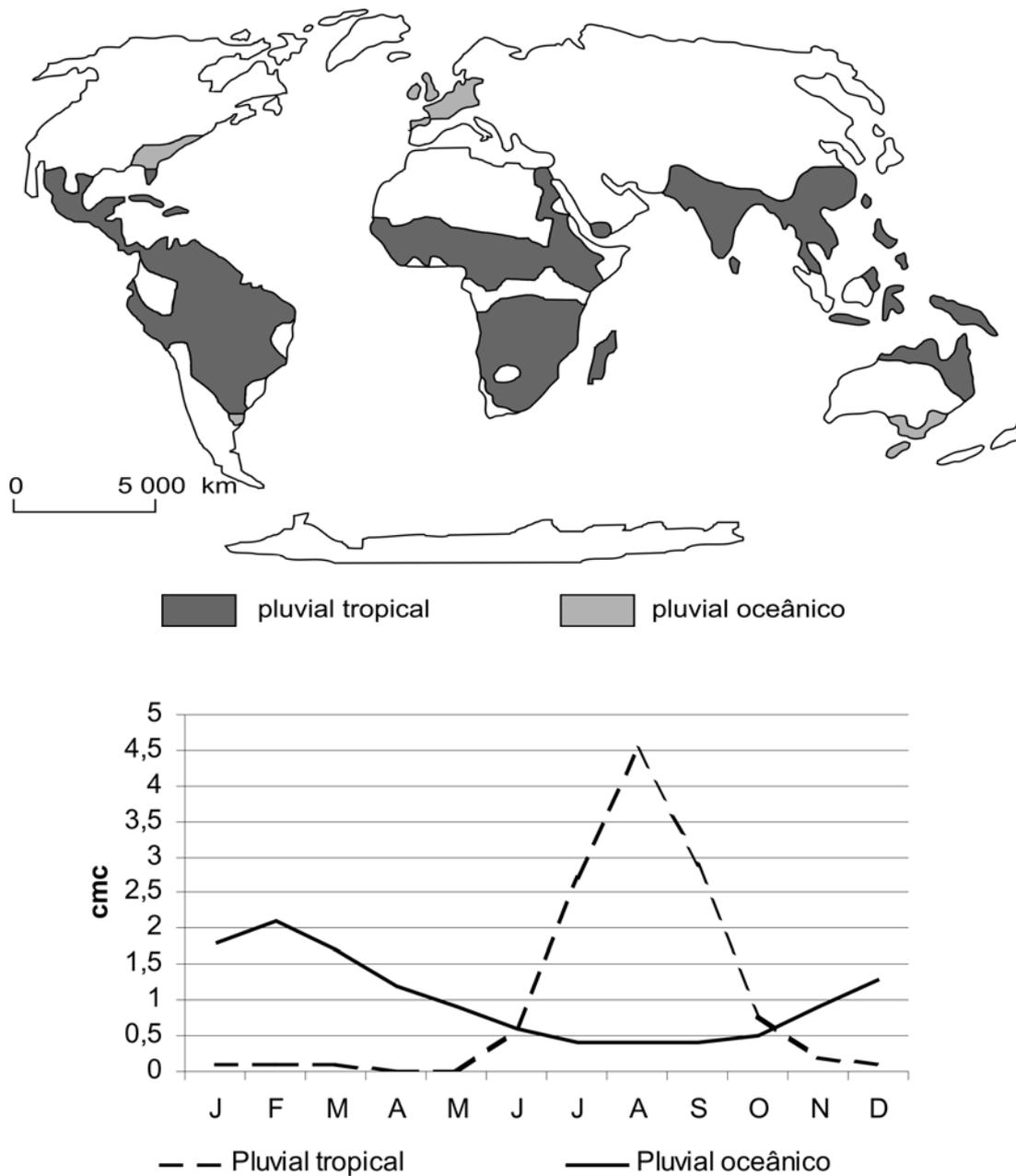


Figura 8 - Os regimes fluviais simples pluviais: repartição geográfica e variações estacionais.

O regime pluvial oceânico, ao contrário do anterior, ocupa uma pequena extensão dos continentes (figura 8), sendo, todavia, muito comum nos rios da Europa ocidental. Apresenta a estação de abundância de escoamento nos meses mais frios do ano, durante os quais a frente polar desce em latitude provocando as chuvas. Os meses de maior abundância média são Janeiro, Fevereiro e, por vezes, Março. A estação de maior penúria ocorre nos meses mais quentes, com mínimos em Agosto e Setembro. Estes mínimos são acentuados devido à forte evaporação que se faz sentir nesta época do ano. Embora sendo um regime irregular, dependente da variabilidade das

chuvas, as diferenças entre os meses de maior ($cmc=2$) e de menor ($cmc>0,2$) escoamento não são muito acentuadas.

Uma variante deste regime, denominada por alguns autores por regime pluvial subtropical, é a que se encontra, por exemplo, no Sul de Portugal. Esta variante difere do pluvial oceânico, propriamente dito, por ser mais irregular (acompanhando um aumento de irregularidade do regime das chuvas), por possuir uma grande amplitude de flutuação entre os meses extremos ($cmc>2,5$ ou 3 e $cmc<0,2$, respectivamente) e por ter uma estiagem severa, todos os anos, devida à longa duração da estação seca. Os regimes complexos originais (assim designados porque a complexidade do regime se manifesta desde a origem, onde está instalada a cabeceira dos cursos de água) apresentam, pelo menos, quatro e, mais raramente, seis estações hidrológicas. São, normalmente, devidos a um modo de alimentação híbrido, que combina dois ou mesmo três modos de alimentação (degelo, fusão da neve e pluviosidade) originando diversos sub-tipos de regimes complexos originais: pluvio-nivais, nivo-pluviais, nivais de transição, etc.

Uma excepção à regra é o regime pluvial equatorial, que embora tenha quatro estações hidrológicas (dois máximos intercalados por dois mínimos) tem apenas como único modo de alimentação as chuvas equinociais (figura 9). Devido à grande regularidade da distribuição da chuva ao longo do ano, este regime não tem estiagem e a amplitude entre os meses de maior e de menor caudal é reduzida.

Os regimes complexos mutáveis (assim designados porque os rios vão modificando o seu regime de montante para jusante) afectam uma grande parte dos grandes rios, cuja bacia hidrográfica abarca áreas montanhosas e de planície ou que se estende por várias regiões climáticas. Os grandes rios vão recebendo afluentes com diferentes regimes, que vão, por sua vez, modificar o regime do rio principal. É, por exemplo, o caso do rio Zaire, que começa por ter, no sector montante, um regime pluvial tropical, mas à medida que se aproxima do equador evolui num regime pluvial equatorial.

2.4. As estiagens

As estiagens e as cheias correspondem às situações hidrológicas extremas que afectam os rios. São os elementos dos regimes fluviais que maiores impactes provocam nas actividades humanas.

O facto se serem fenómenos extremos não quer dizer que sejam excepcionais. Existem regimes fluviais em que as estiagens e/ou as cheias ocorrem todos os anos, sendo, por isso, fenómenos regulares aos quais ecossistemas e actividades humanas estão adaptados. Neste caso, a excepcionalidade de estiagens e cheias reside na sua

magnitude e/ou duração e não na sua frequência. No outro extremo, estão os regimes fluviais raramente afectados por estes fenómenos. Quando ocorrem têm graves impactes socio-económicos e ambientais, porque são fenómenos não esperados, sendo a sua previsão complexa e difícil (sobretudo no caso das cheias).

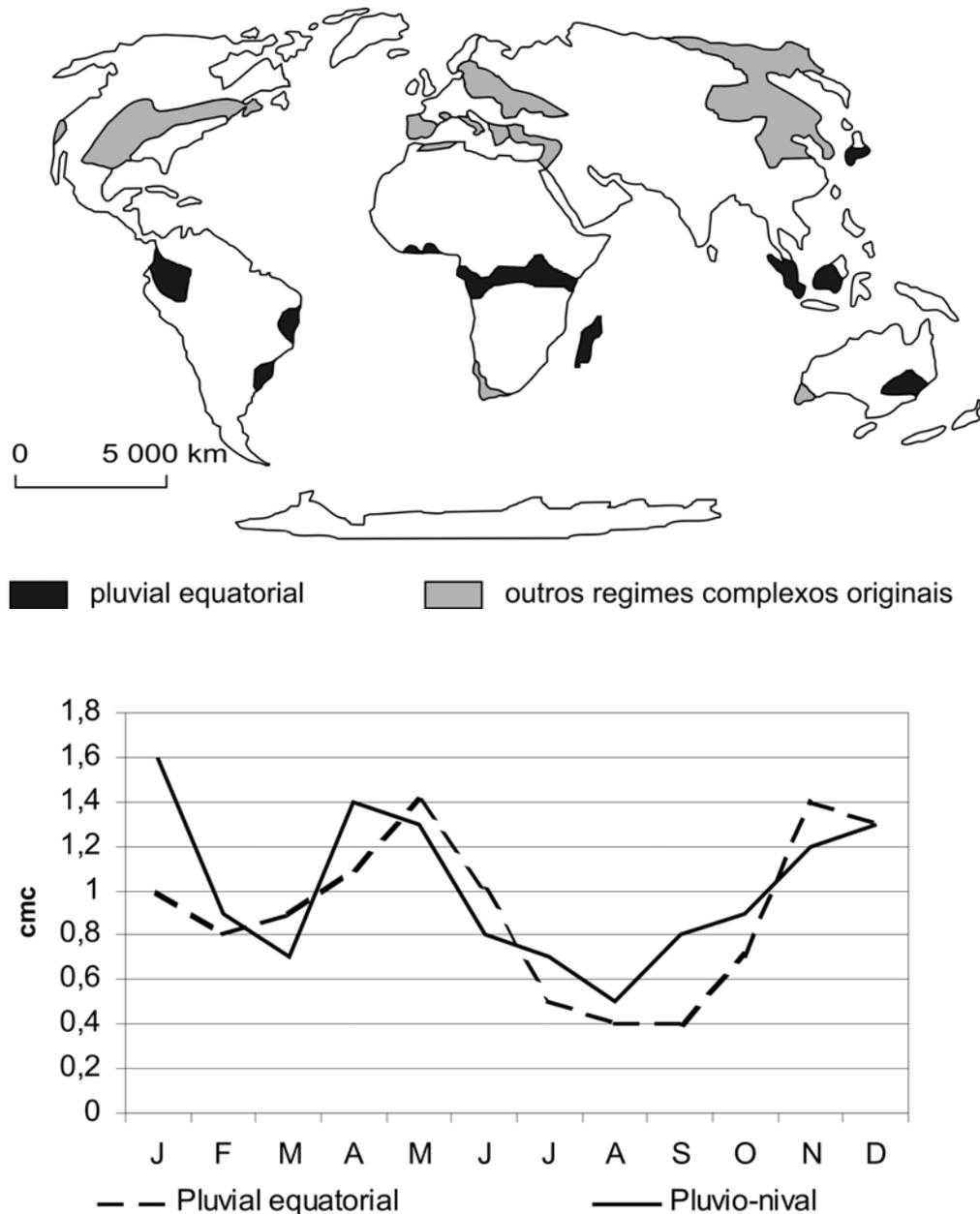


Figura 9 - Os regimes fluviais complexos originais: repartição geográfica e variações estacionais.

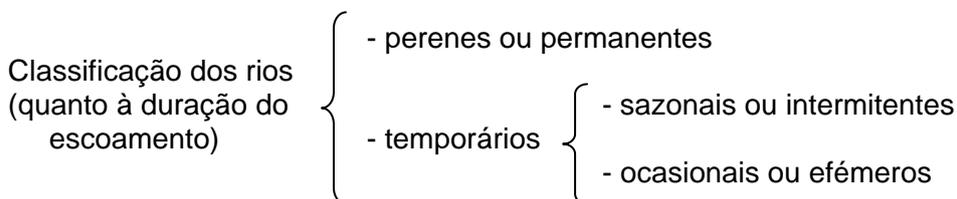
As estiagens representam uma grave indigência de escoamento, em que os rios deixam de ocupar o seu leito ordinário para se cingir apenas ao talvegue (leito de

estiagem). Normalmente considera-se que um rio entra em situação de estiagem quando o seu caudal atinge 20 a 25% do caudal médio anual ($cmc < 0,2$ ou $< 0,25$).

Se as estiagens podem ser interrompidas, de repente, pelas cheias, já o inverso não é verdadeiro; isto é, as estiagens, ao contrário das cheias, nunca aparecem de forma repentina, sendo consequência de uma diminuição progressiva da fonte de alimentação dos caudais, seja qual for a sua natureza. As estiagens podem ser devidas a secas, ou seja, a longos períodos de ausência de precipitação por sucessão de tipos de tempo secos, ou à retenção progressiva da água no estado sólido, por abaixamento da temperatura.

As estiagens podem corresponder ao desaparecimento dos cursos de água, em quatro situações: nos uédes das áreas peri-desérticas quentes, de ambiente semi-árido, com chuvas esporádicas e irregulares; em certos cursos de água das áreas de ambiente tropical seco, com estação seca muito acentuada; em alguns cursos de água pluviais do ambiente mediterrâneo, com uma longa estação seca; em certos cursos de água do nordeste da Sibéria, que gelam até ao fundo no Inverno, confundindo-se com as áreas geladas envolventes. Nestes casos, a estiagem define-se através da ausência de escoamento, isto é, quando o caudal é nulo.

Os cursos de água podem classificar-se, em três tipos básicos, quanto à duração (ou constância do escoamento):



Os rios perenes, escoam ao longo de todo o ano, porque o nível superior das toalhas aquíferas, que decalca, grosso modo, a superfície topográfica, se situa sempre acima do fundo do leito do rio, fornecendo-lhe água constantemente. Neste caso, a água subterrânea dirige-se, de forma contínua, para os canais fluviais, pelo que os rios são efluentes.

Os rios temporários só escoam, tal como o nome indica, durante uma parte do tempo, ou seja, são rios em que a estiagem implica ausência de escoamento e dividem-se em duas categorias, consoante a duração dessa ausência de escoamento: os sazonais, que escoam na estação de abundância e secam na de estiagem e os ocasionais, que estão, quase sempre, secos.

Os rios ocasionais só dependem do escoamento superficial, ou seja, o nível superior da toalha aquífera nunca atinge o fundo do seu leito. São, por isso, rios influentes, pois a água que transportam vai alimentar, através da infiltração, as toalhas aquíferas.

Os rios sazonais são efluentes, durante a estação de abundância, porque o nível superior das toalhas aquíferas sobe acima do fundo do seu leito, e influentes, na de escassez, porque o lençol freático desce a um nível inferior ao do seu leito.

As estiagens podem ter graves consequências socio-económicas, nomeadamente: na navegabilidade dos rios, podendo levar à suspensão do transporte e comércio fluviais, muito importantes em algumas regiões do Globo; na produção de energia hidroeléctrica, aumentando as despesas com a importação de energia; no abastecimento doméstico e industrial; na irrigação de terrenos agrícolas, levando a quebras de produção, à perda de culturas, ou à sua substituição por outras menos exigentes em água.

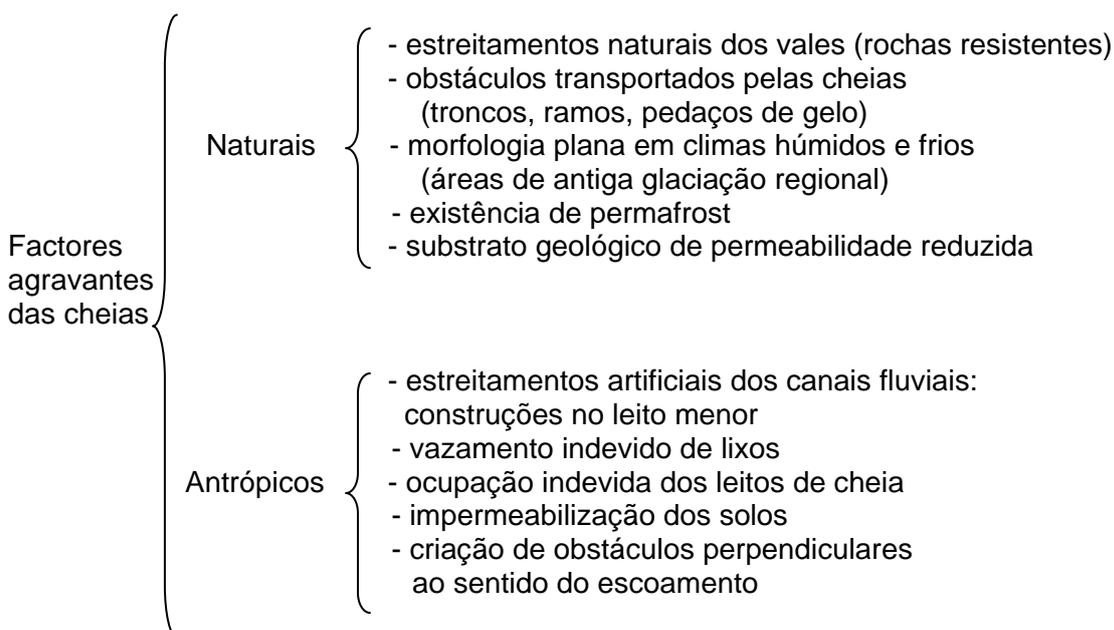
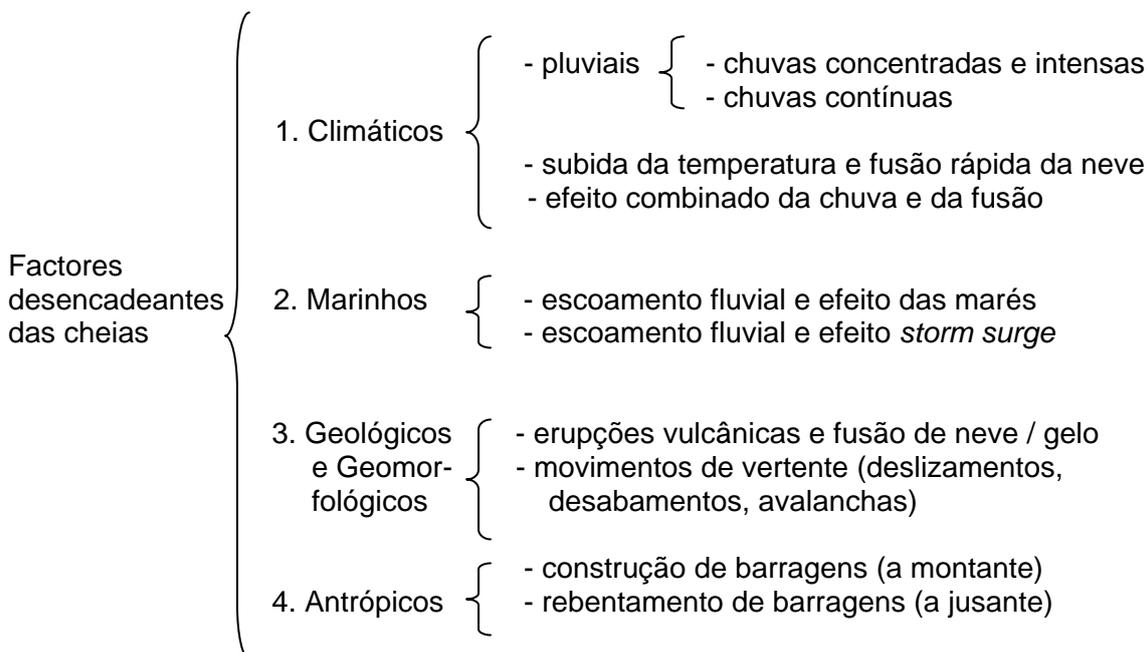
2.5. As cheias

A noção de cheia e inundação: todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devidas às cheias. As cheias são fenómenos hidrológicos extremos devidos à dinâmica fluvial, isto é, existe uma cheia sempre que o rio transborda em relação ao seu leito ordinário. O transbordo origina, por sua vez, a inundação dos terrenos ribeirinhos.

Contudo, existem inundações que não são devidas aos rios, como por exemplo, as devidas a galgamentos oceânicos da linha de costa em situações de tempestade ou as inundações urbanas devidas à conjugação de chuvas intensas, à impermeabilização das superfícies construídas e a sistemas de águas residuais e pluviais inadequados.

Discussão das causas das cheias, sua ocorrência no Planeta e regiões mais afectadas. As cheias como o desastre natural mais frequente no Planeta e um dos mais mortíferos (+ de 12.000 mortos por ano), logo a seguir aos ciclones e tremores de terra (num total de 15 desastres naturais, segundo a classificação de Obasi, 1994, em Herschy e Fairbridge ,1998).

Causas das cheias:



As causas de natureza climática devem-se à pluviosidade e à fusão rápida da neve. As chuvas são a principal causa das cheias e podem ser de dois tipos: ou são contínuas e prolongadas, podendo até não atingir grande intensidade, ou são concentradas no tempo e no espaço, mas de grande violência. As primeiras são chuvas generalizadas a vastas áreas e que devido à sua duração (semanas a meses) levam à saturação dos solos, à reposição das reservas subterrâneas e, finalmente, a fenómenos de transbordo. Consoante a latitude, podem ser devidas à influência da CIT, das monções e da frente polar. As segundas podem ocorrer apenas em algumas

horas ou em menos de uma semana, mas atingem grandes intensidades. Na zona intertropical e nas fachadas orientais dos continentes banhadas por correntes marítimas quentes, são devidas a ciclones tropicais ou a perturbações da CIT; nas zonas temperadas são devidas a situações depressionárias de gotas de ar frio e a frentes frias muito activas.

A fusão rápida da neve deve-se a subidas bruscas da temperatura e a advecções de ar quente vindas de latitudes mais meridionais, por vezes conjugadas com chuvas, que ajudam o processo de fusão. As quantidades colossais de água retidas no estado sólido são assim libertadas rapidamente levando ao transbordo dos rios.

As causas de natureza marinha ocorrem nos troços terminais dos cursos de água costeiros, aquando de situações de escoamento fluvial abundante, mas que por si só não originam cheias, a não ser que coincidam com a maré cheia ou com fenómenos de *storm surge* (sobreelevação do nível do mar de origem meteorológica), que ao elevarem o nível do mar, exercem um efeito de tampão sobre o escoamento fluvial, obrigando ao transbordo.

As cheias de obstáculo ocorrem quando se interpõem ao escoamento fluvial quaisquer obstáculos que ocupam, temporariamente, o canal fluvial. Esses obstáculos podem ser transportados pelo próprio curso de água, por exemplo, pedaços de gelo que ao passarem em estreitamentos do canal fluvial se podem colar uns aos outros e formar um muro que funciona de barreira ao escoamento; ou atingirem o canal fluvial vindos das vertentes do vale (avalanchas, desabamentos, deslizamentos).

As cheias de derrocada acontecem devido à cedência do obstáculo, na maior parte das vezes, bruscamente, pelo que as águas libertadas provocam grandes ondas de cheia.

Nas cheias de obstáculo, a acumulação da água, e conseqüente transbordo, dá-se a montante desse obstáculo, enquanto que nas cheias de derrocada, o transbordo se dá a jusante (o rebenamento de barragens provoca cheias desta segunda categoria).

Os critérios que permitem efectuar a tipologia das cheias:

- | | | |
|---|---|----------------|
| Critérios de
classificação
das cheias | 1. Velocidade de progressão | - Rápidas |
| | | - Progressivas |
| | 2. Nº de pontas de cheia | - Simples |
| | | - Complexas |
| | 3. Tempo de duração (horas, dias, semanas ou meses) | |
| | 4. Frequência de ocorrência (época de ocorrência) | |
| 5. Potência (magnitude) | | |
| 6. Recorrência (período de retorno) | | |

A velocidade de progressão da onda de cheia ao longo dos rios permite classificar as cheias em rápidas (*flash floods*) e progressivas. As cheias rápidas são as mais perigosas porque ocorrem de forma repentina (em algumas horas), apanhando as populações de surpresa. São mortíferas, especialmente nas bacias com cursos de água de regime irregular, onde podem ocorrer vários anos sem cheias levando ao “esquecimento” destas situações por parte das autoridades e das populações. Estas instalam-se nos leitos de cheia potencializando grandes catástrofes. Se este tipo de cheias ocorre de noite, muitas pessoas acabam por morrer afogadas dentro das suas próprias casas.

As cheias progressivas ocorrem de forma mais lenta, pois os rios vão aumentando progressivamente o seu caudal, dando tempo para a evacuação de pessoas e bens.

A ponta de cheia é o valor máximo que o caudal atinge durante a cheia. Esta pode-se classificar em simples, se tiver apenas uma ponta de cheia, ou complexa, se registar mais do que uma ponta de cheia (por exemplo, se a bacia hidrográfica for varrida por várias chuvadas). Por definição, as cheias complexas duram mais tempo do que as simples.

O tempo de duração das cheias pode variar de algumas horas a meses, levando, necessariamente, a uma diferente adaptação das actividades humanas. Quando o tempo de submersão das planícies de inundação é muito grande (semanas a meses), essa situação obriga as pessoas que aí vivem a uma espécie de vida anfíbia, construindo as casa sobrelevadas (sobre estacas, por exemplo) e utilizando o barco como meio de transporte em vez do transporte rodoviário.

Ocorrência e recorrência são conceitos distintos. A frequência de ocorrência das cheias permite definir as áreas habitualmente mais afectadas por este fenómeno, bem como a época do ano mais sensível à sua ocorrência. A recorrência das cheias define a probabilidade de determinados caudais de ponta voltarem a ocorrer (período de retorno).

Finalmente, a magnitude define a potência das cheias, através dos respectivos caudais de ponta. É em função da magnitude das cheias que se constroem as pontes, barragens, diques de protecção, entre outras estruturas hidráulicas.

Os principais impactes socio-económicos das cheias: cortes em vias de comunicação, sistemas de abastecimento de água e de outros bens, submersão de localidades e monumentos, deslocação e desalojamento das populações, inundação de terras aráveis e destruição de culturas, destruição de estruturas hidráulicas e outras, epidemias.

Os impactes das cheias no ambiente natural são sobretudo de natureza geomorfológica (nos balanços erosão / acumulação dos canais fluviais, na alimentação sedimentar das planícies aluviais, deltas fluviais e praias), hidrogeológica (recarga de aquíferos) e biológica (transporte de nutrientes). As cheias têm, assim, não só impactes negativos mas também positivos:

- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| Impactes negativos das cheias | { | <ul style="list-style-type: none">- destruição de culturas e de solos agrícolas- afogamento de animais- corte de vias de comunicação- corte no abastecimento de água e de outros bens- submersão de localidades e monumentos- destruição de estruturas hidráulicas ou outras- desalojamento da população- perigo de doenças e epidemias- vítimas mortais |
| Impactes positivos das cheias | { | <ul style="list-style-type: none">- deposição de sedimentos finos e nutrientes nas planícies aluviais- recarga de aquíferos- transporte de sedimentos para o litoral: alimentação das praias- transporte de nutrientes para o litoral: alimentação das comunidades piscícolas |

É durante as cheias que os rios aumentam, substancialmente, a sua capacidade erosiva e de transporte, podendo modificar por completo, em poucas horas ou dias, o canal fluvial e o próprio fundo de vale, através da erosão das suas margens (por sapamento lateral), do aprofundamento, nalguns troços (por arrastamento da carga de fundo) e do assoreamento noutros (por deposição dos sedimentos resultantes da erosão dos sectores a montante).

As águas das cheias, ao invadirem as planícies aluviais, não só depositam aí grandes quantidades de sedimentos, fertilizando dos solos, mas também vão recarregar os aquíferos aluviais, contribuindo para o enriquecimento das reservas hídricas subterrâneas das bacias hidrográficas.

Uma parte da enorme carga sedimentar que os rios transportam, durante as cheias, chega aos mares e oceanos, aí, as correntes marinhas redistribuem os materiais arenosos ao longo da linha de costa, contribuindo para a alimentação das praias.

As cheias levam também grandes quantidades de nutrientes, dos continentes para os oceanos, os quais alimentam e promovem o crescimento das comunidades piscícolas que vivem na interface rio-oceano.

As consequências, por vezes dramáticas, das cheias nas actividades humanas e nas vítimas mortais que provocam são, quase sempre, devidas ao desordenamento territorial. Existem três tipos de medidas mitigadoras que podem ser implementadas

para a resolução deste problema: medidas de conservação, medidas de correcção e medidas de restauração.

As medidas de conservação visam a introdução de critérios de ordenamento do território. A reflorestação das áreas mais elevadas e declivosas do sector montante das bacias hidrográficas é uma delas e tem como objectivo, diminuir a velocidade do escoamento superficial e aumentar a infiltração, o que leva à diminuição das pontas de cheia, da erosão dos solos e do assoreamento dos canais fluviais.

O ordenamento das áreas ribeirinhas, de fundo de vale, é também de vital importância, pois permitem efectuar o zonamento das áreas ribeirinhas, já que, dentro do leito de cheia, as áreas mais próximas do curso de água são as mais frequentemente inundadas (por cheias de menor período de retorno), enquanto as mais afastadas só são afectadas por cheias de maior magnitude (por cheias de maior período de retorno). As catástrofes (perdas de vidas e enormes prejuízos materiais) evitam-se não construindo nos leitos de cheia. Nas áreas urbanas e suburbanas onde a pressão sobre os terrenos ribeirinhos é maior, a faixa próxima dos cursos de água com probabilidade de ser inundada pelo menos uma vez em 50 anos, deverá ser um espaço aberto de áreas verdes (parques e jardins), a fim de facilitar o escoamento das águas em situações de cheia e de potencializar baixos prejuízos. Muitas vezes é difícil definir os limites do leito de cheia, pelo que se utilizam os limites atingidos pela maior cheia de que há memória (que alguns autores designam como a provável cheia centenária), não devendo igualmente ser aí efectuadas quaisquer construções residenciais, comerciais ou industriais. Mesmo nos limites da cheia centenária e, por poderem ser sempre ultrapassados por cheias de maior período de retorno, as construções não devem ser muito densas e deverão ter as necessárias adaptações, como por exemplo, ser construídas sobre pilares, sem pisos térreos.

As medidas de correcção visam a resolução de problemas de inundação em pontos especialmente críticos da bacia hidrográfica. São aqui que se enquadram as obras de engenharia, como a construção de barragens, canais de derivação e diques de protecção contra as cheias, por exemplo.

Actualmente, começam a implementar-se um terceiro conjunto de medidas, ditas de restauração, em pequenas bacias hidrográficas, as quais têm por objectivo essencial restabelecer as características naturais dos canais fluviais e dos ecossistemas ripícolas, ou seja, devolver aos rios o seu corredor fluvial, não lutando contra eles, mas usufruindo, inteligentemente, da sua presença.

2.6. O caudal sólido

O caudal sólido corresponde à quantidade de sedimentos, transportada por um curso de água, por unidade de tempo. Dada a dificuldade de medição é quase sempre utilizado o caudal sólido em suspensão, que corresponde à maior fracção de material transportado pelos rios e representa a perda de elementos finos por parte das bacias hidrográficas.

$Q_s = Q \times T$, em que

Q_s é o caudal sólido (em suspensão), em kg / s ou g / s

Q é o caudal líquido em m^3 / s

T é a turbidez em g / l ou mg / l

Os rios como um dos mais poderosos agentes modeladores dos continentes.

Consoante os autores, estima-se que os rios depositem, anualmente, nos oceanos, entre 2,7 e 4,6 km^3 de sedimentos (transportados em suspensão) provenientes da erosão dos continentes. Mais de 1,1 km^3 / ano vêm da grande cordilheira dos Himalaias. O Sul e Sudeste asiático fornecem cerca de 70% do total dos sedimentos em suspensão que todos os anos são depositados nos oceanos (Goudie, 1995). As causas desta situação devem-se ao efeito combinado do relevo e do clima. Nesta região encontram-se as cordilheiras montanhosas mais elevadas do Planeta, com vertentes muito compridas e declivosas, sujeitas a precipitações torrenciais especialmente durante a monção de Verão. Essas precipitações atingem os valores máximos registados no Planeta (superiores a 10.000 mm / ano). Cada km^2 das regiões mais montanhosas do Sul e Sudeste asiático perde, por ano, mais de 500 toneladas de sedimentos finos, atingindo-se o valor exorbitante de 3000 toneladas/ km^2 .ano em algumas ilhas do arquipélago indonésio e filipino, cujo substrato vulcânico com abundantes materiais de projecção potenciam estes valores.

Não é assim de estranhar que os rios que drenam esta parte da Ásia sejam dos que maior caudal sólido transportam (quadro 8 e figura 10). Este depende muito do tipo de rochas e solos que constituem a bacia hidrográfica, bem como do coberto vegetal.

O rio Amarelo é o que atinge os valores mais elevados de sedimentos em suspensão (quadro 8), porque atravessa um vasto planalto composto por *loess*, que é um depósito pulverulento, de cor amarelo-acinzentada, formado por partículas finas de silte. As chuvas arrastam facilmente estes materiais em direcção ao rio que adquire, assim, a sua característica cor amarela.

Os valores anuais dos sedimentos perdidos pelas grandes bacias hidrográficas, escondem variações mensais e até diárias importantes, já que a capacidade de

transporte sedimentar dos rios varia em função do seu caudal. Por isso, é durante as cheias que se dão os maiores acarreios sedimentares em direcção aos oceanos.

Quadro 8

Sedimentos (em suspensão) transportados anualmente pelos rios das grandes Bacias Hidrográficas do Planeta

Rios	Caudal sólido (kg/s)	Total de sedimentos em suspensão (milhares de T/ano)	Degradação específica (T/km ² .ano)
Amarelo	34.149	1.076.922	1.398,6
Bramaputra	31.930	1.006.938	1.736,1
Amazonas	30.013	946.485	153,9
Ganges	20.892	658.854	672,3
Yang-Tsé Kiang	15.945	502.848	259,2
Mississipi	9.799	309.015	94,5
Indo	8.969	282.852	291,6
Orenoco	6.611	208.494	210,6
Shatt-el-Arab	5.972	188.325	251,1
Mekong	5.073	159.975	202,5
Orange	4.803	151.470	148,5
Colorado	4.274	134.784	210,6
Paraná	3.392	106.974	37,8
Nilo	3.295	103.896	35,1
Mackenzie	3.099	97.740	54,0
Zambeze	2.877	90.720	75,6
Danúbio	2.150	67.797	83,7
Yukon	1.942	61.236	72,9
Amur	1.584	49.950	27,0
Níger	1.347	42.471	35,1
Zaire	1.308	41.256	10,8
Murray	998	31.482	29,7
Colúmbia	918	28.944	43,2
Volga	809	25.515	18,9
Jenissei	442	13.932	5,4
Obi	428	13.500	5,4
Lena	416	13.122	5,4
Grande	344	10.854	16,2
Kolyma	164	5.184	8,1
Chari	151	4.752	5,4
S.Lourenço	88	2.781	2,7
Dniepre	43	1.350	2,7

T – Toneladas

Fonte: Summerfield, 1991, p. 385

3.2. Os tipos de leitos fluviais

A modificação do canal fluvial ao longo do perfil longitudinal e sua relação com os processos fluviais. Os elementos morfológicos dos fundos de vale: terraços fluviais e leitos fluviais. A “área de influência dos rios”: do canal fluvial à base dos terraços fluviais e suas implicações no ordenamento do território. Noção de corredor fluvial. Os diferentes leitos dos rios e sua dependência dos elementos do regime fluvial: leito maior ou de cheia (cheias de pequena magnitude), leito de cheia excepcional (cheias de grande período de retorno), leito ordinário, aparente ou menor (caudal de “margens plenas” ou de pré-transbordo) e leito de estiagem (caudais mínimos característicos ou de estiagem). Metodologias de reconhecimento no campo (morfológicas e fitogeográficas) dos vários leitos fluviais.

Trabalho prático

Escoamento fluvial: quantificação e interpretação dos elementos dos regimes fluviais

As fontes documentais utilizadas neste trabalho prático são: “Escoamentos (até 1984-85)” e “Anuários Hidrológicos”, publicados pela Direcção-Geral de Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos e os dados disponíveis na Internet, no *site* do Instituto da Água em <http://snirh.inag.pt/>, referentes às estações hidrométricas de Portugal continental.

Antes do trabalho prático são explicadas aos alunos todas as informações contidas nestes documentos e quais as suas aplicações.

Os regimes fluviais definem o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas. Dos elementos que caracterizam um regime fluvial (caudal, (ir)regularidade, variações estacionais, cheias, estiagens e caudal sólido) são analisados os cinco primeiros, pelo facto de não existirem registos sistemáticos dos caudais sólidos nas estações hidrométricas em Portugal.

1. O caudal

1.1. O método dos Coeficientes Hidroclimáticos (Probst e Tardy, 1985) permite definir as variações interanuais dos caudais, bem como o número de anos secos, normais e húmidos ocorridos numa determinada bacia hidrográfica.

Metodologia:

a) cálculo da média da série de valores (Q =módulo), que será a medida de tendência central da série;

b) selecção dos valores do ano mais seco (Q_m) e do ano mais húmido (Q_M);

c) divisão da série em classes, a partir das seguintes operações $(Q-Q_m)/3$ e $(Q_M-Q)/3$, para o cálculo do intervalo de classe (ic) dos anos com caudais inferiores (ic_m) e superiores à média (ic_M), respectivamente;

d) para a definição dos valores-limite de cada classe, efectuam-se as operações $Q_m+ic_m=Q_1$, $Q_1+ic_m=Q_2$, $Q_2+ic_m=Q$ (média) e $Q+ic_M=Q_3$, $Q_3+ic_M=Q_4$, $Q_4+ic_M=Q_M$;

e) definem-se, assim 6 classes (3 acima e 3 abaixo da média), a saber:

valores-limite	tipo de ano	coeficiente hidroclimático
Qm a Q1	extremamente seco	0
Q1 a Q2	seco	20
Q2 a Q	moderadamente seco	40
Q a Q3	moderadamente húmido	60
Q3 a Q4	húmido	80
Q4 a QM	extremamente húmido	100

f) classificação de todos os anos da série consoante o seu caudal.

1.2. Este método permite elaborar histogramas de frequência, representando o número de anos pertencentes a cada classe.

1.3. Permite igualmente calcular o Coeficiente de Achatamento da série de caudais anuais (AG)

$$AG = \frac{(nH + nS)}{N} 0,5 + \frac{(nEH + nES)}{N} 1 \quad \text{em que,}$$

nH e nS representam o nº de anos húmidos e secos, respectivamente, e nEH e nES representam o nº de anos extremamente húmidos e extremamente secos, respectivamente; N é o nº total de anos da série.

Quando AG tende para 0, o histograma é alongado, existindo, por isso, um grande nº de anos com caudais próximos da média; quando AG tende para 0,5, o histograma é achatado, existindo então uma grande dispersão de anos pelas várias classes.

2. (Ir)regularidade

A variação interanual dos caudais pode ser definida utilizando:

2.1. Amplitude (ou intervalo) de variação

Corresponde à diferença entre o ano de caudal mais elevado e o ano de caudal mais baixo ($Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}$).

2.2. Coeficiente de flutuação

Corresponde à razão entre o ano de caudal mais elevado e o ano de caudal mais baixo ($Q_{\text{máx}} / Q_{\text{mín}}$).

2.3. Coeficiente de variação (%)

Utiliza todos os valores da série (σ / Q) x 100, em que σ é o desvio padrão e Q é a média dos caudais.

2.4. Coeficiente de irregularidade intrínseca

$$I = 1/2 (Q85 - Q15) / Q$$

em que:

I é o coeficiente de irregularidade intrínseca,

Q85 é o caudal correspondente a 85% da série de caudais classificados anuais,

Q15 é o caudal correspondente a 15% da série de caudais classificados anuais,

Q é o caudal médio.

Quando o valor de I é de 0,2 o curso de água é regular, quando o valor de I é de 0,8 o curso de água é irregular.

3. Variações estacionais dos caudais

Permite classificar o tipo de regime, através dos coeficientes mensais dos caudais (cmc). A média da série de valores mensais, que corresponde ao caudal médio anual, é igualada a 1. Os cmc correspondem à razão entre os caudais médios mensais e a média anual ($Q_{\text{mensal}} / Q_{\text{anual}}$) x 1.

4. Estiagens

Apresentam-se os métodos para a definição da estiagem:

4.1. caudal médio diário inferior a 20 ou 25% do caudal médio anual, para séries de, pelo menos, 30 anos;

4.2. caudal médio diário igual ou inferior ao caudal mínimo característico (Q_{mc}), que corresponde ao caudal igualado ou excedido em 355 dias no ano;

4.3. caudal mínimo diário anual, ocorrido em cada ano, considerado para a definição da severidade das estiagens, bem como do respectivo período de retorno;

4.4. nos regimes sazonais, considera-se o número de meses ou dias com caudal nulo;

4.5. quando o rio se encontra no leito de estiagem (este método implica trabalho de campo, permitindo definir o caudal máximo de estiagem).

Após a discussão e escolha dos métodos a utilizar no exercício, as estiagens são definidas e classificadas quanto à época de ocorrência e à duração (em dias ou meses).

4.6. Índice de Escoamento de Base (IEB)

$$\text{IEB} = (\text{Q mensal mais baixo} / \text{Q médio anual}) \times 100$$

Este índice permite avaliar a importância das reservas de água subterrânea da bacia hidrográfica, na manutenção do escoamento durante a época do ano de maior escassez. Um índice com valor médio de 100 (ou perto) indica que o caudal se mantém constante ao longo do ano, enquanto um valor de 0 indica que o curso de água é temporário.

5. Cheias

A noção de cheia não é, em geral, apresentada de um modo rigoroso. Apresentam-se alguns dos métodos mais utilizados:

5.1. o caudal ultrapassa um múltiplo (o quádruplo ou o quintúplo) do módulo, em que o módulo é o caudal médio, para séries de, pelo menos, 30 anos;

5.2. o caudal ultrapassa o valor do 9º decil do mês de maior caudal, para séries de, pelo menos, 30 anos;

5.3. o caudal atinge ou ultrapassa o caudal máximo característico (QMc), que corresponde ao caudal igualado ou excedido só em 10 dias no ano;

5.4. apenas o caudal máximo instantâneo, ocorrido em cada ano, é considerado para a definição da magnitude ou potência das cheias, bem como do respectivo período de retorno;

5.5. o rio transborda em relação ao seu leito ordinário (este método implica trabalho de campo, permitindo definir o caudal mínimo de cheia).

Após a discussão e escolha dos métodos a utilizar no exercício, as cheias são definidas e classificadas quanto:

- a) ao número de pontas de cheia (simples ou complexas),
- b) à velocidade de progressão (rápidas ou progressivas),
- c) tempo de duração (em dias),
- d) período de retorno (em anos).

IV - AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1. A dependência das águas subterrâneas do substrato geológico

1.1. Os meios de circulação subterrânea da água

As águas subterrâneas são alimentadas pela infiltração, uma das componentes do ciclo hidrológico; movem-se no subsolo através da percolação entre os espaços vazios das formações geológicas e alimentam rios e lagos: o subsistema hidrológico subterrâneo é, pois, aberto. A gravidade é a principal fonte de energia do constante movimento das águas subterrâneas, ainda que mais lento do que o das águas superficiais: enquanto a velocidade das águas dos rios é medida em m/s, a das águas subterrâneas é medida em m/dia.

No processo de infiltração no subsolo a água utiliza quatro tipos de espaços vazios, designados por:

meios de circulação da água	{	- poroso - fissurado - cársico - vacuolar
-----------------------------------	---	--

Os meios porosos são característicos das formações não consolidadas onde existem espaços vazios entre os grãos dos minerais. Os meios fissurados encontram-se em qualquer tipo de rocha que seja cortada por descontinuidades diversas, como fracturas, falhas, áreas de esmagamento, ou planos de estratificação. Os meios cársicos são característicos das formações carbonatadas onde a actividade química das água dissolve e remove as substâncias dissolvidas, formando buracos. Os meios vacuolares encontram-se nas rochas vulcânicas, devido às bolhas de gás aprisionadas na lava durante a sua deposição.

Estes espaços vazios podem ser quantificados, determinando o volume de água que uma formação geológica pode conter (porosidade).

1.2. A porosidade e a permeabilidade

As duas propriedades físicas das formações geológicas que controlam a quantidade e o movimento das águas subterrâneas: porosidade e a permeabilidade.

A porosidade ou capacidade de retenção de água das formações geológicas (medida em %) é a relação entre o volume de espaços vazios de uma formação geológica e o volume total dessa formação. Atinge os valores mais elevados nas formações não consolidadas (onde cresce com a diminuição da textura) e diminui com o aumento da

compactação, coesão, cimentação das rochas e com o desenvolvimento do metamorfismo. Exemplos.

A porosidade efectiva: volume de água que pode drenar livremente de uma formação geológica saturada, dividido pelo volume total da formação. Por definição é sempre menor que a porosidade e quantifica a água disponível.

A permeabilidade é a capacidade das formações geológicas se deixarem atravessar pela água. Depende da dimensão dos espaços vazios, ou seja do número e largura dos poros, buracos ou fendas existentes no subsolo e não do seu volume total. A unidade de medida é o cm^2 ou o darcy ($1 \text{ darcy} = 10^{-8} \text{ cm}^2$). A lei de Darcy. Noção de conductividade hidráulica. Definição do grau de permeabilidade das principais rochas sedimentares, magmáticas e metamórficas e da sua variação ao longo do tempo.

1.3. Classificação das formações geológicas quanto ao conteúdo e capacidade de cedência de água

As formações geológicas, consolidadas (rochas) ou não (sedimentos, materiais de projecção vulcânica) dividem-se em quatro grupos distintos quanto à sua capacidade de conter e ceder água: aquíferos, aquíferos, aquícludos e aquífugos.

Os aquíferos: formações geológicas que permitem a circulação e armazenamento de água nos seus espaços vazios, possibilitando o seu aproveitamento pelo Homem em quantidades economicamente apreciáveis. Os melhores aquíferos são as formações porosas, de elevada permeabilidade situadas em áreas deprimidas (fundos de vale, depressões), para onde a água converge, e que funcionam como “esponjas”, e os calcários carsificados, onde condutas e grutas naturais funcionam como reservatórios subterrâneos de água.

Podem existir vários aquíferos sobrepostos, pelo que a investigação e gestão dos recursos hídricos subterrâneos deve ser feita a partir de unidades designadas sistemas aquíferos. Um sistema aquífero é um domínio espacial, limitado em superfície e em profundidade, no qual existe um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si.

Os aquíferos: formações geológicas que contêm água, mas cuja transmissão é extraordinariamente lenta, não servindo por isso para a extracção da água em quantidades economicamente rentáveis, mas podendo desempenhar um papel importante na recarga dos aquíferos adjacentes. Exemplos.

Os aquícludos: formações geológicas que contêm água, podendo ir até à saturação, mas não a transmitem, por possuírem uma capacidade de retenção muito forte, impossibilitando assim a sua extracção. Exemplos.

Os aquífugos: formações geológicas que não contêm água. Exemplos.

2. As toalhas aquíferas

2.1. Tipos de toalhas aquíferas

As zonas de arejamento e de saturação do subsolo. A primeira é a parte do subsolo onde os interstícios se encontram completos por ar e por água; a segunda é a parte da formação aquífera onde todos os vazios, independentemente da sua dimensão, estão preenchidos com água. A importância da zona de saturação, como fonte importante do abastecimento de água (contem 99% de toda a água doce não gelada existente no Planeta). Os aquíferos, como formações geológicas permeáveis saturadas e as toalhas aquíferas, como as acumulações de água contidas nos aquíferos. Noção de nível hidrostático, nível de saturação ou superfície piezométrica, e sua relação com a superfície topográfica. Classificação das toalhas aquíferas (os aquíferos que as contêm tomam as mesmas designações):

tipos de toalhas aquíferas	{	- freática ou livre
		- confinada, cativa ou artesianiana
		- semi-confinada

A toalha freática é a parte superior da zona de saturação. Está próxima da superfície topográfica, podendo ser facilmente atingida pelos poços domésticos. É delimitada, na base, por uma camada impermeável que impede a continuação da infiltração da água em profundidade, mas, entre o nível superior da toalha freática e a superfície topográfica não existe nenhuma camada impermeável que a proteja de eventuais contaminações devidas às actividades humanas que se processem à superfície. À superfície freática corresponde a pressão atmosférica e a sua recarga é feita em toda a extensão do afloramento do aquífero freático (figura 11).

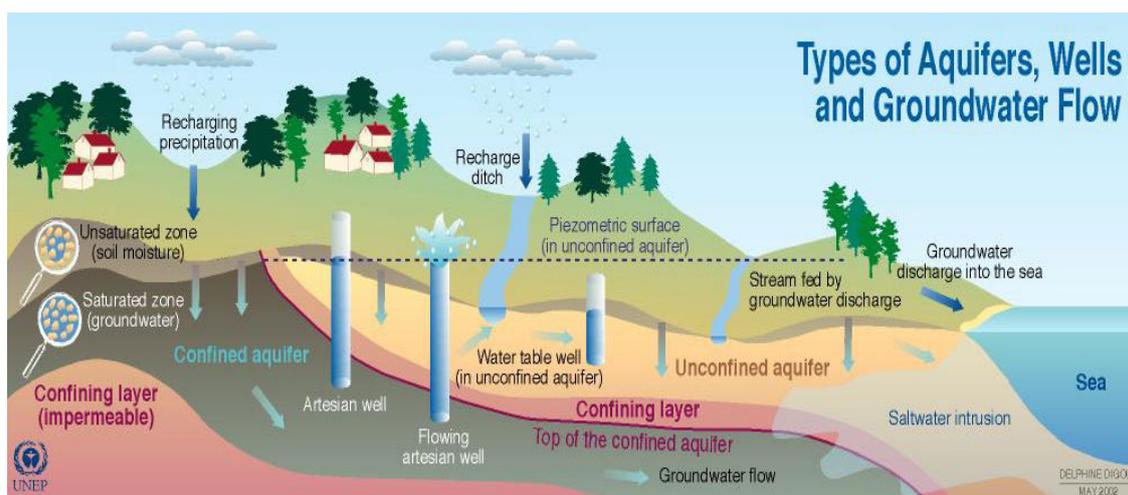
Existe um caso particular das toalhas freáticas: as toalhas suspensas, que surgem quando uma formação impermeável circunscrita aparece na zona de arejamento, dando origem à retenção de águas de infiltração acima dessa formação.

As toalhas artesianas encontram-se limitadas, no topo e na base, por formações impermeáveis (figura 11). Toda a espessura do aquífero está saturada de água e a pressão no seu interior é superior à atmosférica. Se uma fenda natural ou um furo artificial atinge a toalha artesianiana, a água sobe, podendo ultrapassar a superfície topográfica se a superfície piezométrica da toalha artesianiana for superior à da superfície topográfica (fenómeno de artesianismo positivo).

As condições geológicas para a existência dos aquíferos artesianos: sequência de formações permeáveis intercaladas por formações impermeáveis; essas formações

devem estar inclinadas nos seus bordos e expostas à superfície, de modo a ocorrer a recarga dos aquíferos; precipitação e drenagem superficial suficiente para manter a alimentação dos aquíferos.

Quando uma das camadas que limitam o aquífero é semi-permeável, o aquífero pode perder ou receber água através dela (fenómeno de drenância). A toalha aquífera é, neste caso, semi-confinada.



Source: Environment Canada, 2001 (Adapted from: <http://www.ec.ca/water/index.htm>).

Figura 11 – Tipos de aquíferos (em: <http://freshwater.unep.net/>).

2.2. As nascentes

As águas subterrâneas podem atingir a superfície por variados processos. Principais tipos de nascentes: de gravidade, de contacto, de falha, de fissura, vaclusianas. Nascente de gravidade: nascente que emerge para a superfície devido apenas ao facto dessa superfície interceptar o nível do aquífero. Nascente de contacto: nascente em que a água flui de uma formação permeável subjacente a uma formação relativamente impermeável. Nascente de falha: nascente alimentada por água subterrânea profunda que emerge de uma falha de grande dimensão. Nascente de fissura ou de fractura: nascente que flui da fissura ou da fractura de uma rocha. Nascente vaclusiana: ressurgência em regiões cársticas que é controlada por um sifão natural e com funcionamento intermitente.

2.3. As águas subterrâneas e a vulnerabilidade à contaminação

Noções de contaminação e de poluição da água: “Contaminação é o resultado da descarga de elementos, compostos ou outras substâncias em concentração superior à

normal no local de descarga; quando a contaminação tem capacidade tóxica potencial designa-se por poluição.” (...) “Elemento tóxico é aquele que quando ingerido ou absorvido provoca perturbações metabólicas de qualquer natureza, sintomas de envenenamento e, eventualmente, a morte” (Fraústo da Silva, 1994, p.87).

A vulnerabilidade à contaminação como uma propriedade intrínseca dos aquíferos: para que haja risco é necessária a existência de cargas poluentes. A relação directa entre a permeabilidade e a vulnerabilidade à contaminação e a relação inversa com a persistência das substâncias contaminantes.

O risco de contaminação e as áreas de recarga dos aquíferos (infiltração máxima): o papel do ordenamento do território.

Trabalho prático

Iniciação à leitura do Mapa Hidrogeológico

Os documentos utilizados são as folhas 7 e 8 (as únicas publicadas) do Mapa Hidrogeológico de Portugal à escala 1 / 200.000 e as folhas da Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia à escala 1 / 100.000 (Sistemas Aquíferos e Vulnerabilidade à Contaminação) e respectivas notícias explicativas.

Na aula dedicada a este exercício é feita a explicação da legenda do mapa hidrogeológico (estrutura organizativa, conteúdos temáticos, símbolos e cores) e são realçadas as informações que este documento fornece para o ordenamento do território.

V - A ÁGUA E A HUMANIDADE

1. Consequências da intervenção humana no sistema hidrológico

1.1. A influência humana no ciclo da água

A intervenção humana no ciclo da água tem como objectivo aproveitar a água doce disponível nos continentes, para as diversas actividades humanas, travando ou desviando, por vezes, o seu percurso, antes dela atingir os mares e oceanos. Essa intervenção faz-se, directamente, numa das componentes do ciclo hidrológico, o escoamento e, indirectamente, na evaporação (criação de lagos artificiais, alargamento de perímetros de rega).

A influência humana no ciclo da água remonta à sedentarização do Homem que, entre outras necessidades, levou à irrigação dos terrenos agrícolas. Os primeiros trabalhos de irrigação conhecidos (obras de protecção contra as cheias e canais de rega), efectuados pelos Sumérios, datam de há 7500 anos, na região da antiga cidade de Ur, nas margens do Rio Eufrates (actual Iraque). Ao mesmo tempo, desenvolviam-se outras civilizações, nas margens de grandes rios: Nilo, no Egipto, Indo e Ganges, no Paquistão e Índia, e Amarelo e Yang Tsé-Kiang, na China.

A intervenção humana no ciclo da água começou assim por se fazer à escala local, mas à medida que as diversas civilizações se iam desenvolvendo, passou a ter efeitos à escala regional.

Porém, é no último século, com a construção de grandes barragens, transvases, ligação artificial de grandes bacias hidrográficas e completa artificialização do escoamento em muitas outras, que a intervenção humana directa no ciclo da água começa a ser visível à escala do Planeta. Assim, no final do século XX, a capacidade de armazenamento de água das albufeiras das barragens já construídas (4500 km³) excede, em mais do dobro, a água contida, num dado instante, em todos os rios do Planeta (2120 km³). Ou seja, o Homem tem, actualmente, a capacidade de armazenar, nos continentes, cerca de 17% da água escoada por todos os rios do Planeta durante um ano.

1.2. Os impactes das grandes barragens

As grandes barragens (altura > 15m) com albufeira e sua distribuição geográfica. O país das barragens: a China, com 52% do total mundial.

Os impactes das barragens dependem de vários factores, como a profundidade e dimensão da albufeira e a gestão da água armazenada, em função de utilizações simples ou múltiplas (hidroelectricidade, irrigação, controlo de cheias, lazer...).

Os impactes afectam, por um lado, a albufeira e a sua área envolvente e, por outro, o curso de água a jusante da barragem. Porém, no caso dos transvazes elas afectam outras bacias hidrográficas, que não apenas aquela onde foram construídas.

Principais impactes das grandes barragens:

a) Impactes no balanço hídrico da bacia

- formação de um lago artificial
- aumento da evaporação (albufeira)
- aumento da infiltração e da recarga dos aquíferos (albufeira)
- diminuição da recarga dos aquíferos a jusante, devido à diminuição das cheias

b) Impactes no regime fluvial

- diminuição do escoamento a jusante da barragem
- diminuição da variabilidade dos caudais (poder regulador)
- diminuição do número de cheias
- aumento dos caudais mais baixos
- deposição de sedimentos na albufeira
- diminuição do caudal sólido a jusante da barragem

c) Impactes no clima local

- aumento da humidade atmosférica, na área da albufeira e nos perímetros de rega
- aumento da frequência dos nevoeiros
- diminuição das amplitudes térmicas na área da albufeira
- aumento da velocidade do vento, devido à diminuição do atrito e às diferenças de aquecimento entre a água e a área emersa

d) Impactes na tectónica local

- efeito de carga do reservatório de água
- lubrificação das falhas (albufeira) através da infiltração da água
- aumento da actividade sísmica

e) Impactes na morfologia do canal fluvial

- estreitamento e aprofundamento do canal fluvial a jusante da barragem
- diminuição da inclinação do canal fluvial e da velocidade do escoamento

f) Impactes na qualidade da água

- águas libertadas do fundo das albufeiras podem ser anóxicas (devido aos processos de decomposição), podendo ser tóxicas para a vida aquática
- águas de superfície, mais quentes, podem levar ao crescimento de grandes quantidades de algas
- águas de superfície turbinadas podem levar a situações de sobre-saturação de oxigénio e provocar a morte de peixes
- diminuição da turbidez, devido à deposição dos materiais em suspensão na albufeira, melhora a penetração da luz, levando a um aumento da fotossíntese

g) Impactes biológicos

- diminuição das situações de transbordo diminui os nutrientes transportados pelos cursos de água
- efeito moderador da albufeira na temperatura das águas pode afectar espécies de peixes que requerem diferenças térmicas específicas para a desova
- modificação do equilíbrio das espécies piscícolas (se as águas são demasiado frias há espécies que deixam de se reproduzir; enquanto outras beneficiam do facto de os seus ovos necessitarem de águas frias)
- introdução de novas espécies piscícolas
- desenvolvimento generalizado da vegetação no leito menor (mouchões) ou nas suas margens, devido à diminuição do escoamento e das cheias bem como ao aumento dos caudais de estiagem

h) Impactes no litoral

- a diminuição da capacidade de transporte de sedimentos pelos cursos de água, devido à diminuição das cheias e ao efeito de “travagem” da vegetação colonizadora do leito menor, leva a um défice sedimentar no litoral
- a diminuição da dinâmica fluvial leva à migração dos bancos dos deltas submarinos para montante
- emagrecimento das praias
- aceleração da erosão costeira

i) Impactes na capacidade de uso do solo

- inundações de terras aráveis
- potencial aumento de outras
- aumento dos perímetros de rega
- aumento da produção agrícola e diversificação das culturas
- diminuição da fertilidade do solo, com o conseqüente aumento da utilização de fertilizantes
- aumento da salinização dos solos, nomeadamente nas regiões com balanço hídrico negativo

j) Impactes socio-económicos

- deslocação de populações
- submersão de localidades e monumentos
- aumento da produção energética
- modificações no sector agrícola (ver ponto anterior)
- potenciais modificações na indústria transformadora ligada ao sector agrícola
- aumento das actividades de lazer e desporto
- potencial diversificação das actividades económicas da região envolvente

2. A geopolítica da água

2.1. “Crise da água” no século XXI?

A noção de disponibilidade de água. Os principais problemas na disponibilidade dos recursos hídricos, no século XXI:

O primeiro problema é o da crescente escassez ou limitações à utilização da água em várias regiões do Planeta. Ligação com o Bloco Temático I: a quantidade de água existente no Planeta mantém-se praticamente constante (Princípio de Conservação da Água), qualquer que seja o uso que dela se faça e o ritmo a que se utilize. Contudo, as necessidades de água são cada vez maiores, por um lado, devido ao aumento brutal da população mundial neste último século, por outro, devido à evolução das sociedades rurais e agrícolas para urbano-industriais.

Considerando que o escoamento total (superficial + subterrâneo) de água doce no Planeta é de 44.540 km³/ano e que, no século XX, a população mundial aumentou mais de 3,5 vezes, constata-se que o escoamento por habitante, no ano 2000, é praticamente 1/4 do que existia 100 anos antes. No final do primeiro quartel do século XXI (ano 2025) esse valor ter-se-á reduzido para apenas 1/5.

Por outro lado, o crescimento económico tem levado a uma utilização crescente dos recursos hídricos. Entre 1900 e 1975, a utilização da água aumentou 20 vezes na indústria e 6 vezes na agricultura, estimando-se que, no primeiro quartel do século XXI, esse aumento, face aos valores de 1900, seja 92 vezes superior na indústria e 13 vezes na agricultura (Peixoto, 1989). O aumento dos padrões de vida, devido à evolução das sociedades rurais e agrícolas para as urbano-industriais, levou à triplicação da utilização do volume de água por habitante, no Planeta.

O segundo problema é o da irregularidade temporal da quantidade de água disponível e da ocorrência de fenómenos extremos, como as secas e as inundações, os quais afectam os níveis de produtividade e até de desenvolvimento de diversas economias. As catástrofes naturais ligadas à água são as que provocam um maior número de vítimas mortais e de prejuízos económicos no Planeta.

O terceiro problema é o de que a limitação do acesso à água não depende só da quantidade disponível, mas também da degradação da sua qualidade. Essa degradação (contaminação e, por vezes, a poluição) é devida, em grande parte, às águas residuais provenientes da actividade industrial e agrícola e dos usos domésticos. A poluição hídrica deve-se, fundamentalmente, aos excrementos, organismos patogénicos e detergentes (esgotos domésticos), aos adubos e pesticidas (efluentes agrícolas) e aos metais pesados, espumas, óleos e matéria orgânica oxidável (efluentes industriais).

O tratamento das águas residuais deve assim ser prioritário para uma utilização sustentável dos recursos hídricos. Também neste ponto se levantam algumas dificuldades, nomeadamente no tratamento de efluentes agrícolas pelo seu carácter difuso (águas de rega e das chuvas que se vão infiltrando levando consigo os pesticidas e os nitratos e fosfatos dos adubos) e, porque, “as águas residuais, mesmo as que são purificadas pelos métodos tecnológicos mais modernos, precisam, para serem recuperadas e voltarem a ser utilizadas de novo, ser diluídas em volumes 10 vezes maiores (...) de água pura, o que mostra o volume enorme de água doce que é necessário mobilizar para se conseguir a sua reciclagem” (Peixoto, 1989).

O quarto problema diz respeito às políticas de planeamento e gestão da água, muitas vezes inexistentes ou inadequadas, levando à utilização insustentável dos recursos hídricos de um dado país ou região (por exemplo, situações de sobre-exploração dos recursos hídricos existentes, em que a extracção de água supera a capacidade de recarga natural).

O quinto problema: a água não conhece fronteiras políticas ou divisões administrativas. Na sua circulação através dos continentes a água organiza-se em bacias hidrográficas, por vezes partilhadas por diversos países, mas não geridas de

forma integrada. Este problema prende-se com a soberania dos países em relação aos seus recursos hídricos, o que provoca, muitas vezes, situações de conflito entre Estados vizinhos. Esses conflitos podem degenerar em tensões políticas e militares, especialmente nos casos em que se conjugam o relacionamento político tradicionalmente difícil, o crescimento rápido da população e a escassez de água devido à seca do clima.

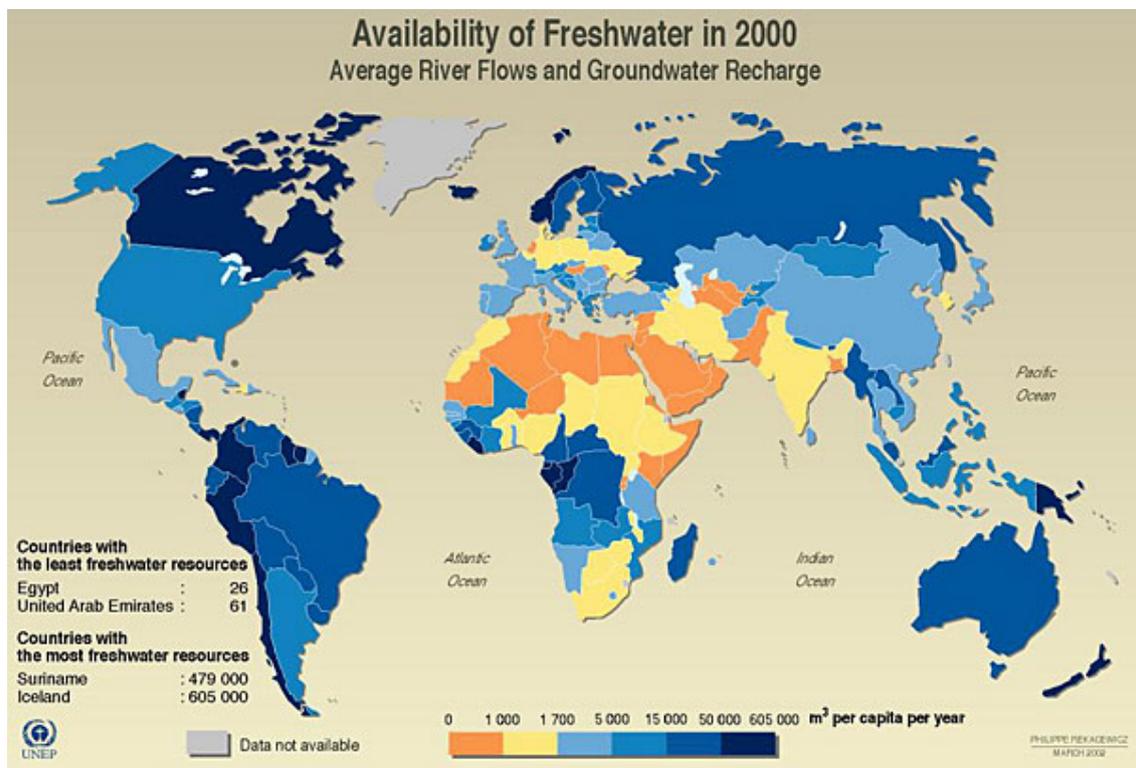
2.2. Os contrastes regionais na disponibilidade e grau de utilização da água: a situação na região euromediterrânea

A disponibilidade de água nos diferentes continentes (figura 12). Os enormes contrastes na região euromediterrânea: as “duas Europas” (uma de excesso e outra de escassez de água) e os países do Norte de África e Médio Oriente. Causas naturais e antrópicas. Salientam-se os casos privilegiados da Noruega com 85 478 m³/hab. ano e da Islândia com 609 319 m³/hab. ano. Pelo contrário, os países do flanco sul e leste do Mar Mediterrâneo, além de terem um balanço hídrico negativo atingem, no seu conjunto, as mais altas taxas de crescimento populacional do Planeta (cerca de 3,3% ao ano). Como consequência, 9 países desta área estão já abaixo do “mínimo vital de água”, ou seja, escassez crónica de água, definido em 1000 m³/hab. ano, pelo Water Resources Institute (Marrocos, Argélia, Tunísia, Líbia, Egipto, Israel, Jordânia e, ainda, Chipre e Malta). Os casos extremos são a Líbia, com 113 m³/hab. ano, Malta com 129 m³/hab. ano e Jordânia com 179 m³/hab. ano. Quando se atinge o valor de 100 m³/hab. ano é necessário recorrer a recursos hídricos não convencionais, como sejam a dessalinização e a reciclagem das águas residuais. Pode recorrer-se, também, à importação de água ou a recursos hídricos, actualmente, não renováveis, levando, neste caso, ao seu desaparecimento, como acontece na Líbia (aquíferos da região de Kufra, situados em pleno deserto do Sara).

A pressão sobre os recursos hídricos, de uma dada região, é definida por vários indicadores, de entre os quais se destaca o grau de utilização desses recursos, calculado através da razão entre as captações de água efectuadas e os recursos hídricos disponíveis. A partir deste indicador, o Banco Mundial definiu vários níveis de stress hídrico:

- stress hídrico baixo (países com um grau de utilização <10%);
- stress hídrico moderado (grau de utilização entre 10 e 20%), indica que a disponibilidade de água se tornou um factor limitante, sendo necessários investimentos e esforços para aumentar o fornecimento e diminuir a procura;

- stress hídrico médio-elevado (grau de utilização entre 20 e 40%), neste caso é absolutamente necessário o planeamento combinado do fornecimento e da procura, a fim de assegurar que as utilizações se mantenham sustentáveis; os países em desenvolvimento necessitam de avultados investimentos;
- stress hídrico elevado (grau de utilização >40%), indica uma grave escassez e, normalmente, uma dependência crescente da dessalinização e da extracção de água dos aquíferos superior à sua capacidade de recarga (sobre-exploração); é, neste caso, urgente um planeamento intensivo do fornecimento e da procura de água.



Source: World Resources 2000-2001, People and Ecosystems: The Fraying Web of Life, World Resources Institute (WRI), Washington DC, 2000.

Figura 12 – Disponibilidade de água doce, por habitante / ano, nos diferentes países, no início do século XXI (em: <http://freshwater.unep.net/>).

Na região euromediterrânea são 12 os países que já se encontram numa situação de stress hídrico elevado: Bélgica, Luxemburgo, Bulgária, Malta, Marrocos, Argélia, Tunísia, Líbia, Egípto, Jordânia, Israel e Síria. Destes, destacam-se a Líbia, Israel, Egípto, Jordânia e Malta que captam a água a um ritmo superior ao da sua renovação (grau de utilização, 801% e 122%, 117%, 115% e 109%, respectivamente). Estes países estão numa posição de clara insustentabilidade na utilização dos seus recursos hídricos.

As perspectivas futuras: no conjunto dos países árabes do flanco sul e leste do Mediterrâneo o crescimento populacional, estimado entre 1985 e 2025, é cerca de 5 vezes superior ao dos países do bordo norte do Mediterrâneo (Portugal, Espanha, França, Itália, ex-Jugoslávia e Grécia). O forte crescimento populacional dos países árabes exacerbará as disparidades existentes, podendo levar ao agravamento dos actuais conflitos: israelo-árabe (disputa das nascentes do rio Jordão nos Montes Golan e do aquífero dolomítico da Cisjordânia), disputa das águas do Nilo (entre o Egipto, o Sudão e a Etiópia) do Eufrates (entre a Turquia, a Síria e o Iraque) e ao desencadeamento de outros latentes, bem como ao reforço das correntes migratórias em direcção à Europa.

2.3. A evolução dos princípios orientadores do planeamento e gestão dos recursos hídricos

O enquadramento legal das questões relativas aos recursos hídricos transnacionais e a sua aceitação pelos diversos países pode ser um ponto de partida para um entendimento na partilha da água. Nos últimos 40 anos tem havido uma evolução positiva dos princípios orientadores acordados em diversas convenções. A Europa tem sido particularmente profícua neste domínio.

Nos anos 60, as consequências ambientais negativas do forte crescimento económico, registado após a II Guerra mundial, levaram à adopção de medidas legislativas no intuito de regulamentar a utilização dos recursos naturais, nos quais se inclui a água. Contudo, essas medidas (Regras de Helsínquia, 1966), imbuídas do espírito da época - o espírito da concorrência - favoreciam os países economicamente mais fortes evocando as suas necessidades imediatas em detrimento das necessidades futuras dos menos desenvolvidos. Sancionavam também as intervenções efectuadas pelos Estados situados no sector montante das bacias hidrográficas internacionais, não considerando os efeitos nos países a jusante.

Nos anos 70, a consciência de que as questões ambientais extravasam a fronteira dos Estados tornou-se mais forte, dando lugar àquilo a que podemos designar de espírito de cooperação. A Carta Europeia da Água, proclamada em 1968 pelo Conselho da Europa, é, aliás, já precursora deste espírito, ao afirmar no seu 12º ponto: "A água não tem fronteiras. É o recurso comum que necessita de uma cooperação internacional". A Acta Final da Conferência sobre Segurança e Cooperação na Europa, realizada em Helsínquia em 1975, refere que, os países signatários "devem, de acordo com o Direito Internacional e num espírito de cooperação, garantir que as actividades que realizam nos seus territórios não provocam degradação ambiental noutros países".

Nos anos 80, o agravamento dos problemas ambientais levou à aprovação de princípios orientadores mais incisivos, como transparece, claramente, no Acto Único Europeu (1987), onde são consignados os princípios da prevenção e da resolução dos problemas na fonte, o do poluidor-pagador e o da utilização racional dos recursos.

Nos anos 90, são introduzidos os princípios da precaução e do desenvolvimento sustentável (Tratado de Maastricht, 1992), que procuram incentivar um planeamento prudente e contrário a uma utilização excessiva dos recursos, a fim de não gorar as expectativas de desenvolvimento das gerações futuras.

No caso dos recursos hídricos, o seu planeamento e gestão deve ter como unidade geográfica-base, a bacia hidrográfica, quer na sua componente superficial quer subterrânea.

Já em 2000, é aprovada pelo Parlamento Europeu a Directiva Quadro da Água, que estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Saída de Campo

Na saída de campo pretende-se que os alunos tenham o contacto directo com a bacia hidrográfica, visualizando as respectivas características biofísicas, o seu funcionamento hidrológico e a forma como a ocupação humana do território interfere nesse funcionamento. Os documentos de apoio à saída de campo estão incluídos no Caderno de Documentos da Hidrogeografia, fornecido aos alunos no início do semestre.

Por uma questão de proximidade de Lisboa poderão existir saídas de campo com diferentes objectivos.

- Saída de Campo à Bacia Hidrográfica do Rio Sorraia.

Rio Sorraia, o afluente mais importante da margem esquerda do Tejo, em território português. O posicionamento da sua bacia hidrográfica no sector mais seco da região hidrográfica do Tejo e drenando dois tipos de substrato geológico (Maciço Antigo e Bacia Terciária do Tejo) com características hidrogeológicas muito diferentes. O Plano de Rega do Alentejo e a Obra de Rega do Vale do Sorraia: objectivos socio-económicos. Os impactes das barragens de Montargil e do Maranhão no regime fluvial, na dinâmica geomorfológica do fundo do vale e na ocupação e uso do solo.

- Saída de Campo às bacias hidrográficas da Região de Lisboa (Rio Trancão, Rio Jamor, Ribeira de Barcarena, Ribeira da Lage e Ribeira das Vinhas).

As pequenas bacias-vertente e a sua perigosidade relativamente às cheias rápidas que assolam a região de Lisboa. As características biofísicas das bacias favoráveis a essa perigosidade e o desordenamento do território como factor agravante essencial. As medidas mitigadoras das cheias já executadas.

Bibliografia

1. Notas Bibliográficas

Os títulos, que constituem a bibliografia, foram seleccionados tendo em atenção que a Hidrogeografia é uma cadeira de base. Como tal, foram excluídos os que se afiguravam de difícil compreensão para os alunos ou por serem demasiado técnicos ou demasiados específicos, exigindo conhecimentos mais avançados.

Também foram excluídos os relativos a Portugal, pelos motivos já referidos na Avaliação, e que fazem parte da bibliografia da disciplina de Geografia de Portugal. Exceptuam-se os que apresentam métodos ou técnicas de forma mais acessível aos alunos e os que fazem parte da bibliografia de apoio à Saída de Campo.

A maior parte destes títulos corresponde assim a livros ou capítulos de livros relativos aos vários temas abordados na disciplina.

A bibliografia foi organizada em duas partes: a geral e a temática. Da primeira fazem parte os títulos que abordam todos ou a maior parte dos conteúdos programáticos da disciplina; da segunda, os títulos específicos para cada tema.

Embora a Geomorfologia Fluvial não faça parte dos conteúdos temáticos da Hidrogeografia, por integrar a disciplina de Geomorfologia Geral (também obrigatória), há, todavia, uma excepção: os tipos de leitos fluviais, formas dependentes do regime fluvial, pelo que são citados alguns títulos nesta temática.

Apesar desta selecção, a bibliografia apresentada corre o risco de ser considerada demasiado extensa, para uma disciplina semestral. Contudo, estes títulos ajudaram a autora deste programa na preparação das suas aulas, pelo que não poderiam deixar de ser citados. Por outro lado, é sempre dada aos alunos uma orientação nas respectivas leituras, sendo-lhes fornecido um Caderno de Documentos de Apoio que, além de textos seleccionados, contém também esquemas, quadros e figuras.

Os títulos que aparecem a bold são os que se consideram que os alunos deverão obrigatoriamente conhecer durante a frequência da Hidrogeografia, por serem marcos nos estudos hidrológicos e estarem disponíveis na biblioteca de Geografia do C.E.G. / F.L.U.L., portanto facilmente acessíveis. Esses títulos são os seguintes, por ordem cronológica:

Pardé, M. (1968) - *Fleuves et Rivières*, 5ª ed., A.Colin, Paris.

Este livro, cuja 1ª edição data dos anos 30, é um marco entre os manuais de Hidrologia Fluvial, escritos no século XX. Conhecido e citado por vários autores quer das escolas francesa quer anglo-saxónica, sintetiza, de forma simples e clara, os principais tipos de regimes fluviais do Planeta e as suas características. Divide-se em

três partes: I - Os Factores dos Regimes, II - Noções de Hidrometria, III - Os Elementos dos Regimes.

Guilcher, A. (1965) - *Précis d'Hydrologie Marine et Continentale*, Masson & Cie, Éditeurs, Paris.

Um dos manuais de Hidrologia mais conhecidos da escola francesa, entre os geógrafos, acrescenta em relação ao de Pardé, os oceanos/mares e os lagos. Divide-se em três partes: I - Hidrologia Marinha, II - Hidrologia Lacustre, III - Hidrologia Fluvial. Organiza o estudo dos regimes fluviais por grandes zonas climáticas.

Gregory, K. e Walling, D. (1973) - *Drainage Basin Form and Process*, E. Arnold, London.

Um dos manuais essenciais sobre Bacias Hidrográficas, segundo a visão geomorfológica, escrito por dois dos autores mais consagrados da escola anglo-saxónica. Salienta, a dependência dos processos fluviais das características das bacias hidrográficas, com particular realce para as geomorfológicas. Divide-se em duas partes: A - Caracterização das componentes da Bacia Hidrográfica e Medição dos Processos Fluviais; B - Análise Qualitativa e Quantitativa da Bacia Hidrográfica e Variações Espaciais e Temporais da sua Dinâmica.

Loup, J. (1974) - *Les Eaux Terrestres. Hydrologie Continentale*. Masson & Cie, Éditeurs, Paris.

Provavelmente, o manual mais importante de Hidrologia Continental da escola francesa no século XX, acrescenta, em relação ao de Guilcher, o estudo das águas subterrâneas e dedica já um capítulo específico aos fenómenos hidrológicos extremos (cheias). Divide-se em três partes: I - Hidrologia Continental Geral; II - Hidrologia Continental das Regiões Temperadas e Frias; III - Hidrologia Continental das Regiões Quentes.

Lencastre, A. e Franco, F. (1984) - *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Embora escrito por dois engenheiros é o melhor manual em português acessível aos alunos de Geografia. Percorre todo o ciclo hidrológico e divide-se em 14 capítulos: I - Ciclo Hidrológico; II - Bacia Hidrográfica; III - Precipitação; IV - Intercepção; V - Evaporação; VI - Evapotranspiração; VII - Noções Elementares de Hidráulica; VIII - A Água no Solo e nas Rochas; IX - Infiltração, Percolação e Drenagem; X - Escoamento

Subterrâneo; XI - Escoamento de Superfície; XII - Balanço Hidrológico; XIII - Erosão do Solo; XIV - Transporte Sólido.

Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. (1988) - *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Editions, Singapore.

Ven Te Chow foi um dos mais proeminentes cientistas no domínio dos estudos hidrológicos. O seu livro *Handbook of Applied Hydrology* (1964) é um dos manuais de referência da Hidrologia do século XX. Este autor preparava um novo manual quando faleceu em 1981. Uma parte do livro *Applied Hydrology* integra assim textos escritos por este autor, contendo abundantes exemplos e exercícios ao longo dos vários capítulos. Divide-se em três partes: I - Processos Hidrológicos; II - Análise Hidrológica; III - Projectos Hidrológicos.

Newson, M. (1994) - *Hydrology and the River Environment*, Clarendon Press, Oxford.

Malcolm Newson é professor de Geografia Física na Universidade de Newcastle upon Tyne, tendo uma vasta experiência nos estudos hidrológicos. É um dos autores mais importantes da escola inglesa. Neste livro, o autor analisa a circulação da água e as bacias hidrográficas numa perspectiva holística e salienta a utilidade do conhecimento actual no campo da hidrologia ambiental na resposta prática à conservação dos recursos hídricos. O livro divide-se em duas partes: I - Hidrologia: pensar globalmente, agir localmente; Processos, Situações Hidrológicas Extremas e Influências Humanas no Escoamento; II - O Ambiente de Água Doce: Rios e Zonas Húmidas, Poluição da Água e Modelos e Planeamento.

Herschy, R.W. e Fairbridge, R.W. (edits), (1998) - *Encyclopedia of Hydrology and Water Resources*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Da responsabilidade de autores consagrados mundialmente, esta Enciclopédia, um volume com cerca de 800 páginas, é uma verdadeira preciosidade. De fácil consulta, aborda, por ordem alfabética, os principais temas no domínio da Hidrologia e dos Recursos Hídricos, sendo ilustrada com abundantes esquemas e figuras.

2. Bibliografia Geral

- Carvalho, R. (1998) - *Hidrologia e Recursos Hídricos*, vol.1 - O Ciclo Natural da Água, Ed.Estúdios Cor, S.A., Lisboa.
- Carvalho, R. (1998) - *Hidrologia e Recursos Hídricos*, vol.2 - O Ciclo de Utilização da Água, Ed.Estúdios Cor, S.A., Lisboa.
- Chorley, R.S. (ed.), (1971) - *Introduction to Geographical Hydrology*, Methuen & Co Ltd., London.
- Chow, Ven Te (1964) - *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill Inc., New York.
- Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. (1988) - *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Editions, Singapore.**
- C.I.L.F. (1978) - *Vocabulaire de L'Hydrologie et de la Météorologie*, La Maison du Dictionnaire, Paris.
- D.G.R.A.H. (1984) - *Curso Internacional de Hidrologia Operativa*, vols. I e II, Lisboa.
- DeBarry, P.A. (2004) - *Watersheds: Processes, Assessment and Management*, Wiley, New York.
- Dunne, T. e Leopold, L. (1978) - *Water in Environmental Planning*, W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- Garcez, L.N. e Alvarez, G.L. (1999) - *Hidrologia*, 2ª ed., Edit. Edgard Blucher, Ltda., São Paulo.
- Guyot, C. (1960) - *L'Hydrologie*, Presses Universitaires de France, Paris.
- Hersch, R.W. e Fairbridge, R.W. (edits), (1998) - *Encyclopedia of Hydrology and Water Resources*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.**
- Lencastre, A. e Franco, F. (1984) - *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.**
- Newson, M. (1994) - *Hydrology and the River Environment*, Clarendon Press, Oxford.**
- Ramos, C. (2005) – *Programa de Hidrogeografia*, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, DILIF – 3, Lisboa.
- Shaw, E.M. (1994) - *Hydrology in Practice*, 3ª ed., Chapman & Hall, London.
- Small, R.J. (1993) - *Geomorphology and Hydrology*, Longman, London.
- Villela, S.M. e Mattos, A. (1975) - *Hidrologia Aplicada*, Edit. McGraw Hill do Brasil Lda., São Paulo.
- Ward, R.C. (1975) - *Principles of Hydrology*, McGraw-Hill, 2ª ed., Maidenhead.
- Wilson, E.W. e Moore, J.E. (1998) – *Glossary of Hydrology*, American Geological Institute, Alexandria (Virginia).

3. Bibliografia Temática

I. A Hidrosfera e o Ciclo Hidrológico à Escala Global

Ensino teórico

- Baumgartner, A. e Reidell, E. (1975) - *The World Water Balance*, Elsevier, Amsterdam.
- Chahine, M.T. (1992) - The Hydrological Cycle and its Influence on Climate, *Nature*, 359, 373-380.
- Dussart, B. (1966) - *Limnologie - L' Etude des Eaux Continentales*, Gauthier-Villars, Paris.
- Gleick, P.H. (2003) – Global Freshwater Resources: Soft-path Solutions for the 21 st Century, *Science* 302, 1524-28.
- Lindh, G. (1992) - Hydrological and Water Resources Impact of Climate Change, in Jeftic, L.; Milliman, J.D.; Sestini, G. (edits.) - *Climate Change and The Mediterranean*, Edward Arnold, London, 58-93.
- Miller, D.H. (1977) - *Water at the Earth's Surface: an Introduction to Ecosystem Hydrodynamics*, Academic Press, New York.
- Peixoto, J.P. (1977) - *O Ciclo da Água em Escala Global*, Secretaria de Estado do Ambiente, Lisboa.
- Peixoto, J.P. (1989) - *A Água no Ambiente*, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, M.P.A.T., Lisboa.
- Rego, Z. C. (1977) - *A Água: a Escassez na Abundância*, Secretaria de Estado do Ambiente, Lisboa.
- Serra, L. (1984) - La Circulation des Eaux, in Vários - *La Terre, les Eaux, la Atmosphere*, Gauthiers-Villars, Paris, 287-303.
- Sestini, G. (1992) - Implications of Climate Changes for the Nile Delta, in Jeftic, L.; Milliman, J.D.; Sestini, G. (edits.) - *Climate Change and The Mediterranean*, Edward Arnold, London, 535-601.
- Strahler, A.N. (1977) - El Agua del Suelo y el Balance Hídrico, in *Geografía Física*, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 255-269.
- Wetzel, R.G. (1993) - *Limnologia*, 2ª ed., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- White, I.D.; Mottershead, D.N.; Harrison, S.J. (1993) - The Hydrosphere, in *Environmental Systems*, 2ª ed., Chapman & Hall, London, 125-157.
- Wilby, R.L. (1995) - Greenhouse Hydrology, *Progress in Physical Geography*, 19 (3), 351-369.

Ensino prático

- Brochet, P. e Gerbier, N. (1975) - *L'Evapotranspiration - Aspect Agrométéorologique. Évaluation Pratique de L'Evapotranspiration Potentielle*, S.M.M., Paris.
- Feio, M. (1991) - *Clima e Agricultura*, M.A.P.A., Direcção-Geral de Planeamento e Agricultura, Lisboa.
- Mendes, J.C. e Bettencourt, M.L. (1980) - *Contribuição para o Estudo do Balanço Climatológico de Água no Solo e Classificação Climática de Portugal Continental*, O Clima de Portugal, XXIV, INMG, Lisboa.

- Mendes, J.C. e Gonçalves, M.Z. (1980) - *Contribuição para o Estudo do Balanço Cronológico de Água no Solo, nos Meses e no Ano, em Portugal Continental*, O Clima de Portugal, XXV, INMG, Lisboa.
- Péguy, C. (1970) - *Précis de Climatologie*, Masson & Cie, Paris.
- Quintela, A.C. (1967) - *Recursos de Água Superficiais de Portugal Continental*, Dissertação de Doutoramento, I.S.T., Lisboa.
- Ramos, C. (2005) – Cálculo do Balanço Hidrológico segundo o Método de Thornthwaite – Mather, in *Programa de Hidrogeografia*, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, DILIF – 3, Lisboa, 41-45.
- Thornthwaite, C.W. e Mather, J.R. (1957) - *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*, Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, X (3), Centerton, New Jersey.

II. Os Sistemas de Drenagem dos Continentes: as Bacias Hidrográficas

Ensino teórico

- Amat, J.-P.; Dorize, L.; Le Coeur, Ch. (1996) - Histoire des Rivières, in *Éléments de Géographie Physique*, Bréal Éditions, Rosny, 397-409.
- Amoros, C. e Petts, G.E. (1993) - *Hydrosystèmes Fluviaux*, Masson, Paris.
- Bauer, B. (1990) - Drainage Density - An Integrative Measure of the Dynamics and Quality of Watersheds, *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 24, 261-272.
- Blij, H.J. e Muller, P. (1993) - Slopes and Streams, in *Physical Geography of the Global Environment*, John Wiley & Sons, New York, 402-412.
- Chorley, R.S. (ed.), (1971) - *Introduction to Fluvial Processes*, Methuen & Co Ltd., London.
- Christofoletti, A. (1969) - Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas, *Notícia Geomorfológica*, 9 (18), 35-64.
- Christofoletti, A. (1980) - *Geomorfologia*, 2ª ed., Edgar Blucher Lda., São Paulo.
- Christofoletti, A. (1987) - Análise Topográfica da Bacias de Drenagem, *Geociências*, 5-6, 1-29.
- Christofoletti, A. (1988) - *Geomorfologia Fluvial*. Vol.1 - O canal fluvial. 2ª ed., S. Paulo.
- García-Ruiz, J.M.; Puigdefábregas-Tomáz, J.; Creus-Novau, J. (1980) - Influencia de las Características Físicas de las Cuencas Hidrográficas en la Frecuencia e Intensidad de Crecidas, *Cuadernos de Investigación Geográfica*, VI (1-2), 19-36.
- Gardiner, V. e Park, C. (1978) - Drainage Basin Morphometry: Review and Assessment, *Progress in Physical Geography*, 2 (1), 1-35.
- Goudie, A. (1995) - The Fluvial Environment, in *The Changing Earth*, Blackwell, Oxford, 71-121.
- Gregory, K. e Walling, D. (1973) - *Drainage Basin Form and Process*, E. Arnold, London.**
- Gresswell, R.K. (1962) - *Rivers and Valleys*, Hulton Educational Publications Ltd., London.
- Hamblin, W.K., Christiansen, E.H. (2001) - River Systems, in *Earth's Dynamic Systems*, 9ª ed., Prentice Hall, New Jersey, 284-321.

- Jarvis, R.S. (1977) - Drainage Network Analysis, *Progress in Physical Geography*, 1 (2), 271-295.
- Knighton, D. (1984) - *Fluvial Forms and Processes*, Arnold, London.
- Leopold, L.; Wolman, M.; Miller, J. (1964) - *Fluvial Processes in Geomorphology*, W.H.Freeman, San Francisco.
- Mateu Bellés, J.F. (1989) - Ríos y Ramblas Mediterráneos, in Gil Olcina, A. e Morales Gil, A. (edits.), *Avenidas Fluviales e Inundaciones en La Cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, 133-150.
- Molchanov, A.A. (1971) - *Hidrologia Florestal*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Morisawa, M. (1985) - *Rivers, Form and Process*, Longman, London.
- Petts, G. (1983) - *Rivers*, Butterworths, London.
- Petts, G. e Foster, I. (1985) - *Rivers and Landscape*, Edward Arnold, London.
- Reis, E. (1996) - *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Richards, K. (1982) - *Rivers: Form, Process in Alluvial Channels*, Methuen, London.
- Rocheftort, M. (1963) - *Les Fleuves*, Presses Universitaires de France, Paris.
- Ronda, C.B.; Paya, A. C.; Gómez, C.E.G. (1989) - Características Fisiográficas, Parámetros Morfométricos e Hidrogramas Unitarios de Avenidas en las Cuencas de los Ríos Alicantinos, in Gil Olcina, A. e Morales Gil, A. (edits.), *Avenidas Fluviales e Inundaciones en La Cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, 211-240.
- Skinner, B. e Porter, S. (1992) - Streams and Drainage Systems, in *The Dynamic Earth*, 2ªed., John Wiley & Sons, New York, 241-268.
- Strahler, A.N. (1977) - Las Aguas de Escorrentía y de Saturación; Morfología Fluvial, in *Geografía Física*, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 449-501.
- Strahler, A.N. (1977) - Análisis Cuantitativo de las Formas de Erosión, in *Geografía Física*, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 521-542.
- Strahler, A.N. (1987) - El Trabajo Geológico de los Ríos, in *Geología Física*, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 412-442.
- Thompson, R.D.; Mannion, A.M.; Mitchell, C.W.; Parry, M.; Townshend, J.R.G. (1993) - Fluvial Processes and Fluvial Landforms, in *Processes in Physical Geography*, Longman, Scientific & Technical, New York, 191-233.
- Wharton, G. (1994) - Progress in the Use of Drainage Network Indices for Rainfall-Runoff Modelling and Runoff Prediction, *Progress in Physical Geography*, 18 (4), 539-557.
- White, I.D.; Mottershead, D.N.; Harrison, S.J. (1993) - The Catchment Basin, in *Environmental Systems*, 2ª ed., Chapman & Hall, London, 236-257.
- White, I.D.; Mottershead, D.N.; Harrison, S.J. (1993) - The Fluvial System, in *Environmental Systems*, 2ª ed., Chapman & Hall, London, 306-323.

Ensino prático

- Claver Farias, I. (coord.) - (1984) - *Guia para la Elaboracion de Estudios de el Medio Físico: Contenido y Metodologia*. 2ª ed., M.O.P.U., C.E.O.T.M.A., Madrid.

- D.G.R.A.H. (1981) - *Índice Hidrográfico e Classificação Decimal dos Cursos de Água de Portugal Continental* (2 volumes), M.A.O.P., Lisboa.
- FAO (1989) - *Manual de Campo para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Medidas y Prácticas para el Tratamiento de Pendientes*, Guia FAO Conservación, 13 (3), Roma.
- Jardí, M. (1985) - Forma de Una Cuenca de Drenaje. Análisis de las Variables Morfométricas que nos la Definen, *Revista de Geografía*, XIX, 41-68.
- Machado, M.J. (1991) - *Relatório para uma Aula Teórico - Prática de Caracterização Morfométrica de Bacias-Vertentes*, Departamento de Geografia, F.L.U.L., Lisboa.

III. Os Rios e seus Regimes

Ensino teórico

- Beven, K. e Carling, P. (edits.), (1989) - *Floods: Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications*, John Wiley & Sons, Chicester.
- Farquharson, F.A.K.; Meigh, J.R.; Sutcliffe, J.V. (1992) - Regional Flood Frequency Analysis in Arid and Semi-arid Areas, *Journal of Hydrology*, 138, 487-501.
- Frécaut, R. e Pagney, P. (1983) - *Dynamique des Climats et de L'écoulement Fluvial*, Masson, Paris.
- García-Ruiz, J.M.; Beguería Portugués, S.; López Moreno, J.I.; Lorente Grima, A.; Seeger, M. (2001) - *Los Recursos Hídricos Superficiales del Pirineo Aragonés y su Evolución Reciente*, Geoforma Ediciones, Logroño.
- Genovés, J.C. (1989) - Prevención y Control de Inundaciones, in Gil Olcina, A. e Morales Gil, A. (edits.), *Avenidas Fluviales e Inundaciones en La Cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, 509-516.
- Gordon, N.D.; McMahon, T.A.; Finlayson, B.L. (1994) - *Stream Hydrology*, John Wiley & Sons, Chicester.
- Guilcher, A. (1965) - *Précis d'Hydrologie Marine et Continentale*, Masson & Cie, Éditeurs, Paris.**
- Janson, M.B. (1989) - Les Regimes des Rivieres et leurs Transports en Suspension sous les Differents Climats, *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 25; 7-26.
- Loup, J. (1974) - *Les Eaux Terrestres. Hydrologie Continentale*. Masson & Cie, Éditeurs, Paris.**
- Martínez, J.M.S. (1989) - Papel de la Ordenación del Territorio en la Protección Frente a las Avenidas: Metodologías e Actuaciones, in Gil Olcina, A. e Morales Gil, A. (edits.), *Avenidas Fluviales e Inundaciones en La Cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, 509-516.
- Olcina, J. (1994) - *Riesgos Climáticos en la Península Ibérica*, Libros Penthalon, Madrid.
- Pardé, M. (1968) - *Fleuves et Rivières*, 5ª ed., A.Colin, Paris.**
- Penning-Rowsell, E. e Fordham, M. (edits.), (1994) - *Floods Across Europe*, Middlesex University Press, London.
- Pickering, K.T. e Owen, L.A. (1994) - Natural Hazards, in *An Introduction to Global Environmental Issues*, Routledge, London, 219-250.

- Poesen, J.W.A. e Hooke, J.M. (1997) - Erosion, Floods and Channel Management in Mediterranean Environments of Southern Europe, *Progress in Physical Geography*, 21 (2), 157-199.
- Summerfield, M.A. (1991) - *Global Geomorphology*, Longman, Scientific & Technical, New York.
- Thompson, R.D.; Mannion, A.M.; Mitchell, C.W.; Parry, M.; Townshend, J.R.G. (1993) - Surface Water Transfer in the Hydrologic Cycle, in *Processes in Physical Geography*, Longman, Scientific & Technical, New York, 60-65..
- Vários (1968) - *Études Hydrologiques et Géographiques*, Ed. Ophrys, Paris.
- Veiga da Cunha, L. (1982) - *As Secas. Caracterização, Impactos e Mitigação*, Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa.
- Verger, V.M.R. (1989) - Llos Llanos de Inundación, in Gil Olcina, A. e Morales Gil, A. (edits.), *Avenidas Fluviales e Inundaciones en La Cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, 243-283.

Ensino prático

- Beaumont, C.D. (1982) - The Analysis of Hydrological Time Series, *Progress in Physical Geography*, 6 (1), 60-100.
- Correia, F.N. (1984) - *Proposta de um Método para a Determinação de Caudais de Cheia em Pequenas Bacias Naturais e Urbanas*, I.T.H. 6, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- D.G.R.A.H. (1986) - *Dados Pluviométricos (1900-01 a 1984-85)*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- D.G.R.A.H. (1986) - *Escoamentos (até 1984-85)*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- D.G.R.A.H. (periódicos) - *Anuários Hidrológicos*, M.A.O.T., Lisboa.
- Elizaga Muñoz, E. (1986) - *Prevencion de Inundaciones. Los Mapas de Riesgos*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Gloor, R. (1978) - *Relations Pluies - Débits. Recueil des Principales Méthodes Utilisées*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Henriques, A.G. (1985) - Cálculo de Caudais de Cheia em Cursos de Água em Portugal com Base em Séries de Caudais Instantâneos Máximos Anuais, *Recursos Hídricos*, 6 (2), 59-68.
- Henriques, A.G. e Coelho D.C. (1980) - Extensão de Séries Hidrológicas Baseadas em Registos Incompletos, *Recursos Hídricos*, 1 (2), 45-60.
- I.N.A.G. - Site na Internet: <http://www.inag.pt>
- I.N.A.G. (periódicos) - *Exploração das Principais Albufeiras Públicas em Portugal Continental*, M.A.O.T., Lisboa.
- Jost, V. (1977) - *Méthodes Statistiques en Hydrologie*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.
- Loureiro, J.M. (1984) - Expressão para o Cálculo do Caudal Máximo de Cheia em Cursos de Água de Portugal, *Recursos Hídricos*, 5 (1), 53-78.
- Probst, J.L. e Tardy, Y. (1985) - Fluctuations Hydroclimatiques du Bassin D'Aquitaine au Cours des 70 Dernières Années, *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 26 (1), 59-76.

- Ramos, C. (2005) – Escoamento Fluvial: Quantificação e Interpretação dos Elementos dos Regimes Fluviais, in *Programa de Hidrogeografia*, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, DILIF – 3, Lisboa, 79-82.
- Shahin, M.; Van Oorschot, H.J.L.; De Lange, S.J. (1993) - *Statistical Analysis in Water Resources Engineering*, A.A. Balkema, Rotterdam.
- UNESCO (1976) - *World Catalogue of Very Large Floods*, UNESCO, Paris.
- UNESCO (1979) - *Discharge of Selected Rivers of the World*, vol.III, UNESCO, Paris.
- UNESCO (1983) - *International Legend for Hydrological Maps*, UNESCO, Paris.
- Wanielista, M.; Kersten, R.; Eaglin, R. (1997) - *Hydrology. Water Quantity and Quality Control*. 2ª ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Yevjevich, V. (1972) - *Probability and Statistics in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins.

IV. As Águas Subterrâneas

Ensino teórico

- Blij, H.J. e Muller, P. (1993) - Water in the Lithosphere, in *Physical Geography of the Global Environment*, John Wiley & Sons, New York, 393-401.
- Custódio, E. e Llamas, M.R. (1976) - *Hidrologia Subterrânea*, Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Franco, F. (1981) - Elementos de Hidrogeologia, in *Manual de Saneamento Básico* (Documento I.7), Direcção-Geral de Saneamento Básico, Edição para Inquérito, Lisboa.
- Hamblin, W.K. e Christiansen, E.H. (2001) - Groundwater Systems, in *Earth's Dynamic Systems*, 9ª ed., Prentice Hall, New Jersey, 322-357.
- Llopis Lladó, N. (1970) - *Fundamentos de Hidrogeologia Carstica*, Ed. Blume, Madrid.
- Lobo Ferreira, J.P.C.; Ciabatti, P.; Leitão, T.E.; Moinante, M.J.; Novo, M.E.; Oliveira, M.M.; Tore, C.S. (1995) - *Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal* (3 volumes), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Padilla, A.; Pulido-Bosch, A.; Mangin, A. (1994) - Relative Importance of Baseflow and Quickflow from Hydrographs of Karst Spring, *Ground Water*, 32 (2), 267-277.
- Skinner, B. e Porter, S. (1992) - Groundwater, in *The Dynamic Earth*, 2ªed., John Wiley & Sons, New York, 271-280.
- Strahler, A.N. (1987) - Aguas Superficiales y su Actividad Geológica, in *Geología Física*, Ed. Omega, S.A., Barcelona, 394-411.
- Thompson, R.D.; Mannion, A.M.; Mitchell, C.W.; Parry, M.; Townshend, J.R.G. (1993) - Subsurface Water Transfer in the Hydrologic Cycle, in *Processes in Physical Geography*, Longman, Scientific & Technical, New York, 53-59.
- Todd, D.K. (1980) - *Groundwater Hydrology*, 2ª ed., John Wiley & Sons, New York.

Ensino prático

Costa, F.E.; Brites, J.A.; Pedrosa, M.Y.; Silva, A.V. (1985) - *Notícia Explicativa da Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia* + 6 mapas à escala 1/100.000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Costa, F.E. (coord.), (1989) - *Notícia Explicativa da Carta Hidrogeológica do Sul de Portugal* + 2 mapas à escala 1/200.000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

V. A Água e a Humanidade

Ensino teórico

Anbalagan, R.; Singh, B.; Sharma, S. (1993) - Some Aspects of Environmental Impacts of Dam Reservoirs in Himalayan Region, in Chowdhury, R.N. e Siva Kumar, M. (eds.) - *Proceedings of the International Conference on Environmental Management. Geo-Water and Engineering Aspects*, A.A. Balkema, Rotterdam, 735-739.

Agudo, P.A.; Martínez Gil, F.J. (coords.), (1999) - El Agua a Debate desde la Universidad. Hacia Una Nueva Cultura del Agua, *Actas do 1º Congreso Ibérico Sobre Gestión y Planificación de Aguas*, C.S.I.C., Zaragoza.

Allan, J.A. e Radwan, L. (coords.), (1996) - Perceptions of the Values of Water and Water Environments, *Proceedings of the European Seminar on Water Geography*, London.

Aswathanarayana, U. (1995) - *Geoenvironment*, A.A. Balkema, Rotterdam.

Barraqué, B. (2000) - Are Hydrodinosours Sustainable? A Case Study on the Rhone-to-Barcelona Projected Water Transfer, *Proceedings of the Conference Shared Water Systems and Transboundary Issues with Special Emphasis on the Iberian Peninsula*, Luso-American Development Foundation, Lisboa, 369-388.

Beaud, M.; Beaud, C.; Bouguerra, M.L. (1993) - *Estado do Ambiente no Mundo*, Instituto Piaget, Lisboa.

Bethmont, J. (1980) - *Geografía de la Utilización de las Aguas Continentales*, Oikos-Tau, S.A. Ed., Barcelona.

Bethmont, J. (1992) - Pour une Politique de Gestion des Eaux dans L'aire Méditerranéenne, *Rivista Geografica Italiana*, 4, 575-594.

Bicciato, F. (1998) - Scarcity and Strategic Value of Water in the Mediterranean, in Conti, S. e Segre, A. (editors) - *Geo-Italy 3, Mediterranean Geographies*, Società Geografica Italiana, Roma, p.217-242.

Blanco, J.M.P. (1993) - Aspects Intersectoriels de la Planification et de L'Utilisation des Ressources Hydrauliques, *Cahiers - Options Méditerranéennes* 1 (1), CIHEAM, 7.1-7.14.

Boyd, M.J. (1993) - Does Onsite Detention Storage Reduce Total Catchment Flooding?, in Chowdhury, R.N. e Siva Kumar, M. (eds.) - *Proceedings of the International Conference on Environmental Management. Geo-Water and Engineering Aspects*, A.A. Balkema, Rotterdam, 393-399.

Caliandro, A.; Hamdy, A.; Lacirignola, C.; Catalano, M. (1993) - Environmental Impacts of Water Resource Development and Management, *Cahiers - Options Méditerranéennes* 1 (1), CIHEAM, 10.1-10.16.

- Chien, N. (1985) - Changes in River Regime After the Construction of Upstream Reservoirs, *Earth Surface Process and Landforms*, 10 (2) 143-160.
- Colas, R. (1977) - *La Pollution des Eaux*, 4ª ed., Presses Universitaires de France, Paris.
- Correia, F.N. (1984) - *Alguns Procedimentos Adoptados pelo Soil Conservation Service para o Estudo do Impacto da Urbanização nos Caudais de Cheia*, I.T.H. 9, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Correia, F.N. (2000) - Introduction to the Problems of Shared Watercourses and Transboundary Issues, *Proceedings of the Conference Shared Water Systems and Transboundary Issues with Special Emphasis on the Iberian Peninsula*, Luso-American Development Foundation, Lisboa, 23-41.
- Cunningham, W.P. e Cunningham, M.A. (2004) – Water: Resources and Pollution, in *Principles of Environmental Science*, 3ª ed., McGraw-Hill International Edition, New York, 229-258.
- Dézert, B. e Frécaut, R. (1978) - *L'Economie des Eaux Continentales. Aménagement et Environnement*, Ed. C.D.U. et SEDES Réunis, Paris.
- El-Zawahry, A.; El-Assiouti, I.; Emam, E.; El-Diddi, S. (1993) - Environmental and Health Impact of Irrigation and Drainage System in Egypt, in Chowdhury, R.N. e Siva Kumar, M. (edits.) - *Proceedings of the International Conference on Environmental Management. Geo-Water and Engineering Aspects*, A.A. Balkema, Rotterdam, 137-142.
- Evaristo da Silva, J. e Nunes Correia, F. (1996) - Recursos Hídricos em Bacias Internacionais no Espaço da União Europeia. *Actas do 3º Congresso da Água*, vol. II, A.P.R.H. e A.B.E.S., Lisboa, 147-160.
- FAO (s/data) - *O Homem e o Deserto. Estudos sobre a Desertificação*, Colecção Estudos Ecológicos, Ed. ITAU, Lisboa.
- Fernandez, W.; Chacón, R.E.; Melgarejo, J.W. (1986) - Modifications of Air Flow Due to the Formation of a Reservoir, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25 (7), 982-988.
- Fraústo da Silva, J.J.R. (1994) - A Poluição Ambiental. Questões de Ciência e Questões de Direito, in Amaral, D.F. e Almeida, M.T. (coords.) - *Direito do Ambiente*, Instituto Nacional de Administração, Lisboa, 83-115.
- George, D.J. (1992) - Rising Groundwater: a Problem of Development in Some Urban Areas of the Middle East, in McCall, G.J.H.; Laming, D.J.C.; Scott, S.C., *Geohazards (Natural and Man-Made)*, Chapman & Hall, London, 171-182.
- Ghio, M. (1995) - Les Activités Humaines Augmentent-elles les Crues?, *Annales de Géographie*, 581-582, 119-147.
- Hamdy, A. e Lacirignola, C. (1993) - An Overview of Water Resources in the Mediterranean Countries. *Cahiers, Options Méditerranéennes*, 1 (1), CIHEAM, 1.1-1.31.
- Henriques, A.G. (1994) - Impacte Ambiental nos Recursos Hídricos, in Partidário, M.R. e Jesus, J. (edits.) - *Avaliação do Impacte Ambiental*, Centro de Estudos de Planeamento e Gestão do Ambiente, Lisboa, 209-229.
- Henriques, A.G. (1994) - Impacte Ambiental de Aproveitamentos Hidráulicos, in Partidário, M.R. e Jesus, J. (edits.) - *Avaliação do Impacte Ambiental*, Centro de Estudos de Planeamento e Gestão do Ambiente, Lisboa, 285-336.

- Hughes, J.M.R. (1994) - The Use and Abuse of Wetlands, in Mannion, A.M. e Bowlby, S.R. - *Environmental Issues in the 1990s*, John Wiley & Sons, Chichester, 211-226.
- Lambley, D. e Cordery, I. (1993) - The Housing Market and the Urban Flood Control Policy, in Chowdhury, R.N. e Siva Kumar, M. (edits.) - *Proceedings of the International Conference on Environmental Management. Geo-Water and Engineering Aspects*, A.A. Balkema, Rotterdam, 447-453.
- L.N.E.C. (1983) - *Impacto das Actividades Humanas no Comportamento Hidrológico das Bacias Hidrográficas*, LNEC, Lisboa.
- Mannion, A.M. (1992) - The Environmental Impact of Agriculture in the Developed World and in the Developing World, in *Global Environmental Change*, Longman, Scientific & Technical, Harlow, 185-262.
- Mannion, A.M. (1994) - Acidification and Eutrophication, in Mannion, A.M. e Bowlby, S.R. - *Environmental Issues in the 1990s*, John Wiley & Sons, Chichester, 177-196.
- Maury, R. (1992) - L'idropolítica, un Nuovo Capitolo della Geografia Política ed Económica, *Rivista Geografica Italiana*, 4, 713-737.
- Newson, M. (1995) - *Land, Water and Development*, 2ª ed., Routledge, London.
- Pearce, F. (1992) - *The Dammed. Rivers, Dams, and the Coming World Water Crisis*, The Bodley Head, London.
- Pickering, K.T. e Owen, L.A. (1994) - Water Resources and Pollution, in *An Introduction to Global Environmental Issues*, Routledge, London, 133-158..
- Rocha, I. e Vieira, D.F. (1998) - *Água*, 2ª ed., Col. Ambiente, Porto Editora, Porto.
- U.N.D.R.O. (1986) - *El Agua, Recurso y Peligro*, U.N.D.R.O., Genebra.
- UNESCO (1977) - *Impacto da Urbanização e Industrialização no Planeamento dos Recursos Hídricos*, UNESCO, Lisboa.
- Vários (1998) - O Desafio das Águas. Segurança Internacional e Desenvolvimento Duradouro, *Nação e Defesa*, 86 (2ª série), Instituto de Defesa Nacional, Lisboa.
- Veiga da Cunha, L. (1994) - Recursos Hídricos na Europa, in *O Jardim Comum Europeu*, coord. T.Ribeiro, Quetzal ed., Lisboa, 277-351.
- Vlachos, E. (2000) - Translational Rivers and Hydrodiplomacy, *Proceedings of the Conference Shared Water Systems and Transboundary Issues with Special Emphasis on the Iberian Peninsula*, Luso-American Development Foundation, Lisboa, 43-65.
- Wathern, P. (edit.), (1992) - *Environmental Impact Assessment. Theory and Practice*, Routledge, London.

Saída de Campo

- Amaral, I. (1968) - As Inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na Região de Lisboa, *Finisterra*, 3 (5), 79-84.
- A.R.B.V.S. (1990) - Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia, 1959-1989, 30 Anos Servindo a Lavoura, in A.R.B.V.S., *Relatório e Contas. Exercício de 1989*, Coruche.
- Costa, P.C. (1986) - As cheias rápidas de 1967 e 1983 na Região de Lisboa, *Livro de Homenagem a Mariano Feio*, Lisboa, 5-28.
- Cunha, J.C. (1999) - *Estudo da Bacia Hidrográfica do Tejo, vol.1 - Caracterização Geográfica*, Associação de Telecentros Rurais de Portugal, Lisboa.

- Cunha, J.C. e Raposo, J.R. (1999) - *Estudo da Bacia Hidrográfica do Tejo, vol.4 - Balanço Hidrológico*, Associação de Telecentros Rurais de Portugal, Lisboa.
- Daveau, S. (1984) - Géographie Historique du Site de Coruche, Étape sur les Itinéraires entre Évora et le Ribatejo, *Revista da Faculdade de Letras*, 2 (5ª série), 115-135.
- Daveau, S. e Gonçalves, V. (1985) - A Evolução Holocénica do Vale do Sorraia e as Particularidades da sua Antropização, *Actas da I Reunião do Quaternário Ibérico*, vol. II, 187-197.
- D.G.R.A.H. (1978) - *Características Físicas das Bacias Hidrográficas das Estações Hidrométricas do Rio Tejo e seus Afluentes*, M.E.S., S.E.O.P., Lisboa.
- D.G.R.A.H. (1986) - *Monografias Hidrológicas dos Principais Cursos de Água de Portugal Continental*, M.P.A.T., S.E.A.R.N., Lisboa.
- G.T.C. (1987) - *A Catástrofe das Cheias. O Caso da Ribeira da Laje*, M.P.A.T., Lisboa.
- G.T.C. (1989) - *Estudo das Causas das Cheias na região de Lisboa: Relatório Síntese da Bacia Hidrográfica do Rio de Loures e da R^a de Odivelas*, M.P.A.T., Lisboa.
- INAG (1999) – Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, M.A.O.T., http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pbh/pbh03.html
- L.N.E.C. (1990) - *As Cheias em Portugal. Caracterização das Zonas de Risco, 1º Relatório: Análise Preliminar*, M.O.P.T.C., Lisboa.
- Morais, J.C. (1999) - *Estudo da Bacia Hidrográfica do Tejo, vol.2 - Perspectivas de Evolução do Regime de Caudais do Tejo*, Associação de Telecentros Rurais de Portugal, Lisboa.
- Ramos, C. (1993) - As Cheias de Dezembro de 1989 em Pequenas Bacias-vertente da Margem Direita do Baixo Tejo, in *Estudos de Geografia Física e Ambiente*, Linha de Acção de Geografia Física, Relatório 32, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 119-132.
- Ramos, C. (1994) - *Condições Geomorfológicas e Climáticas das Cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (Bacia Hidrográfica do Tejo)*, Dissertação de doutoramento, Departamento de Geografia, F. L. U. L., Lisboa.
- Ramos, C. (1995) - Cheias e Escassez de Água no Alto Alentejo. O exemplo da Bacia-vertente da Ribeira de Tera, *Finisterra*, 30 (59-60), C.E.G., 27-55.
- Ramos, C. (1996) - *The Natural Regimes of Portuguese Rivers*, in Brum Ferreira, A. e Vieira, G. T. (edits.), Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology - Mediterranean and Urban Areas, ERASMUS ICP-91/96-I-1226/07, 9, Lisboa, 151-160.
- Ramos, C. (1996) - *Hydrologic Diversity in the Tagus' Portuguese Basin*, in Brum Ferreira, A. e Vieira, G. T. (edits.), Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology - Mediterranean and Urban Areas, ERASMUS ICP-91/96-I-1226/07, 9, Lisboa, 161-170.
- Ramos, C. (1996) - *The Floods of the River Tagus*, in Brum Ferreira, A. e Vieira, G. T. (edits.), Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology - Mediterranean and Urban Areas, ERASMUS ICP-91/96-I-1226/07, 9, Lisboa, 171-176.
- Ramos, C. (2000) - O Rio Tejo e a Importância Estratégica da sua Planície Aluvial, in *Livro-Guia do Estágio de Campo Integrado 1999-2000*, Departamento de Geografia, F.L.U.L., 19-22.

- Rebello, F. e Ganho, N. (1998) - As Inundações de Outono de 1997 no Sul de Portugal, *Territorium*, 5, 25-30.
- Rego, Z.C. (1999) - *Estudo da Bacia Hidrográfica do Tejo, vol.3 - Análise Estatística da Frequência e Duração das Cheias do Tejo*, Associação de Telecentros Rurais de Portugal, Lisboa.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H.; Daveau, S. (1988) - As Águas, in *Geografia de Portugal, II. O Ritmo Climático e a Paisagem*, Ed. João Sá da Costa, Lisboa, 465-535.
- Rodrigues, A.G.; Azevedo, M.F.; Henriques, A.G. (1985) - Avaliação de Caudais de Cheia e Mapeamento de Zonas Inundáveis - Aplicação ao Caso da Ribeira da Laje (Oeiras), *Recursos Hídricos*, 6 (3), 3-12.
- Roxo, M.J. e Ventura, J. (1986) - As Inundações Catastróficas de Novembro de 1983 na Região de Lisboa-Loures, *Estudos em Homenagem a Mariano Feio*, Lisboa, 391-406.
- Sequeira, M.G. e Cabral, L.V. (1987) - As Cheias na Região de Lisboa. Um Problema de Ordenamento do Território. Metodologia de Aplicação à Bacia Hidrográfica da Ribeira da Laje, *II Simpósio Luso-Brasileiro sobre Hidráulica e Recursos Hídricos*, A.P.R.H., Lisboa.

4. Sites na Internet

Dos muitos sites existentes sobre hidrologia, seleccionaram-se os que interessam directamente aos alunos da disciplina de Hidrogeografia:

<http://www.aprh.pt/> - Site da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (com informação diversa sobre este tema).

<http://www.inag.pt/> - Instituto da Água (melhor site português sobre recursos hídricos, com dados (alguns em tempo real), mapas, planos de recursos hídricos, fotografias, relatórios).

<http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/indexpt.htm> - Glossário Internacional de Hidrologia

<http://ponce.sdsu.edu/190search.php> - College of Engineering (glossário em inglês de termos hidrológicos, que permite, de forma interactiva, efectuar cálculos através de valores que se podem introduzir, como por exemplo, períodos de retorno de cheias).

<http://www.icess.ucsb.edu/> - Institute for Computational Earth System Science (informação à escala global e regional sobre os sistemas biofísicos, dos quais se destaca a Hidrosfera).

<http://www.grdc.sr.unh.edu/index.html> - UNR/GRDC, Composite Runoff Fields (dados sobre as bacias hidrográficas, rios e escoamento, à escala global e regional).

<http://freshwater.unep.net/> - site das Nações Unidas sobre a água doce, nas suas diversas componentes

<http://www.unesco.org/water/> - Site da Unesco sobre os mais diversos assuntos relacionados com a água.

<http://www.dartmouth.edu/~floods/> - Dartmouth Flood Observatory (arquivo e atlas, à escala global e regional, sobre cheias).

<http://www.school-portal.co.uk/GroupHomepage.asp?GroupID=12426> - Wycombe High School (animação de processos e formas do ambiente físico, dos quais se destacam os relativos à dinâmica fluvial).