



Vis(i)tas com Ciência

Uma abordagem multidisciplinar

Maria Antónia Forjaz
Isabel Aguiar Pinto Mina
Isabel Correia Neves
Mário Almeida
Jorge Pamplona

Coleção Educação | Ciências, Engenharia e Tecnologia



Educação
Ciências, Engenharia
e Tecnologia

UMinho Editora

AUTORES

Maria Antónia Forjaz
Isabel Aguiar Pinto Mina
Isabel Correia Neves
Mário Almeida
Jorge Pamplona

FOTOGRAFIA

Guilherme Sanches
Isabel Aguiar Pinto Mina
Isabel Correia Neves
Juliana Neves
Mário Almeida
Vicente Fonseca

INFOGRAFIA

Maria Antónia Forjaz
Guilherme Sanches
Isabel Correia Neves
Jorge Pamplona
José Carlos Espírito Santo
Pedro André Parpot

Algumas figuras foram cedidas pelas instituições e autores em destaque no livro

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Manuela Martins

FOTO CAPA (descrição da foto)

A ponte medieval de Ponte de Lima (Fotografia de Guilherme Sanches)

DESIGN

Tiago Rodrigues

PAGINAÇÃO

Carlos Sousa | Talento & Tradição

IMPRESSÃO e ACABAMENTOS Grificamares, Lda

EDIÇÃO UMinho Editora

LOCAL DE EDIÇÃO Braga 2025

DEPÓSITO LEGAL N°

ISBN: 978-989-9074-74-3

E-ISBN: 978-989-9074-48-4

DOI: <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.108>

Os conteúdos apresentados (textos e imagens) são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores.
© Autores / Universidade do Minho – Esta obra encontra-se sob a Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.

Vis(i)tas com Ciência

Uma abordagem
multidisciplinar

AGRADECIMENTOS

Alberto Dias (DB – UMinho); António Couto (ESB – U. Católica Portuguesa); Carla Ferreira (DMAT – UMinho), Cristina Morgadinho (Observatório Meteorológico das Penhas Douradas); Fátima Matos (EB 2,3 Póvoa de Lanhoso); Fátima Salgado (Associação Manteigas Solidária); João Matos (Diretor do Jornal “Notícias de Manteigas”); José Carlos Espírito Santo (DMAT – UMinho); José Gabriel Parpot; José M. Correia Neves (CNPq – Brasil); Mário Pereira (DF – UMinho); Mário Rui Pereira (DF – UMinho); Matilde Forjaz Rocha; Miguel Tovar; Paula Walker (artista); Pedro André Parpot; Pier Parpot (DQ – UMinho); Teresa Lacerda-Arôso (DF – UMinho); Teresa Valente (DCT – UMinho); Vicente Fonseca (DF – UMinho).

	Prefácio	7
1	LITORAL DE ESPOSENDE E DA AMOROSA: O CREPÚSCULO NAS DUNAS	9
	Itinerário	19
1.1.	A praia da Apúlia	20
1.2.	A praia de Ofir	27
1.3.	O estuário do Cávado	31
1.4.	O monte de S. Lourenço	33
1.5.	A praia da Amorosa	37
2	PONTE DE LIMA E SERRA DE ARGAS: DOS RIOS ÀS ENCOSTAS	43
	Itinerário	49
2.1.	Ponte de Lima	50
2.2.	O monte de Santo Ovídio	55
2.3.	Bertiandos	61
2.4.	Estorãos	67
2.5.	A portela da Bustarenga	70
3	BRAGA: ENTRE A CIDADE E AS SERRAS	77
	Itinerário	86
3.1.	O Vale das Sete Fontes	87
3.2.	A fonte do Ídolo	97
3.3.	A Avenida Central e a Senhora-a-Branca	103
3.4.	O Bom Jesus do Monte	112
4.	SERRA DA ESTRELA: DO VALE ÀS CUMIEIRAS	121
	Itinerário	132
4.1.	A casa de São Lourenço	133
4.2.	As Penhas Douradas	135
4.3.	A Lagoa Comprida	138
4.4.	A Torre, o Cântaro Magro e a Senhora da Boa Estrela	140

4.5.	A vertente do Vale da Ribeira de Alforfa e a Nave de Sto. António	145
4.6.	O Covão d' Ametade	147
4.7.	A fonte Paulo Luís Martins	153
	Referências bibliográficas	159
	Glossário	165

PREFÁCIO

O motivo

Ciências com Vistas, também se pode ler Visitas com Ciência, pretende tornar possível que um certo (científico) olhar pare e aterre em espaços naturais, transfigurando-os e, assim, revelando-os como fonte de conhecimentos e aprendizagens de cariz multidisciplinar. Neste sentido, foram selecionadas algumas paragens, quer urbanas (Ponte de Lima e Braga), quer ao longo das serras (Espinho-Sameiro, Arga e Estrela) e da linha do mar (Litoral de Esposende e da Amorosa), de modo a que a Natureza se vá desvendando, às diferentes Ciências, em ângulos, ora (quase) geometricamente iguais, ora complementares.

Sem termos consciência inicial de que estávamos a trilhar terrenos “humboldtianos”, na verdade só prosseguimos, à nossa dimensão, o caminho aberto por Alexander Von Humboldt (1769-1859), cientista alemão, polímata, naturalista e ambientalista. No seu enorme apreço pelo paradoxo da diversidade e unicidade da Natureza, seja pela afinidade dos vulcões que conhecia, seja pelas semelhanças e diferenças da fauna e flora, ao longo dos enormes périplos que realizou, trilhar os caminhos de Humboldt é persistir em encarar a Natureza como resultado de um inter-relacionamento de fenómenos, todos pintados, como ele dizia, com um “largo pincel”, procurando incessantemente a verdadeira “pintura da natureza”, a sua *Naturgemäld*. Tudo, somente, ligado através das raízes dendríticas duma cadeia genealógica natural comum, e do modo como a sua diversidade e paridade é una, pois feita de pó das estrelas.

É do senso-comum que algumas das Ciências têm pelo seu carácter mais naturalista uma apetência, dir-se-ia visceral, para transformar o campo no seu laboratório. Mas, o que é certo é que a emanção do conhecimento científico assenta no magma dos fenómenos naturais que por todas vai sendo escarpelizado. Eis, pois, o motivo pelo qual não é necessário dizer, parafraseando Mário de Sá-Carneiro, que com um pouco mais de Física eu era a montanha, um pouco mais de Química eu era um rio... De facto, todas as físicas-químicas-matemáticas-geologias-biologias são e estão na brisa-mar-rio-montanha-planta-rua-igreja-glaciar.

Tudo começa um pouco pela capacidade de nos maravilharmos ao observar e, pouco a pouco, irmos aprendendo a tocar à porta da pedra e da gota de água e da flor, pedindo-lhes que nos deixem entrar na sua intimidade. Mais tarde podemos, conhecendo algumas destas intimidades, ver através dos olhos dos outros, à medida que as formos desnudando, o mundo a metamorfosear-se.

O testemunho que vos deixamos nas páginas seguintes, desejamos que funcione como:

- uma prova de que é possível criar visitas de campo multidisciplinares (com eventual *feed-back* positivo em aprendizagens complementares formais ou não formais);
- um repositório de algumas ideias a abordar em visitas de campo;
- uma confirmação de que é possível ver desde que saibamos observar!

A estrutura

Os itinerários propostos em cada uma das saídas de campo foram selecionados devido ao fácil acesso a cada um dos pontos de interesse, proporcionando espaços privilegiados de observação e de integração de conhecimentos multidisciplinares. Não se trata de percursos fechados, pois não se deve perder de vista que, a cada passo, o visitante interessado encontra múltiplas oportunidades para satisfazer a sua curiosidade.

Os capítulos relativos ao Litoral de Esposende e Amorosa, Serra de Arga e Serra da Estrela porque integravam um Guia de Campo elaborado no âmbito do “Projecto Sentidos da Ciência” da Escola de Ciências, Universidade do Minho (Pamplona et al., 2009), foram revistos e aumentados.

Neste livro são sugeridos percursos, com paragens e respetivas coordenadas geográficas (obtidas por GPS, em WGS84), e para cada um deles são propostas diversas atividades e observações. Começando por uma síntese dos tópicos a abordar em cada visita, segue-se a apresentação detalhada do itinerário, em que alguns dos tópicos apresentados são mais aprofundados, recorrendo, por exemplo, a algumas notas teóricas que permitem explicar os fenómenos sob observação, e até, por vezes, algumas sugestões de experiências simples que podem ser realizadas no campo.

Para completar e melhor interpretar a informação fornecida, inclui-se, para além da bibliografia, um glossário que permitirá a compreensão da linguagem e dos termos científicos/tecnológicos usados ao longo deste livro e, ainda, uma Escala de Tempo Geológico.

1. Litoral de Esposende e da Amorosa: o crepúsculo nas dunas

Itinerário

1.1. A praia da Apúlia

- Enquadramento geológico (estrutura, deformação, metamorfismo e litologias).
- Observação da polaridade dos metassedimentos a partir da relação entre a superfície de estratificação e da foliação. Incofósseis de *scolithus* em quartzitos da Formação de Sta. Justa.
- Fenómenos ondulatórios. Ondas sinusoidais.
- Composição química da água mar. O mar: uma solução tampão. Capacidade calorífica.
- Praia rochosa – os grandes grupos representados na zona entremarés.

1.2. A praia de Ofir

- Génese das dunas. Composição das areias da praia.
- Construções de proteção costeira – o caso dos esporões: morfologia costeira a Norte e a Sul dum esporão.
- Biodiversidade da praia arenosa.
- Arriba fóssil.

1.3. O estuário do Cávado

- Fraturação Alpina e condicionamento dos cursos fluviais. Dinâmica fluvial.
- Idade e génese da laguna de Esposende.
- As marés.
- Habitats e comunidades bióticas estuarinas. A pesca da lampreia e do “machão” na foz do Cávado.

1.4. O monte de S. Lourenço

- Aspetos geomorfológicos (génese dos “Tor”). Maciço granítico. Observação da falha responsável pela arriba-fóssil (cartografia da estrutura). Quartzito da Formação de Sta. Justa do flanco leste do antiforme de Esposende. Depósito de cascalho resultante de transgressão marinha.
- Cálculo da volumetria e da tonelagem de um maciço granítico.
- Área de uma casa do Castro de S. Lourenço.
- Fertilidade agrícola do litoral.
- Aspetos florísticos do monte de S. Lourenço.
- Aromas da vegetação.

1.5. A praia da Amorosa

- Dunas *brancas e cinzentas*; *Blow-out* e duna *blow-out*.
- Holocénico e rochas da Formação de Valongo.
- Gases com efeito estufa.
- A radiação UV e o Ozono.
- A cor do céu e do oceano.
- Polarização por reflexão.
- Crepúsculos matutino e vespertino.

Litoral de Esposende e da Amorosa: o crepúsculo nas dunas

*Contemplo a sós o mar e penso...
Vejo as ondas em agitado movimento...
São montanhas de moléculas,
cada uma indiferente às outras...
triliões as separam
formam, porém um uníssono a branca
espuma.*

Feynman, 1991

Na nossa experiência quotidiana, podemos observar uma diversidade de ondas. As ondas eletromagnéticas, as ondas sonoras, uma variedade de ondas na superfície dos rios, lagos e oceanos, são alguns exemplos. O desenvolvimento de modelos matemáticos e a utilização de métodos numéricos encontram as mais variadas aplicações no aproveitamento da energia das ondas e na previsão de *tsunamis*.

Em ondas também navegavam os que de crepúsculos matutinos e vespertinos necessitavam, para saber por onde andavam. Pedro Nunes (matemático português e cosmógrafo-mor do rei, 1502-1578) baseando-se, como afirma, “em princípios certíssimos e evidentíssimos da matemática” elaborou uma obra, *De Crepusculis*, relativa à duração dos crepúsculos bem como à depressão do Sol nos instantes limite – início do crepúsculo matutino e fim do vespertino.



Reprodução do Frontispício da primeira edição, de 1542, do *De Crepusculis* (editado pela Academia de Ciências, 1943)

*Jamais em repouso...
torturado era o mar pela energia
prodigiosa do Sol []
Uma migalha apenas faz bramar o mar.
Na profundidade dos oceanos, as moléculas
repetiam-se em padrões codificados
e repetindo-se, repetindo-se sem fim,
moléculas complexas formaram.
Novas e outras iguais a si...
E uma dança original iniciaram.*

Feynman, 1991

A composição química da água do mar é praticamente constante. Os oceanos compreendem essencialmente água (H_2O) com pouco mais de 70 elementos dissolvidos; destes, apenas seis constituem mais de 90% dos sais dissolvidos, que ocorrem como iões.

Os sais e outros minerais responsáveis pela salinidade do oceano são transportados para o mar pelos rios, tendo sido lixiviados das rochas. Ao alcançarem os oceanos, estes sais são retidos e concentrados pelo processo de evaporação. O sódio (Na) foi absorvido do fundo dos oceanos aquando da sua formação. A presença de outros elementos dominantes, e.g., o cloro (Cl) na forma de ácido clorídrico (HCl), resulta da evasão de gases do interior da Terra através de vulcões e fontes hidrotermais. Os iões sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) combinam-se para formar o composto mais abundante da água do mar, o cloreto de sódio (NaCl).

O Sol emite radiação com um máximo de intensidade perto dos 500 nm (Figura 1.1), que corresponde à cor verde.

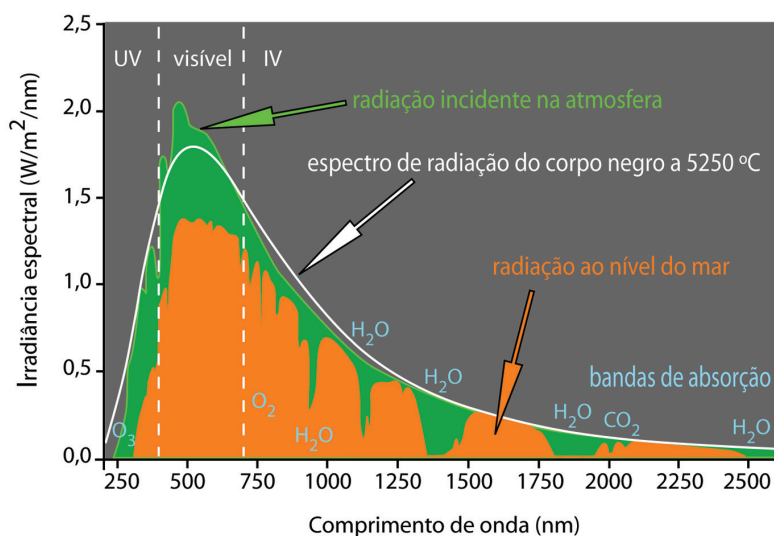


Figura 1.1
Espectro de irradiação solar sobre a atmosfera terrestre e à superfície da Terra.

A energia solar enviada para a Terra, do ultravioleta – UV (pouca) ao infravermelho – IV, é na sua maior parte constituída pela radiação visível (Figura 1.2).

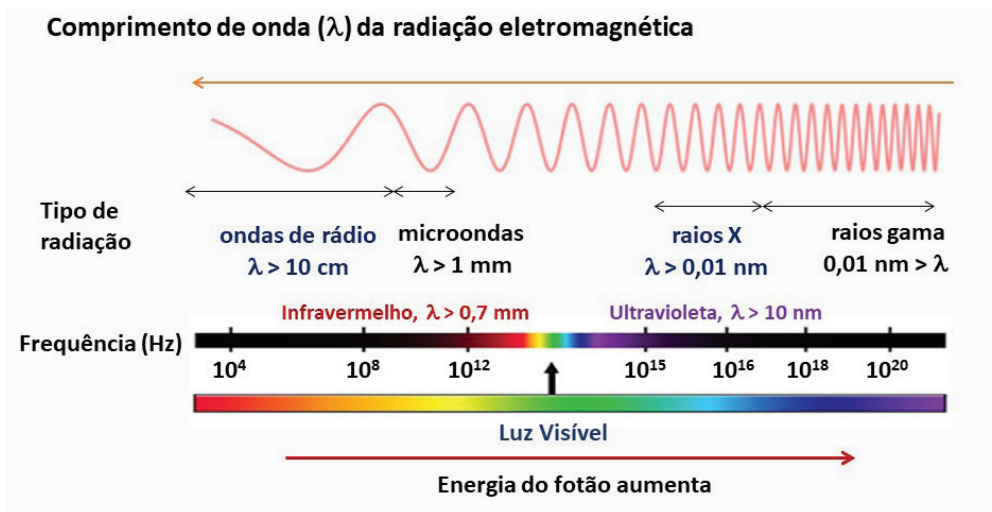


Figura 1.2
Espectro
eletromagnético
(adaptado de Eiró e
Ferreira, 2005).

Ao absorver a energia solar, a Terra aquece e gera uma maior quantidade de radiação IV do que a que recebe – efeito de estufa (Figura 1.3). Se a Terra não perder toda a radiação IV que gera, pode manter a sua temperatura nas condições ideais para suportar a vida.

Porém certos gases presentes na atmosfera absorvem parte dessa radiação e reemitem-na para a Terra podendo levar a um excesso de retenção da radiação IV. Como consequência, a temperatura da Terra é mais elevada do que seria na ausência desses gases.

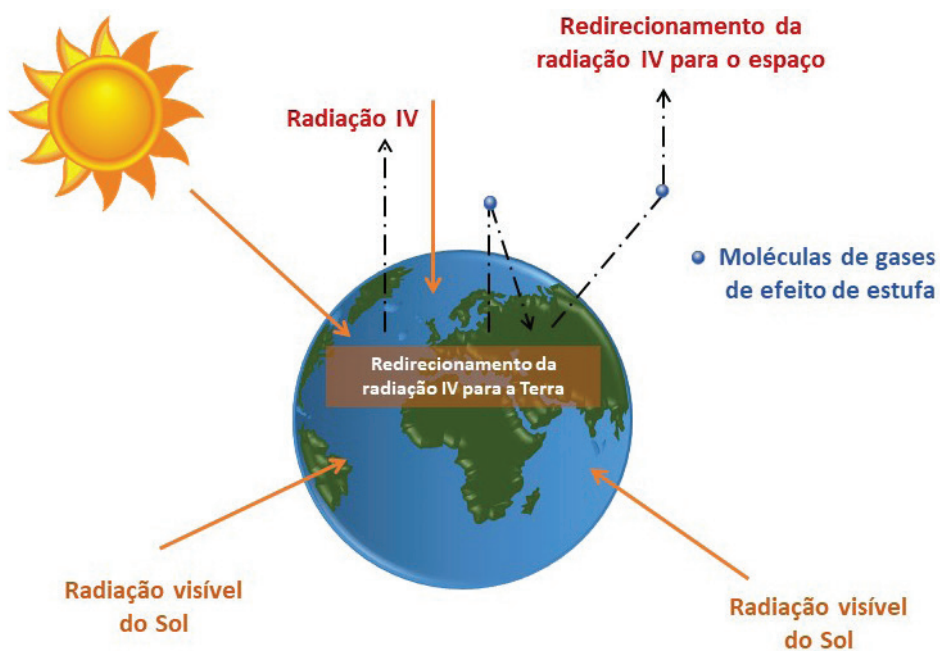
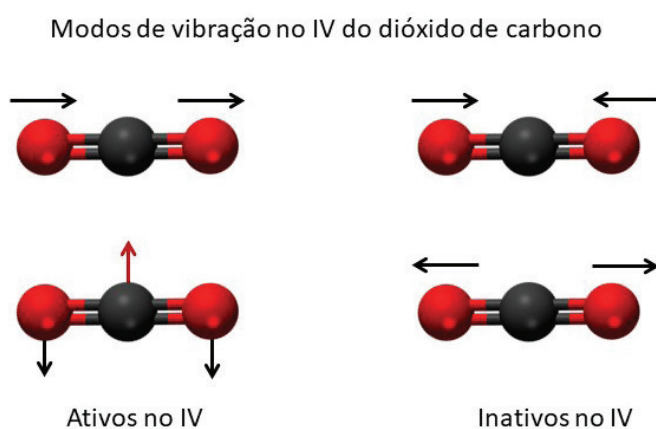


Figura 1.3
Representação do efeito
de estufa.

Os gases de estufa mais conhecidos são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os clorofluorocarbonetos - CFCs (CF_xCl_x). A particularidade destes gases é que todos eles absorvem na região do IV.

Todas as moléculas vibram, mesmo quando se encontram a baixa temperatura. As moléculas polares como a da água, e as moléculas apolares não lineares como a do o metano, vibram no infravermelho. Para a energia de vibração aumentar é necessário absorver um fotão com comprimento de onda específico na região do IV.

O dióxido de carbono é uma molécula linear e apolar, cujos eletrões são partilhados por todos os átomos (átomos de carbono a preto e átomos de oxigénio a vermelho), porém apresenta dois modos de vibração ativos (assimétricas) e dois inativos (simétricas) no IV.



Apesar de também absorver radiação infravermelha, a água não é considerada um gás de efeito de estufa. Na verdade, os oceanos têm uma função benéfica na redução deste efeito, sendo por excelência os sorvedouros de dióxido de carbono da atmosfera terrestre.

As radiações ultravioleta – UV (400 – 200 nm) que atingem a Terra podem agrupar-se em:

- UV-C, as mais energéticas (200 – 280 nm);
- UV-B, (280 – 320 nm);
- UV-A, as menos energéticas (320 – 400 nm).

A radiação UV-A, próximos do visível, são os menos perigosos e atingem a troposfera. Os UV-C são absorvidos pelo oxigénio (O_2) na mesosfera, não penetrando na estratosfera. Os UV-B são os mais perigosos para os seres vivos e são, na sua quase totalidade, absorvidos pelo ozono (O_3).

A maior parte do ozono (cerca de 90% do total existente na atmosfera) encontra-se e forma-se na estratosfera (Figura 1.4) entre os 15 e os 50 km acima da superfície da Terra, com uma forte concentração a cerca de 25 km, constituindo o que se convencionou chamar a “camada de ozono”.

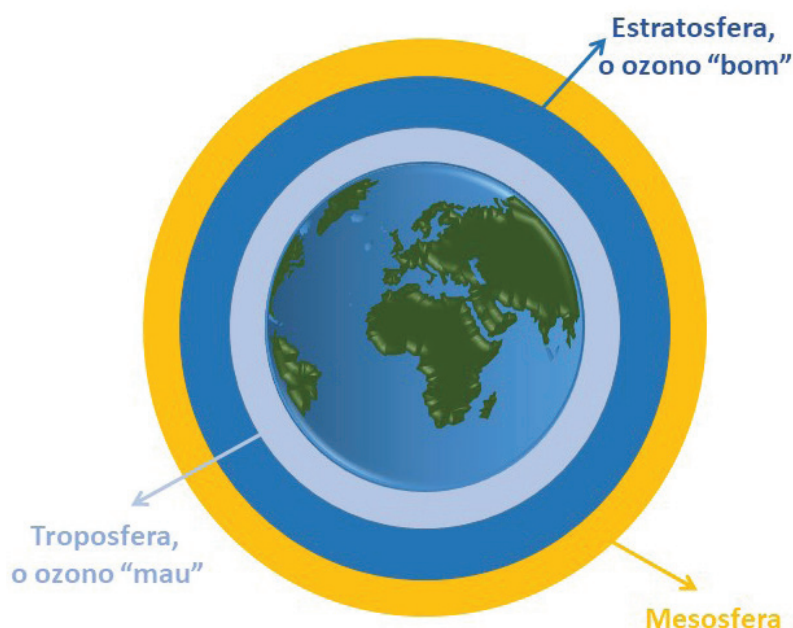


Figura 1.4
Camadas da atmosfera terrestre.

O ozono (O_3) é uma forma alotrópica do oxigénio, sendo a sua molécula constituída por três átomos de oxigénio, enquanto que o oxigénio vulgar é constituído apenas por dois. O ozono é um gás de cor azul pálida e com odor desagradável que lembra a lixívia. Devido ao seu elevado poder oxidante é venenoso e a sua inalação, mesmo feita em quantidades reduzidas, pode ser mortal.

Porém, o ozono na atmosfera absorve cerca de 95% das radiações UV, que são capazes de provocar a ruptura de ligações entre os átomos nas moléculas constituintes dos seres vivos. Estas radiações podem causar o aparecimento de cancro de pele, provocar perturbações visuais, fragilizar o sistema imunitário e contribuir para a diminuição da biodiversidade. Estes efeitos podem ser potenciados devido à presença de poluentes (e.g., clorofluorcarbonetos – CFCs) que participam nos mecanismos catalíticos de destruição da camada de ozono.

A Terra é um geóide com cerca de 6 300 km de raio, envolvida por uma fina e pouco densa camada de gases (99% da massa da atmosfera está situada até 11 km acima da superfície terrestre). A superfície terrestre é constituída por cerca de 5/7 de água, que mantém uma temperatura estabilizada com pequenas amplitudes térmicas de cerca de 1°C e uma crosta litosférica emersa, onde temos a felicidade de existir. Essa existência é possível pelo contínuo fornecimento de energia por uma estrela a pequena distância: o Sol, que dista de nós cerca de 8 minutos luz.

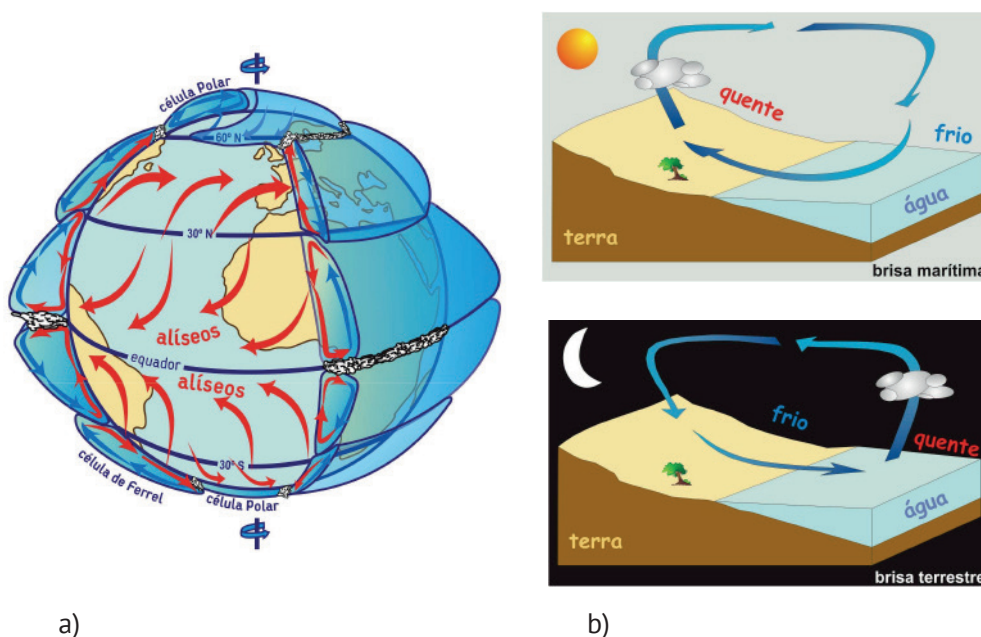
A distância média entre a Terra e o Sol (medida pelo tempo que a luz emitida pelo Sol atinge a Terra) é de 8 minutos e 18 segundos. Como tal, sabendo que a luz se propaga à velocidade de 300 000 km/s, a Terra e o Sol estão à distância de cerca de 150 milhões de km.

O aquecimento, pela radiação solar, da atmosfera, da água e da terra, aliado à sucessão dos dias e das noites, originam um movimento contínuo e regular de enormes

massas de ar com temperaturas diferenciadas, ventos e brisas (Figura 1.5), que fazem deste planeta algo mais do que o “3.º calhau a contar do Sol”.

Figura 1.5

Deslocamentos de massas de ar: (a) à escala continental – ventos, (b) à escala local – brisas (adaptado de Bezzeghoud et al., 2007).



As rochas que aqui afloravam, e que ainda afloram, são dos períodos Atual e Holocénico, Quaternário Antigo (Plistocénico) e, ainda, do Paleozóico:

Atual e Holocénico – inclui depósitos constituídos pelas areias das dunas atuais e não atuais, que em alguns segmentos são constituídas por cascalhos e praias atuais de areia ou de cascalho;

Quaternário Antigo (Plistocénico) – agrupa os depósitos fluviais das zonas vestibulares dos rios e depósitos marinhos na faixa litoral;

Paleozóico – contém granitos de duas micas de idade Permo-Carbonífera, algumas fácies com xistos carbonosos, quartzitos do Ordovício, bem como a alternância de filitos carbonosos e siltitos do Câmbrio.

A exploração do jazigo de caulino de Vila Chã (Esposende) – utilizado essencialmente como matéria-prima para a cerâmica – apresenta produções anuais da ordem das 5 000 toneladas de caulino lavado e das 20 000 toneladas de caulino não lavado. O caulino é explorado a partir de: areias caulíníticas brancas e amarelas (1–5 m); areias caulíníticas com calhaus rolados de quartzo (5–10 m); areias caulíníticas brancas intercaladas com areias caulíníticas amarelas (10–25 m).

O caulino é formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinite - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Também contém outras substâncias sob a forma de impurezas – 40-50% do seu volume é, de um modo geral, areia, quartzo, lamelas de mica, feldspato, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (e.g., goethite, halosite, bohemite).

O caulino e o segredo da porcelana

Quando os Italianos trouxeram as primeiras peças de porcelana da China, no Séc. XV, julgaram pelo seu aspeto vítreo que eram feitas de conchas de moluscos gastrópodes conhecidos por porcelanas (família Cypraeidae); daí vem o nome “Porcelana”. Embora as faianças italianas já tivessem grande sucesso, o caráter branco-limpo e translúcido destes novos materiais cativou a elite de vários países europeus. Mas o mistério permanecia: fora da China, ninguém sabia produzir estes materiais. Mais tarde, um missionário jesuíta francês, François Xavier d'Entrecolles (1664-1741), funda uma igreja na região Kiang-si, numa vila chamada King-te-tchin, que é hoje conhecida como “Jingdezhen”. Assim, como muitos dos seus paroquianos trabalhavam em porcelana ou faziam comércio com ela, procurou obter junto deles algumas informações. Enviou uma primeira carta-relatório em 1 de setembro de 1712 e outra em 25 de janeiro de 1722. Com muita minúcia, descreve a importância dos constituintes, as suas proporções, assim como, todo o processo de preparação até à peça cozida final. Vai então revelar que, para a porcelana, são necessários dois constituintes desconhecidos: “*ka-olin*”, uma terra semeada de partículas brilhantes, e *pe-tun-tse*, uma terra branca e muito fina ao tato. O *pe-tun-tse*, de grão tão fino, são fatias de rochas retiradas das pedreiras. O *ka-olin* encontra-se em montes cobertos por uma camada de barro vermelho. As minas são fundas e a matéria está em grumos. É parecido com a terra branca de Malta, mas esta não tem as partículas prateadas semeadas no *ka-olin*”. Tratava-se de caulino com impurezas de mica e quartzo. *Pe-tun-tse* é o feldspato bem conhecido nas regiões graníticas.

Durante a cozedura, o *pe-tun-tse* forma uma espécie de cimento que envolve as partículas de caulino; “os ossos e a carne”, como dizem os chineses, vão conferir aos cerâmicos dureza, rigidez e homogeneidade. Assim, as novas peças podem ser muito finas e translúcidas, quase transparentes.

Teresa de Lacerda-Arôso

Porcelana de Ossos

Dentro das porcelanas existe a Porcelana de Ossos (em inglês, bone china) que é um tipo de cerâmica especial, largamente fabricada em Inglaterra, sendo única em termos de aparência. Quando comparada com porcelanas convencionais, a porcelana de ossos possui elevada alvura e translucidez, dando assim um forte apelo estético. A sua baixa vitrificação, qualidade de decoração e também maior resistência mecânica torna-a num dos tipos de cerâmica de mesa mais atrativos e caros do mundo. As matérias-primas da porcelana de ossos são compostas por aproximadamente 50% de cinza ou farinha de ossos, a que se adiciona caulino, quartzo e feldspato. A farinha de ossos é produzida a partir de ossos de gado bovino, pelo facto destes apresentarem um elevado grau de pureza e grandes teores em cálcio, conferindo maior alvura à porcelana.

Na porcelana de ossos, os cristais são muitos pequenos quando comparados com os de porcelana convencional. Essa característica ajuda a explicar o facto da porcelana de ossos ter uma resistência ao lascamento, por vezes, quatro vezes superior, e possuir módulos de resistência à ruptura e ao impacto, até duas vezes superiores aos da porcelana convencional.

Mário Pereira

*Crescendo em tamanho, escolheram a via da
complexidade ...
Eis, por fim, a vida, multidões de átomos,
ADN, proteínas...*

Sempre, sempre embalando-se em estrutura complicada

Feynman, 1991

E a vida terá começado no mar, onde ainda hoje se encontram as formas de vida mais simples e os maiores invertebrados. O meio marinho é, sem dúvida, o mais favorável à vida. A agitação das ondas reduz as variações de temperatura e torna este meio isotónico para muitos organismos; a concentração de substâncias dissolvidas na água do mar é muito semelhante à concentração das dissolvidas nos líquidos orgânicos, mantendo-se a mesma pressão osmótica entre o mar e os organismos, à mesma temperatura.

O mar foi o palco dos principais acontecimentos que conduziram à diversificação dos invertebrados – e de toda a vida. Atualmente continua a albergar a maior variedade de organismos e alguns deles, tais como os equinodermes, permanecem exclusivamente marinhos. A enorme variedade e abundância de invertebrados marinhos resulta de um certo número de fatores geralmente relacionados com condições que reduzem o *stress* físico e químico das “atividades quotidianas” destes animais. A relativamente elevada densidade da água do mar favorece a flutuabilidade reduzindo os gastos energéticos necessários à movimentação dos organismos marinhos.

Nas águas litorais pouco profundas, o dióxido de carbono, os vários nutrientes e a luz solar estão geralmente disponíveis em quantidades que permitem elevados níveis de fotossíntese, quer sazonal, quer contínua (dependendo da latitude e de outros fatores). Os níveis de oxigénio dissolvido raramente descem abaixo dos requeridos para a normal respiração. A linha da costa ou região litoral é o habitat intertidal – área onde o mar, o ar e a terra se encontram e interagem sendo obviamente afetada pela subida e descida das marés. Os organismos que vivem nas regiões litorais estão sujeitos a condições dinâmicas e frequentemente exigentes. Apesar disso, estas áreas são ricas em diferentes formas de seres vivos que se podem restringir a zonas particulares ao longo da costa formando bandas distintas – fenómeno de zonação.

Itinerário

Para usufruir do espaço litoral de Esposende até à Amorosa, não numa perspectiva apenas turística, mas como fonte de conhecimentos e aprendizagens de cariz científico e multidisciplinar, foram seleccionadas algumas paragens ao longo do litoral, de modo que a natureza se possa revelar segundo as perspectivas da Biologia, da Física, da Geologia, da Matemática e da Química (Figura 1.6).



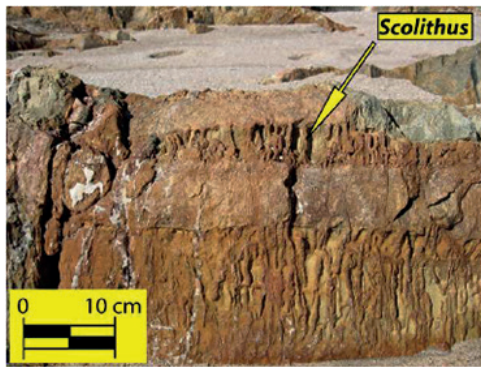
Figura 1.6
Itinerário e localização
das paragens – Litoral
de Esposende.

1.1. A praia da Apúlia

A história geológica da praia da Apúlia pode ser sinteticamente descrita da seguinte forma:

- regista atualmente processos erosivos e deposicionais ao longo do litoral, por ação fluvio-marinha e eólica;
- há 1500 anos, segundo Gomes et al. (2002), ocorreu uma regressão durante a qual se gerou um sistema lagunar pantanoso que recebia água do mar de vez em quando, o que é confirmado pela presença de diatomácias (algas microscópicas com estruturas siliciosas) associadas aos seus depósitos turfosos;
- sofreu no Plio-Quaternário as glaciações e os períodos interglaciários, com transgressões e regressões marinhas, gerando uma plataforma de abrasão marinha e depósitos de cascalho que atualmente cobrem a zona litoral aplanada até ao sopé (às vezes um pouco mais) das elevações constituídas pelas rochas Paleozóicas (granitos e rochas metamórficas, nomeadamente com as formações de Valongo (xistos carbonosos) e de Sta Justa (quartzitos com *Scolithus* – Figura 1.7 a), e xistos cinzentos intercalados) e, ainda, a Formação da Desejosa com alternância de filitos carbonosos e siltitos;
- foi afetado pelos episódios tectónicos do Terciário responsáveis pelo levantamento do volume montanhoso;
- foi afetado pela fraturação Alpina (ENE-WSW) – oblíqua à estruturação Varisca, a qual é aproveitada pelos principais cursos de água (rios Cávado e Neiva);
- fez parte da Pangeia (supercontinente) que existiu há aproximadamente 240-200 Ma e, ainda, da posterior desagregação desta em continentes, o que permitiu a abertura de oceanos;
- foi parte integrante da orogenia Varisca (350–290 Ma) que resultou da colisão entre os continentes *Gondwana* e *Laurentia*, sendo caracterizada por metamorfismo e dobramento das rochas, gerando o Antiforme de Esposende). Esta orogenia definiu ainda o atual alinhamento NW-SE a NNW-SSE das montanhas, constituídas essencialmente por granitos de idade Varisca e o alinhamento dos principais acidentes tectónicos.

A polaridade das formações metassedimentares observa-se a partir do posicionamento dos *Scolithus* e da relação entre a superfície de estratificação e a foliação/clivagem da fase de deformação que afetou as rochas (Figura 1.7 b)).



a)

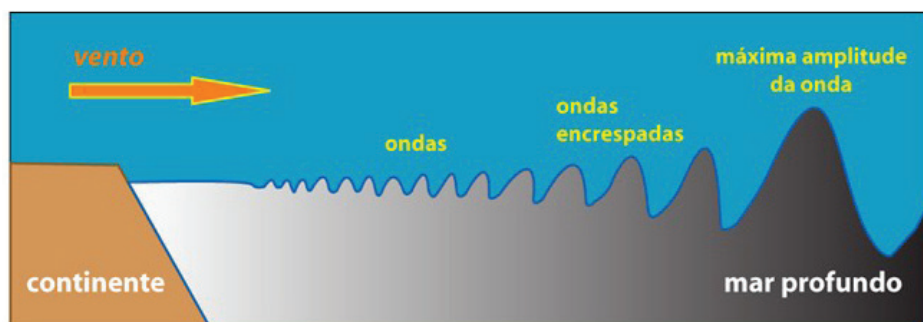


b)

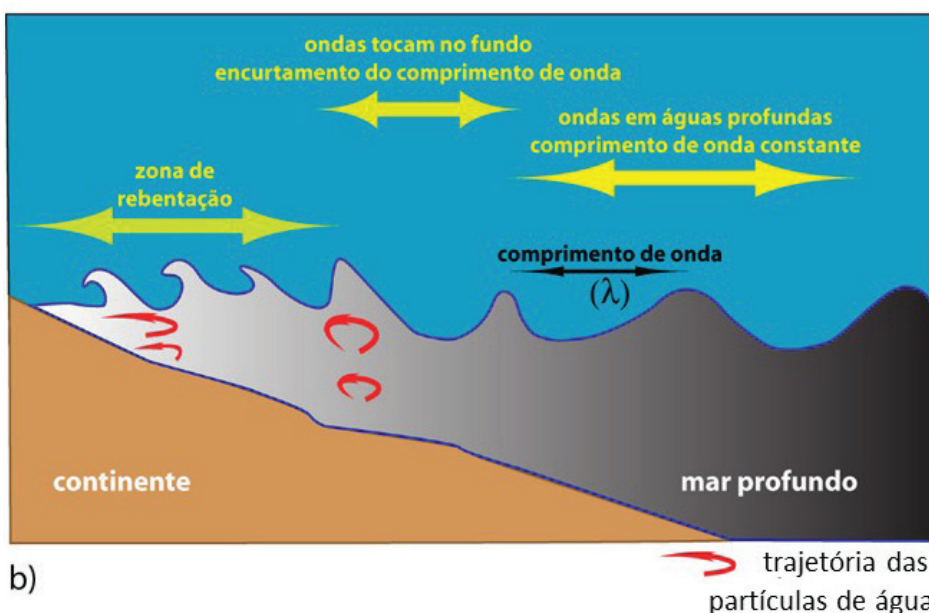
Figura 1.7
Polaridade dos metassedimentos:
a) *Scolithus* em quartzito; b) relação entre a superfície de estratificação (S_0) e da clivagem (S_1) (inclinação de S_0 menor do que inclinação de S_1 indica polaridade normal – estratos mais recentes sobre estratos mais antigos).

Na praia da Apúlia as ondas não são só para “surf”...

Uma onda é a propagação de uma perturbação (Figura 1.8). A ação conjugada dos ventos e de correntes de convecção impede a obtenção de uma superfície líquida plana nas grandes extensões de água, como os lagos e os oceanos. Geram-se, assim, ondas que se propagam em todas as direções. Perto da costa, dado que o fundo do oceano é cada vez menos profundo, as ondas ganham altura e rebentam.



a)



b)

Figura 1.8
Ondulação marítima gerada a) por vento terrestre e b) por rebentação das ondas na costa.

Uma onda “pura” não transporta matéria: esta vibra e transmite a vibração à sua vizinhança, propagando-se assim a energia associada à vibração da perturbação causada.

As ondas do mar consistem em vibrações periódicas das moléculas de água, que podem ser descritas como executando movimentos harmónicos simples (MHS): a grandes profundidades, a amplitude de vibração é reduzida, sendo mais notórias as variações de pressão; à medida que se ascende em direção à superfície, a pressão diminui e as moléculas executam os referidos MHS com amplitude crescente (Figura 1.9). Mais ainda, há uma sobreposição de MHS em direções perpendiculares (vertical e horizontal), fazendo as moléculas de água um movimento circular, que só é destruído devido à menor profundidade da água próximo da costa.

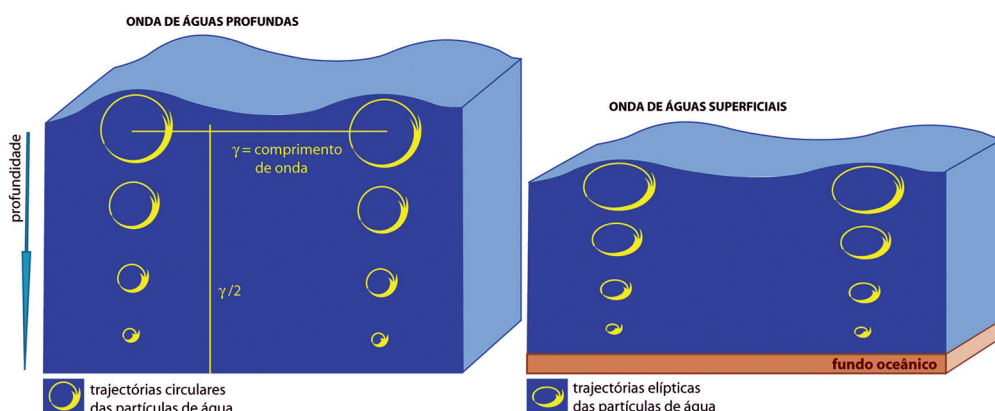
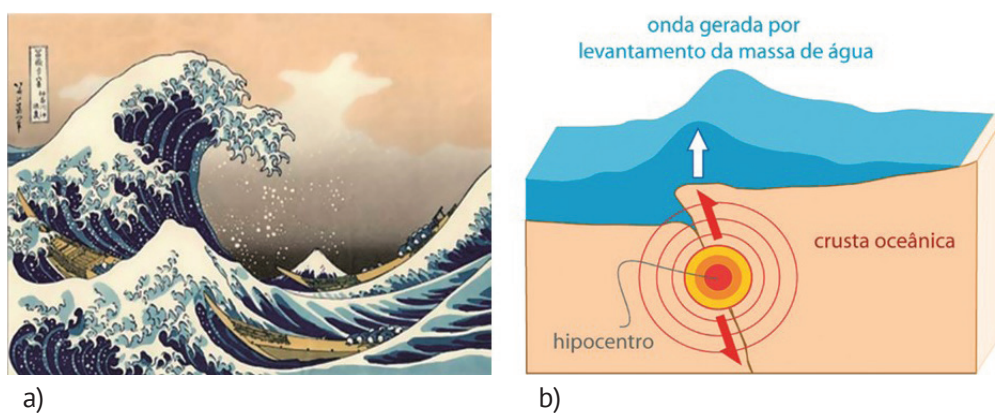


Figura 1.9
Movimento oscilatório das moléculas de água a diferentes profundidades e perfil da superfície da água.

As ondas do mar transportam matéria, por exemplo, as areias da praia, e este processo é vital na manutenção ou destruição das zonas costeiras.

A ocorrência de movimentos de enormes massas de terra submersas ligadas a eventos sísmicos pode dar origem a um fenómeno de enormes proporções e com elevado poder destruidor, o *tsunami* ou maremoto (Figura 1.10). A perturbação causada traduz-se numa onda gerada a partir da região em que houve movimento de massas que se propaga em todas as direções.

Figura 1.10
Ondas do mar: a) “A Grande Onda de Kanagawa”, ilustração japonesa da autoria de Katsushika Hokusai (f. 1849) e b) geração de um *tsunami* por movimento numa falha (muito exagerada a amplitude do movimento no plano de falha e da consequente amplitude da onda gerada).



No alto mar, a amplitude da onda é de dimensões modestas – estima-se que o sismo ocorrido em 2004, em Sumatra, gerou um *tsunami* com uma amplitude de apenas

meio metro. Um *Tsunami*, ao chegar à costa continental, devido à diminuição da profundidade a velocidade de propagação da onda diminui drasticamente, e assim, a pequena amplitude de oscilação da massa de água transforma-se numa grande amplitude de oscilação, que dissipa a sua enorme quantidade de energia galgando as zonas costeiras e destruindo o que encontra à sua passagem.

Nas grandes ondas do mar podem ser reconhecidas as linhas curvas provocadas pelo vento que perturba o equilíbrio da superfície dos oceanos.

Normalmente, os fenómenos ondulatórios obedecem a funções matemáticas periódicas como, por exemplo, as funções seno ou co-seno. A forma das ondas do mar é, no entanto, difícil de representar matematicamente.

Uma classe importante de ondas, pela sua simplicidade e pelo seu grande número de aplicações, são as ondas sinusoidais. Uma onda sinusoidal, quando se propaga segundo o sentido positivo do eixo OX , no tempo t , tem uma função de onda cuja expressão é dada por:

$$y(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$$

onde

A : amplitude da onda,

$\varphi = \omega t - kx$: fase da onda,

ω : frequência angular,

$k = \omega/u$: número de onda, sendo u a velocidade de propagação.

Da expressão anterior:

- (i) para uma dada posição ($x = \text{constante}$), y varia periodicamente com o tempo. Tendo em conta a definição de *período* (tempo de um ciclo completo), e o facto de que um ciclo corresponde a 2π , o período T satisfaz a relação $T = (2\pi)/\omega$. A frequência f é definida como o inverso do período - $f = 1/T$,
- (ii) para um dado instante ($t = \text{constante}$), y varia periodicamente com o espaço. Ao período espacial chama-se *comprimento da onda*, sendo $\lambda = 2\pi/k$.

A função co-seno é também considerada sinusoidal uma vez que a sua representação gráfica (Figura 1.11) é semelhante à da função seno (difere de uma fase de 90° ou $\pi/2$ radianos):

$$\cos(x - \pi/2) = \sin(x)$$

As ondas do mar são apresentadas, de modo simplificado, como ondas sinusoidais, caracterizadas por uma amplitude A e um período T , durante o qual percorrem uma distância λ (Figura 1.11). Mas na realidade as ondas do mar são mais complexas: podem ser decompostas na sobreposição de ondas sinusoidais de diferentes amplitudes, frequências e direções de propagação (séries de Fourier).

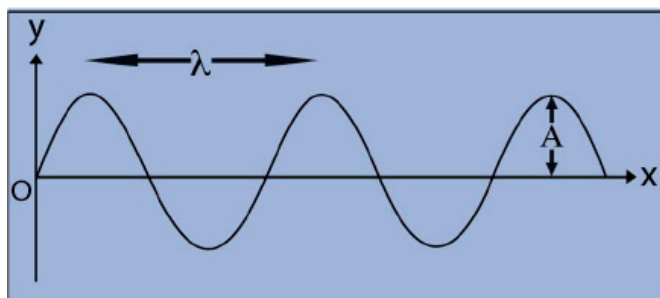


Figura 1.11
Função sinusoidal num
dado instante t .

Nem só de ondas vive o mar, lágrimas de mar salgado, mar salgado de iões salinos tais como: cloreto (Cl^-) – 55,04 %m (%m significa percentagem em massa); sódio (Na^+) – 30,61 %m; sulfato (SO_4^{2-}): – 7,68 %m; magnésio (Mg^{2+}) – 3,69 %m; cálcio (Ca^{2+}) – 1,16 %m e potássio (K^+) – 1,10 %m. Esta composição pode variar consideravelmente com a profundidade, localização geográfica, processos biológicos e químicos, entre outros. A água do mar também contém grandes quantidades de gases dissolvidos, principalmente azoto, oxigénio e dióxido de carbono.

A água do mar tem uma salinidade média de 35‰. Isto significa que em cada litro de água do mar há 35 gramas de sais dissolvidos (a maior parte é cloreto de sódio, NaCl). Esta água não é potável, devido à sua alta concentração em sais.

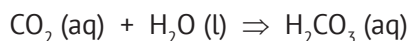
O azoto, o fósforo e o enxofre são macronutrientes importantes para a vida marinha, principalmente para as plantas, produção primária que serve de alimento para muitos organismos marinhos.

O dióxido de carbono (CO_2), por ser solúvel na água, circula constantemente entre esta e o ar:

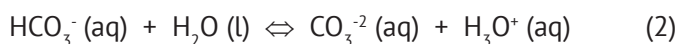


A água tem um papel fundamental como sorvedouro deste gás que é um dos responsáveis pelo aquecimento global. Ao ser dissolvido na água, o dióxido de carbono assume um papel importante no pH das águas.

Na sua forma aquosa o dióxido de carbono reage com a água:



Por sua vez o ácido carbónico (H_2CO_3), que é um ácido diprótico, dissocia-se de acordo com as reações:



Estas reações são perfeitas soluções tampão. Uma solução tampão é uma solução de um ácido ou de uma base fraca e do seu sal; ambos os componentes devem estar

presentes. A solução resiste a variações do pH resultantes da adição de pequenas quantidades, quer de ácidos, quer de bases.

A reação (1) é responsável por manter o pH das águas doces entre 5 e 5,5 e a reação (2) é responsável por manter o pH dos oceanos, entre 8 e 8,5. A diferença entre os valores de pH reside na composição química das águas. As águas do mar devido à presença de corais, de conchas de moluscos e de outros organismos com estruturas compostas e da precipitação de química de calcários, que fornecem e incorporam carbonatos (CO_3^{2-}), mantêm o equilíbrio da reação (2).

A adição de cal viva (CaO) é utilizada para a redução da acidez de lagos e de solos, a este processo é chamado calagem.

A exposição ao Sol leva ao aumento da temperatura da superfície da Terra. A capacidade calorífica (C) é a quantidade de calor necessária para elevar de um grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$) a temperatura de uma dada quantidade de substância, a qual está relacionada com o calor específico (c). O calor específico de uma substância é a quantidade de calor necessário para elevar de um $^{\circ}\text{C}$ a temperatura de um grama da substância. Portanto, $C = mc$.

O calor específico da água é $4,184 \text{ J/g } ^{\circ}\text{C}$ e, por exemplo, o calor específico de uma rocha com uma percentagem importante de ferro (Fe), é inferior ao da água ($c_{\text{Fe}} = 0,444 \text{ J/g.}^{\circ}\text{C}$). Portanto, a capacidade calorífica das rochas é muito menor que a dos oceanos. Isto é, se a quantidade de calor fornecido a 1 kg de água e a 1 kg de rocha, for a mesma, causa um maior aumento de temperatura na rocha.

Por outro lado, a enorme quantidade de água dos oceanos dilui o calor absorvido da radiação solar e a maior condutividade térmica da água face à das rochas, justificam que se considerem os oceanos como um importante agente moderador térmico do planeta.

Por estas razões, gera-se um gradiente de temperatura nas zonas costeiras, o que explica a formação de brisas marítimas, características de certas horas do dia.

Uma região litoral pode ser subdividida em zonas correspondentes às várias linhas de costa relativamente às marés: a região supralitoral ou zona de *splash*, raramente ou nunca coberta por água mesmo na maré-alta, está sujeita a frequentes borrifadelas das ondas; a região eurolitoral, ou verdadeira zona intertidal ou entremarés, é a parte inclinada da praia e estende-se entre os níveis das mais altas e baixas marés, podendo ser dividida em zonas intertidais elevadas, médias e baixas. A região sublitoral ou zona subtidal (ou pré-praia ou antepraia), nunca está descoberta, mesmo nas marés muito baixas, mas é influenciada pela ação das marés (e.g., por mudanças na turbulência, turvação e penetração da luz).

As praias rochosas constituem ecossistemas muito ricos, pois reúnem uma série de fatores favoráveis ao desenvolvimento de uma grande diversidade de seres vivos.

As algas e os animais que vivem num habitat intertidal rochoso devem ser capazes de suportar o impacto das ondas e os períodos de secura das marés baixas (baixa-mar). As rochas criam um suporte estável para algas e animais e, durante a maré baixa, nelas se formam pequenas poças (Figura 1.12). Nestas poças são capazes de sobreviver caranguejos, gastrópodes, bivalves e cracas (crustáceos cirrípedes), bem como vários tipos de algas. Quando a maré enche (preia-mar), animais de maiores dimensões, tais como peixes e crustáceos, são capazes de tirar partido do abrigo e do alimento que o habitat rochoso lhes proporciona.

Atendendo à natureza do substrato e dos atributos dos organismos em questão, os animais bênticos ou bentónicos podem viver na superfície do substrato constituindo a epifauna, ou formas epibênticas, tais como a maioria das anêmonas do mar, muitos gastrópodes e cirrípedes. Considerando as suas capacidades locomotoras, ou a falta delas, neste habitat intertidal existem animais geralmente muito móveis e ativos e, por isso, designados por errantes (e.g., caranguejos e alguns vermes, sobretudo anelídeos), enquanto que os que se agarram firmemente ao substrato são sésseis (e.g., esponjas, cnidários e cracas). Outros não estão agarrados, ou agarram-se fracamente, mas geralmente não se movem muito, sendo descritos como sedentários (e.g., estrelas-do-mar, ouriços-do-mar, anêmonas e alguns bivalves).



Figura 1.12

Poças geradas durante a maré baixa na praia da Apúlia.

Nas poças da praia rochosa são facilmente reconhecidas algumas algas verdes, nomeadamente, alface-do-mar (*Ulva* sp.). Contudo, e de acordo com Honrado et al. (2002), a maioria das algas inventariadas na praia da Apúlia são algas vermelhas (RODOPHYTA) – *Bornetia secundiflora*, *Ceramium* sp., *Chondrus crispus*, *Corallina* sp., *Gelidium pulchellum*, *Gelidium sesquipedale*, *Gigartina pistillata*, *Gymnogongrus crenulatus*, *Hildenbrandia rubra*, *Litophyllum incrustans*, *Mastocarpus stellatus*, *Petrocelis cruenta*, *Plocamium cartilagineum*, *Porphyra linearis*, *Porphyra umbilicalis*, *Pterosiphonia complanata*. Apesar de não inventariadas nesta praia durante o referido estudo, as

algas castanhas (PHAEOPHYTA) são as que geralmente se associam à designação generalizada de “sargaço”, concretamente as algas dos géneros *Laminaria* e *Fucus*. Assim, o sargaço recolhido nesta região, e que é utilizado como fertilizante agrícola, consiste numa mistura de algas ricas em nutrientes postas a secar no areal e, posteriormente, armazenadas por empilhamento em medas (Figura 1.13).



Figura 1.13
Sargaço exposto ao Sol e amontoado em medas.

1.2. A praia de Ofir

No litoral, as ondas do mar são responsáveis pela acreção de sedimento à praia. A partir daqui, o papel de modelador da morfologia dunar pertence ao vento. As dunas resultam da diminuição da capacidade de transporte da areia pelo vento, formando um gradiente granulométrico no sentido do continente (diminuição do tamanho do grão).

Uma das formas elementares de uma duna é a de uma elevação em crescente-lunar com a convexidade mais suave virada para o vento – duna *barcane* (Figura 1.14).

As areias das praias e das dunas de praia de Ofir são constituídas essencialmente por quartzo, feldspato potássico, moscovite e biotite revelando, deste modo, a composição das rochas mãe (granitos e algumas rochas metamórficas).

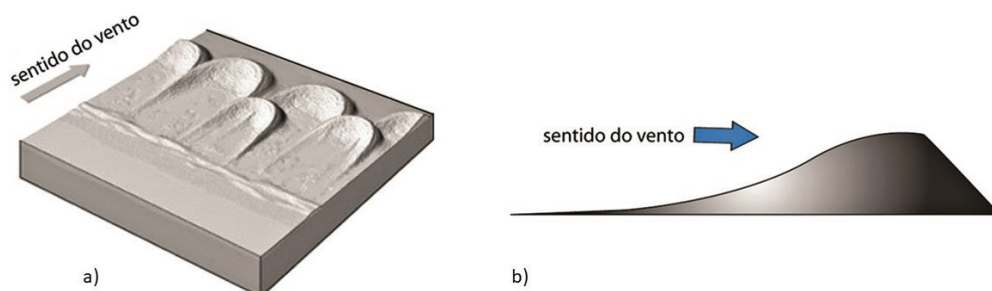


Figura 1.14
Morfologia de um sistema de dunas *barcane*: a) representação esquemática a 3D e b) secção vertical paralela ao eixo maior de uma duna *barcane*.

A ondulação procedente de NW transporta sedimentos que vão sendo depositados (tanto no setor imerso, como no setor emerso) ao longo do litoral com migração para sul. A construção de esporões conduz a que, a norte destas estruturas antrópicas, haja deposição de sedimentos (Figura 1.15). A sul das mesmas, pela ação combinada da diminuição dos sedimentos que resulta da interrupção da migração das areias (provocada pela orientação do esporão – aproximadamente perpendicular à linha de costa) e da difração das frentes de onda, ocorrem perdas de massa assinaláveis.



Figura 1.15

Morfologia costeira – ondas de superfície (a preto) e influência da construção de esporões (setas vermelhas).

A utilização de esporões como solução para diminuir, em dada zona, a erosão costeira, resolve o problema a norte, mas agrava-o a sul.

Dos diversos fenómenos ondulatórios observáveis na costa, podemos destacar a difração das ondas do mar (as ondas contornam o esporão alterando a direção da frente de onda) e as reflexões que ocorrem na costa, que em conjunto geram um padrão de interferência.

Na praia de Ofir o areal é extenso na maré baixa e os blocos de rocha parecem restringir-se aos esporões construídos para “domar” o mar.

A vida animal está visivelmente pouco representada. Mesmo que não sejam vistas a esvoaçar, pequenas aves como pilritos (Scolopacidae: *Calidris*), rolas do mar (*Arenaria interpres*), borrelhos (Charadriidae: *Charadrius*) e gaivotas (Laridae: *Larus*) deixam as suas pegadas no areal (Figura 1.16), sobretudo perto dos detritos, onde também se encontram organismos de pequenas dimensões.



Figura 1.16
Pegadas de gaivota e borrelho, na praia de Ofir.

Destes animais, um dos mais típicos é a famosa pulga-da-areia, o crustáceo anfípode *Talitrus saltator*, fácil de encontrar perto dos detritos deixados pelo mar no areal; um outro crustáceo, neste caso o isópode *Sphaeroma serratum*, poderá fazer-lhe companhia. Dificilmente visíveis a olho nu, existem organismos que fazem parte da fauna intersticial ou meiofauna e da microfauna.

No areal, a influência direta do mar, e concretamente da salinidade, diminui em função da distância ao nível médio da maré-alta. A partir de um determinado teor de salinidade, as condições ambientais tornam-se compatíveis com a vida vegetal superior, permitindo a instalação das primeiras plantas, os pioneiros da sucessão primária (Figura 1.17). A vegetação natural é de extrema importância na fixação das areias durante o processo de formação dunar, favorecendo a estabilização da faixa costeira.



Figura 1.17
Plantas da sucessão primária, onde se destaca o feno das areias (*Elymus farctus*) – Praia de Ofir.

Os sistemas dunares da zona NW de Portugal podem ser agrupados, de um modo simplificado, em: (i) dunas frontais, associadas ou não a (ii) dunas embrionárias (degrau de praia), (iii) dunas parabólicas e (iv) dunas transversais. Estes sistemas dunares ocupam áreas restritas, em comprimento e largura, e para norte do estuário do Cávado, o tipo de dunas que se estendem para leste da duna frontal é difícil de reconhecer devido à ocupação por campos agrícolas e florestas (Granja & Carvalho, 2003).

A zona pré-dunar (duna embrionária ou degrau de praia) corresponde à acumulação de areias por travagem do vento nas primeiras irregularidades do terreno, em tufo de vegetação halófito, que vai colonizando a antepraia. Forma-se assim uma plataforma arenosa dominada pela gramínea conhecida por feno das areias (*Elymus farctus*), planta perene de crescimento muito rápido, rizomatosa e muito flexível, cujas longas raízes fixam com eficácia as areias móveis onde se desenvolve. É também possível encontrar uma planta da família das brassicáceas, eruca-marítima ou carqueja mansa (*Cakile maritimum*), e o cardo marinho (*Eryngium maritimum*) da família das apiáceas ou umbelíferas.

Na zona dunar propriamente dita (duna frontal, primária ou duna branca), encontra-se de novo o cardo marinho, o estorno (*Ammophila arenaria*), uma das espécies de gramínea mais emblemáticas a nível da estabilização dunar, e ainda os cordeirinhos da praia (*Otanthus maritimus*), uma asterácea ou composta pouco óbvia. Na zona de transição para o mato pode observar-se o desenvolvimento de estevinha, “sargaço-manso” ou “sargaço-mouro” (*Cistus salvifolius*), género-tipo da família Cistaceae. Junto destas, observam-se espécies exóticas, tais como, o chorão das praias *Carprobutus edulis* (= *Mesembryanthemum edulis*) e a acácia (*Acacia longifolia*), que foram introduzidas com o objetivo de fixar as areias dunares. A fácil expansão destas plantas, às quais se atribui o estatuto de invasores (Marchante et al., 2008), contribui para a diminuição da flora autóctone empobrecendo a biodiversidade original. Mais para o interior surgem os povoamentos de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) marcados pela “nortada”.

Olhando para leste, impõe-se na paisagem a arriba fóssil do monte de S. Lourenço (Figura 1.18), que constitui a manifestação de um antigo local do maciço granítico, sobre o qual o mar atuou.



Figura 1.18
Arriba fóssil do monte de S. Lourenço.

1.3. O estuário do Cávado

A fraturação Alpina é obliqua à orientação das cadeias montanhosas Variscas. Assim, os principais cursos de água, nomeadamente o rio Cávado, encaixaram-se neste sistema de falhas com a orientação atual ENE-WSW.

Os cursos de água apresentam, a montante, maior velocidade, erosão acentuada das rochas, elevada capacidade de transporte de sedimentos e morfologia aproximadamente retilínea. Na zona de estuário, a jusante, a menor velocidade do curso de água implica uma maior deposição de sedimentos e uma morfologia meandriforme. Como resultado dá-se o assoreamento da barra.

O aquífero deste litoral apresenta características hidrogeológicas que permitem classificá-lo como um aquífero livre em meio poroso. Assenta sobre rochas metamórficas do Ordovícico e circula numa camada de cascalho (cascalhos do Holocénico e do Quaternário Antigo) de espessura variável, mas não raras vezes, decamétrica.

A extração intensiva de água subterrânea para consumo humano e agrícola, ao deprimir a volumetria deste aquífero, terá implicações na sua qualidade ao permitir a intrusão subterrânea da água salgada na água doce (cunha salina), tornando-a salobra.

Um estuário é a parte de um rio que se encontra em contacto com o mar. No Cávado, a junção destas águas com as do oceano Atlântico origina uma água salobra – com mais sais dissolvidos que a água doce e menos do que a água do mar, tendo entre 0,5 a 30 gramas de sal por litro (0,5 – 30 ‰), variando com as marés. Um estuário é geralmente uma região com elevada produtividade devida aos nutrientes

transportados pelas águas. No entanto, dado ser uma região confinada, os efeitos da poluição são mais notórios podendo alterar negativamente a biodiversidade.

Ao longo do dia, as variações do nível médio da água do mar junto à costa resultam da atração conjunta e concorrente das massas da Terra, da Lua e do Sol (por ordem de importância) sobre a massa de água dos oceanos.

As posições da Lua e do Sol relativamente à Terra (Figura 1.19) produzem pequenas variações nas forças gravíticas que atuam sobre a água, que devido ao seu carácter fluido se conforma ao contentor esférico em que se encontra, de modo a diminuir a sua energia potencial. Em certas ocasiões, nas fases de Lua cheia e de Lua nova, a Lua e o Sol conjugam-se de modo a potenciar os seus efeitos, produzindo as chamadas marés vivas, caracterizadas por preia-mares de grande altura e baixa-mares muito baixas. Num dado momento, há sempre duas marés-altas na Terra: a maré direta, no lado que está voltado para a Lua e a maré indireta no lado oposto.

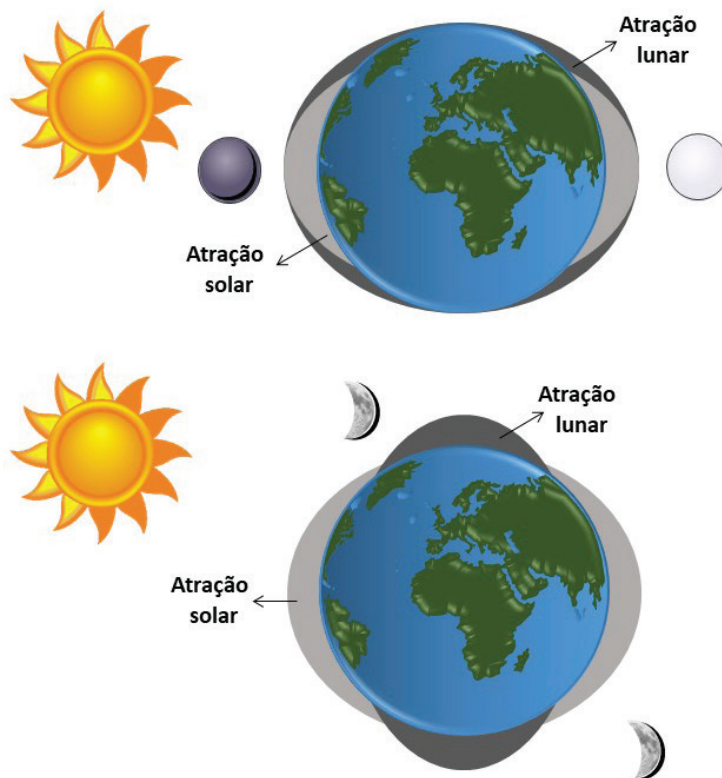


Figura 1.19

Fases da Lua: nas luas cheia e nova, as forças gravitacionais do Sol estão na mesma direção das da Lua, produzindo marés mais altas (marés vivas); nas luas em quarto crescente e quarto minguante as forças gravitacionais do Sol estão em direções diferentes das da Lua, anulando parte delas, produzindo marés mais baixas – *marés de quadratura*.

O estuário do Cávado, a zona de praias e o cordão dunar fazem parte da Área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende (APPLE), criada em 1987. Na margem sul, o estuário é separado do mar por uma longa restinga, a montante da qual existe a principal área de sapal do estuário. Na zona costeira, a norte da embocadura, existe uma praia de areia e a sul da restinga são comuns formações rochosas.

No sapal são de destacar a morraça (*Spartina maritima*) e o junco marítimo (*Juncus maritimus*), espécies vegetais utilizadas para a nidificação de certas aves, sobretudo anatídeos e limícolas.

A ictiofauna referenciada a jusante da ponte de Fão, inclui a lampreia (*Petromyzon marinus*), a enguia (*Anguilla anguilla*), o robalo (*Dicentrarchus labrax*), a taíinha (Mugilidae: *Mugil cephalus*), a boga (*Boops boops*), o salmão (*Salmo salar*), a truta marisca (*Salmo trutta*), o sável (*Alosa alosa*) e a savelha (*Alosa fallax*), a solha (*Pleuronectes platessa*) e a solha-das-pedras (*Platichthys flesus*).

As atividades mais emblemáticas que se realizam no estuário do Cávado são a pesca à lampreia (entre janeiro e março) e também, a polémica pesca ao “machão”, “meixão”, enguia-de-vidro, galeota, loura, irozinha ou angula que se realiza de noite, entre abril e outubro.

Em Portugal, a pesca à lampreia realiza-se em quase todos os rios a norte do Mondego, contudo, talvez os rios Minho, Lima e Cávado tenham mais tradição e mais “artes”, tanto na forma de pescar, como de cozinhar este ciclóstomo. A variedade de artes da pesca da lampreia na Foz do Cávado demonstra uma extraordinária capacidade de compreensão, por parte do pescador, do espaço ecológico do estuário. Conforme a zona do rio, a arte varia, e a escolha é feita a partir de um “olhar” atento e experimentado, da pesca com rede de tresmalho à estacada (Campelo, 2002).

A enguia europeia, *Anguilla anguilla*, é um peixe catádromo facultativo. Alguns indivíduos desta espécie completam o seu ciclo de vida sem deixar o oceano, mas outros passam parte da fase juvenil e a vida adulta em água doce, regressando ao mar apenas para a postura. A fase larvar é passada no mar, e após 1 a 7 anos, as enguias de vidro entram nos estuários, tornando-se pigmentadas e residentes em água salobra e doce.

Nos finais do século XX, o apetite pela enguia europeia, sobretudo por estas fases juvenis – “machão” ou enguia branca - deu origem a uma verdadeira máfia e contribuiu para o declínio da espécie (Galvão, 2008). Para evitar este processo, está em curso um projeto para desenvolver ferramentas para Portugal, Espanha e França, de forma a evitar a extinção desta espécie (Serafim, 2018). A pesca do meixão foi proibida em 2001 em todos os rios portugueses, à exceção do rio Minho, onde a lei só permite a captura de espécimes adultos com tamanho superior a 22 cm (a enguia amarela e a prateada). É pois no paredão da foz do Cávado que, em noites de bom tempo com maré propícia, se reúnem multidões de forasteiros para assistir a discussões com as autoridades marítimas (sobre as licenças e a utilização de lampiões) e às manifestações dos desejos dos pescadores.

1.4. O monte de S. Lourenço

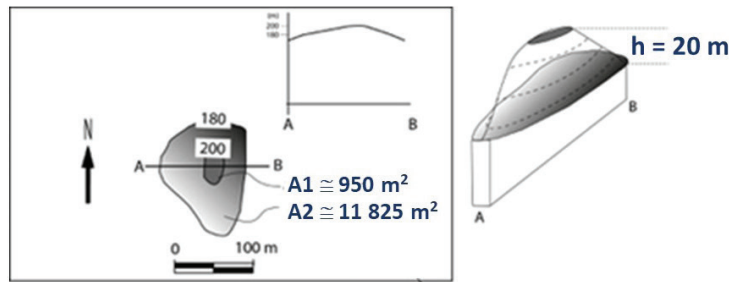
O monte de S. Lourenço constitui um maciço granítico que apresenta uma forma de relevo designada por *Tor*, definida pela acumulação de blocos de geometria prismática (frequentemente com as arestas arredondadas) *in situ*, respeitando os sistemas de diaclases das rochas.

No sopé do monte de S. Lourenço ocorrem cascalheiras de origem marinha, tal como seria de esperar, visto o mar, por transgressão marinha, já ter estado junto a esta elevação. Por baixo do cascalho, curiosamente, ainda se observam quartzitos de idade Ordovícica (Formação de Sta. Justa).

Dada a importância do cálculo de reservas de produtos pétreos (a título exemplificativo, a produção anual de algumas pedreiras é da ordem das 30 000 toneladas) no que respeita ao planeamento do tempo de vida duma pedreira, procedeu-se ao cálculo da volumetria e tonelagem dum setor do maciço granítico, com base no volume definido pelas curvas de nível e na densidade média do granito (Figura 1.20), de modo a que se possa ter uma noção no terreno do significado dos valores envolvidos. É de salientar, também, a importância da atividade industrial ligada à extração de produtos pétreos, no quadro da produção do setor primário em Portugal, desde que efetuada com o devido enquadramento técnico-legal.

No período do Bronze final (1300 a 700 aC), este monte foi habitado por populações pré-romanas que deixaram vestígios, ainda visíveis, nomeadamente das suas habitações de formas retangular e circular. O círculo era considerado pelos nossos antepassados a forma mais enigmática de todas, a forma perfeita. Trata-se da forma que contém a maior área no menor perímetro (maximiza a área minimizando o perímetro). Talvez por isso, os habitantes deste castro tenham optado por esta geometria para as suas habitações, curiosamente com dimensão inferior a um T0 atual ($\pm 35 \text{ m}^2$). Como exemplo, foi avaliada a área de uma das habitações tendo-se obtido:

$$A = \pi r^2 = 15 \text{ m}^2, \text{ com } r = 2,2 \text{ m}$$



$$\text{Volume} = h(A1 + A2)/2$$

$$\text{Volume} \cong 127\,750 \text{ m}^3$$

$$\text{Massa} = \rho \cdot \text{volume}$$

$$\text{Massa} \cong 332\,150\,000 \text{ kg}$$

$$\rho = 2,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

(densidade média do granito)

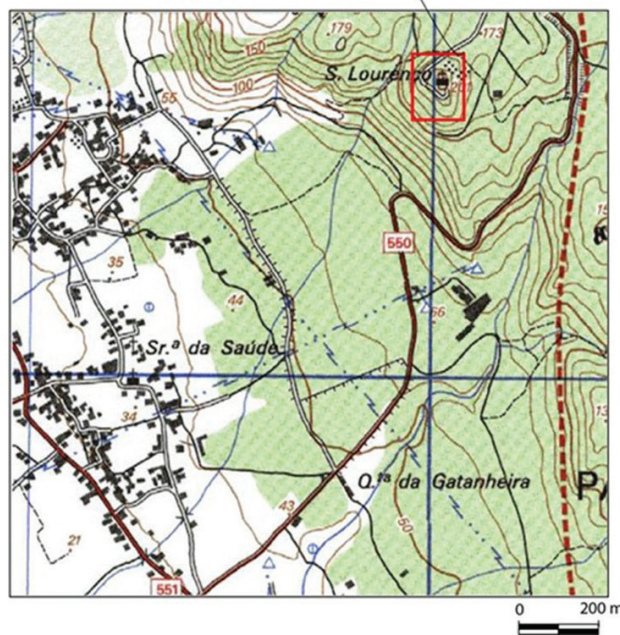


Figura 1.20
Cálculo da volumetria e da massa dum setor do maciço granítico – S. Lourenço (Esposende). Mapa topográfico adaptado da carta topográfica n.º 68, à escala 1/25 000, IgeoE.

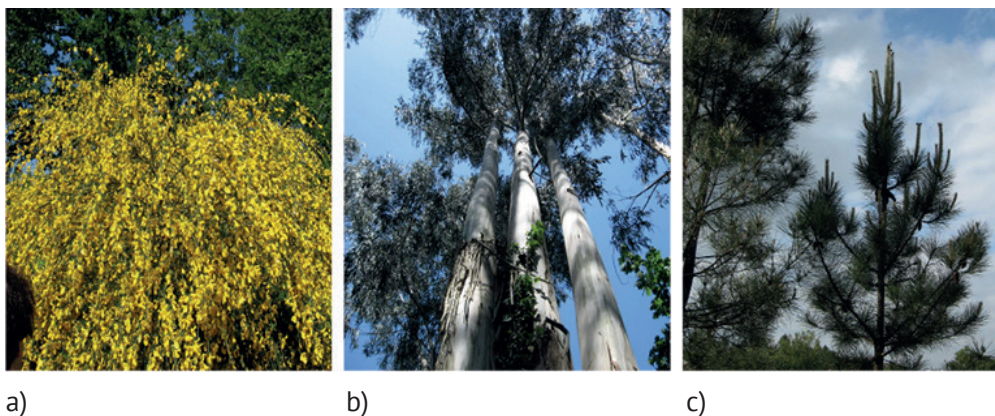
A vista panorâmica do alto do monte de S. Lourenço (Figura 1.21) espraia-se até à linha do horizonte no Oceano Atlântico. Apesar de não visíveis, o fértil quadriculado desenhado na paisagem reporta-nos às masseiras ou gamelas, metodologia agrícola ancestral, típica desta região. Designam-se por masseiras, as zonas de cultivo cavadas nas dunas e fertilizadas com o sargaço recolhido do mar, onde os produtos hortícolas são, ou antes, eram (dado que esta prática está em vias de extinção) cultivados próximo do nível freático exclusivamente de água doce. Deste modo, consegue-se uma ótima produtividade agrícola num local pouco provável. A bordadura destas covas feita com vinha para produção de vinho muito particular (amadurecido pelo aquecimento das areias pelo Sol), protege a zona central rebaixada, da famosa “nortada” da região e das areias por ela trazidas, produzindo o efeito de uma estufa sobre a zona cultivada. Nesta área aquecida, a humidade necessária aos legumes cultivados é assegurada pela proximidade do nível freático. Atualmente, esta forma de agricultura biológica está a ser substituída pelas estufas, dado que a especulação imobiliária recruta grandes quantidades de areias (removidas das dunas) e de área, para a construção civil.

Figura 1.21
Vista panorâmica, a partir do monte de S. Lourenço, do litoral de Esposende.



Por alturas de maio, é impossível não sentir neste local o cheiro das maias.... misturado com o dos eucaliptos, dos pinheiros bravos (Figura 1.22) e dos cardos. As maias são plantas arbustivas de flor amarela, também vulgarmente designadas por giestas. Esta planta da família Fabaceae, vulgarmente designada por leguminosas, está em Portugal representada pela espécie *Cytisus striatus*. Este arbusto pode ter de 1 a 3 metros de altura, ramos abundantes, estriados e flexíveis e folhas com três folículos que aparecem na base dos ramos e caem rapidamente. As flores solitárias de grande tamanho possuem cálice em forma de campânula com cinco pétalas amarelas. O fruto é uma vagem arredondada (até 3,5 cm de comprimento) completamente coberta de pêlos acinzentados.

Figura 1.22
Vegetação do monte de S. Lourenço: a) giesta; b) eucalipto; c) pinheiro.



No norte de Portugal é tradição exibir nas portas e janelas, sobretudo das habitações, um ramo de giesta no 1.º dia de maio, alegadamente como proteção contra o carrapato (o demónio ou o mau-olhado), razão pela qual, as plantas do género *Cystus* são conhecidas por maias. A este género pertencem outras espécies de giestas cujos ramos eram tradicionalmente utilizados na manufatura de vassouras. Na língua inglesa as giestas têm o nome comum de “broom” que significa vassoura. A espécie *Cystus scoparius* é chamada de “Portuguese broom” e em português é conhecida pelo nome vulgar de giesteira das vassouras.

Um outro cheiro que se destaca dos intensos aromas que o tempo quente amplia, é o dos eucaliptos. Estas grandiosas árvores nativas da Oceânia (quase todas da Austrália) pertencem ao género *Eucalyptus*, se bem que o nome vulgar também se utiliza para reconhecer outras mirtáceas, nomeadamente dos géneros *Corymbia* e *Angophora*.

Uma das espécies mais comuns na Península Ibérica é *Eucalyptus globulus*. As folhas persistentes estão cobertas de glândulas que segregam óleo que é o responsável pelo aroma característico destas árvores, que exibem dimorfismo foliar: quando jovens, as suas folhas são opostas, de ovais a arredondadas, mas após um a dois anos de crescimento, esta espécie passa a apresentar folhas alternadas, lanceoladas a falciformes (com forma semelhante a uma foice), estreitas e pendidas a partir de longos pecíolos.

De crescimento rápido, estas árvores têm um ritidoma fibroso que pode ser retirado em grandes pedaços de textura esponjosa. Facilmente reconhecíveis são também os seus frutos lenhosos muito aromáticos, de forma vagamente cónica contendo válvulas que se abrem para libertar as sementes.

A paleta de aromas presentes no monte de S. Lourenço deve-se a uma classe química característica, os terpenos, que constituem uma diversificada família de substâncias naturais. Do ponto de vista químico, a cadeia principal é derivada da família dos hidrocarbonetos, compostos de carbono e hidrogénio e grupos funcionais do tipo aldeído ou carboxílico. Alguns são os precursores de certas vitaminas, nomeadamente das vitaminas A, K, e E. Estes compostos encontram-se em sementes, raízes, folhas, flores e madeira de plantas superiores e, ainda, em musgos, algas e líquenes.

Ao grupo dos terpenos pertencem ainda o fitol (que faz parte da constituição da clorofila e dos carotenóides), o glicerol e o mentol (constituintes da maioria dos azeites aromáticos). Os terpenos têm, portanto, utilização nas indústrias cosmética, farmacêutica e alimentar.

1.5. A praia da Amorosa

Na praia da Amorosa afloram para além dos sedimentos (areias) do Holocénico, as rochas do Paleozóico pertencentes à formação de Valongo (filitos carbonosos). A praia termina numa arribo mais ou menos inclinada, escavada pelo mar nas dunas frontais, em cuja face abrigada se desenvolvem (quando podem!), associações vegetais características das sucessões primárias de sistemas dunares (Figura 1.23).



Figura 1.23
Associações vegetais
características do
sistema dunar frontal –
Praia da Amorosa.

Admite-se que as dunas frontais deste litoral terão tido como primeira fase de formação dunas embrionárias ou degraus de praia praticamente não visíveis, dado o avançado processo de erosão. A ação do mar que nelas modelou uma arribo que está a recuar, associada à ação antrópica evidente nas obras costeiras, pisoteio humano e trânsito de veículos agrícolas e de lazer, cria corredores eólicos e *blow-outs* que favorecem a criação de dunas móveis (Gomes et al., 2002).

Assim, como consequência de um *blow-out* (pequena depressão provocada pela erosão eólica numa duna pré-existente, em setores de areia pouco consolidada ou com vegetação protetora danificada) gera-se uma duna que apresenta uma forma em *crescente* e que progride no sentido do vento dominante (Figura 1.24).

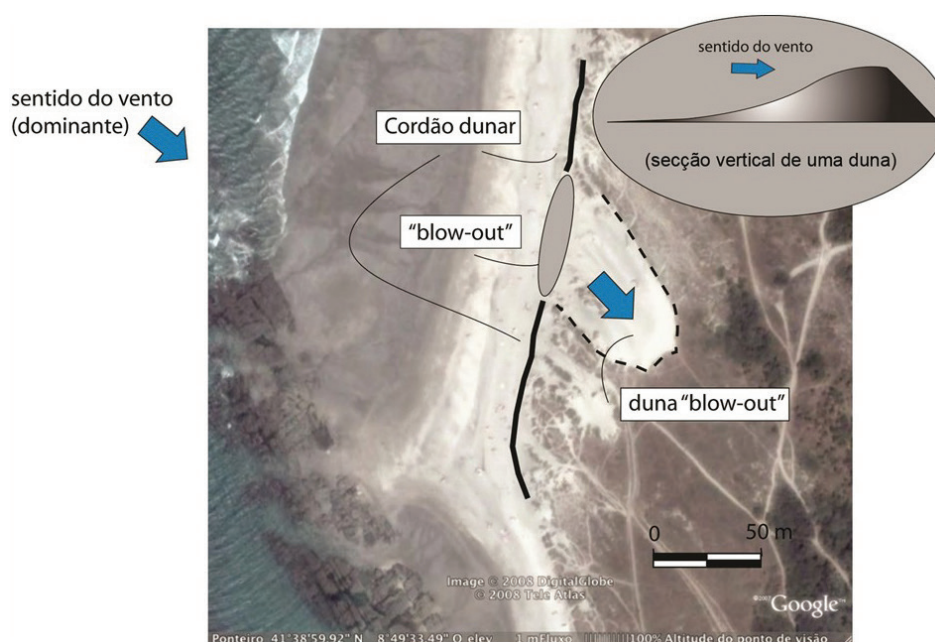


Figura 1.24
Litoral da Amorosa
(Viana do Castelo)
– *Blow-out* e duna
blow-out.

Na duna frontal ou cordão frontal de dunas, a vegetação começa a surgir no topo dominada pelo estorno (*Ammophila arenaria*), gramínea perene e rizomatosa que forma tufos verdes e que está geralmente associada à morganheira das praias (*Euphorbia paralias*), ao cardo marítimo (*Erygium maritimum*), planta vivaz herbácea e robusta da família Umbelliferae, às pequenas flores rosadas da família cariofilácea (Caryophyllaceae), conhecidas por alfinetes-das-areias (*Silene littorea*) e ao narciso ou lírio das areias (*Pancratium maritimum*) que pertence à família Amaryllidaceae.

Para lá do topo da duna frontal, o ambiente mais seco e abrigado do vento favorece o desenvolvimento de uma comunidade vegetal mais complexa, dominada por plantas anuais e arbustivas.

A madorneira (*Artemisia crithmifolia*), arbusto frequente nas dunas recuadas e a perpétua das areias (*Helichrysum picardii*), planta vivaz, lenhosa e aromática, são ambas da família das compostas e estão frequentemente acompanhadas por gramíneas: vúlpia (*Vulpia alopecurus*) planta anual que floresce de maio a julho/agosto, morrendo de seguida; erva-pinchoneira (*Corynephorus canescens*), planta vivaz cujas inflorescências em panícula são evidentes entre junho e agosto e formam tufos cinzento-azulados e os rabos de lebre (*Lagurus ovatus*) com inflorescência disposta em tirso denso, felpudo, com pedúnculo longo, mais para o interior da duna frontal.

A estas dunas cinzentas é acrescentada alguma cor pela presença de plantas como *Medicago marina*, leguminosa vivaz com inflorescências de 5 a 12 flores de corolas de cor amarela que florescem de abril a setembro; o goivinho da praia (*Malcomia littorea*) planta vivaz lenhosa da família das crucíferas que possui numerosos ramos estéreis e inflorescências de 5 a 20 flores de pétalas purpúreas ou brancas, fruto em silíqua com uma série de sementes e que floresce de janeiro a outubro e as flores azul escuras do morrião azul (*Anagallis monelli*), planta da família Primulaceae.

Mais densas e estabilizadas do que as da praia de Ofir, estas dunas são internamente bordeadas pelo pinhal cada vez mais reduzido e misturado com acácias.

Nesta área dunar a fauna não é muito visível pois está sobretudo representada por invertebrados de pequenas dimensões. Contudo, podemos ser surpreendidos por alguns répteis (Figura 1.25), que facilmente se confundem com a vegetação envolvente, mas põem-se a descoberto para apanhar banhos de Sol, porque são ectotérmicos.



Figura 1.25
Lacertídeo nas dunas –
Praia da Amorosa.

A abundante energia eletromagnética proveniente do Sol aumenta a temperatura das areias tornando-as um potente emissor de calor sob a forma de radiação infravermelha (IV). Se a Terra não perder toda a radiação IV pode manter a sua temperatura nas condições ideais para suportar a vida (efeito de estufa). A radiação UV, também emitida pelo Sol, constitui um perigo para a vida. Todavia, a vida é possível porque a maior parte desta radiação é absorvida pela camada de ozono (Figura 1.26).

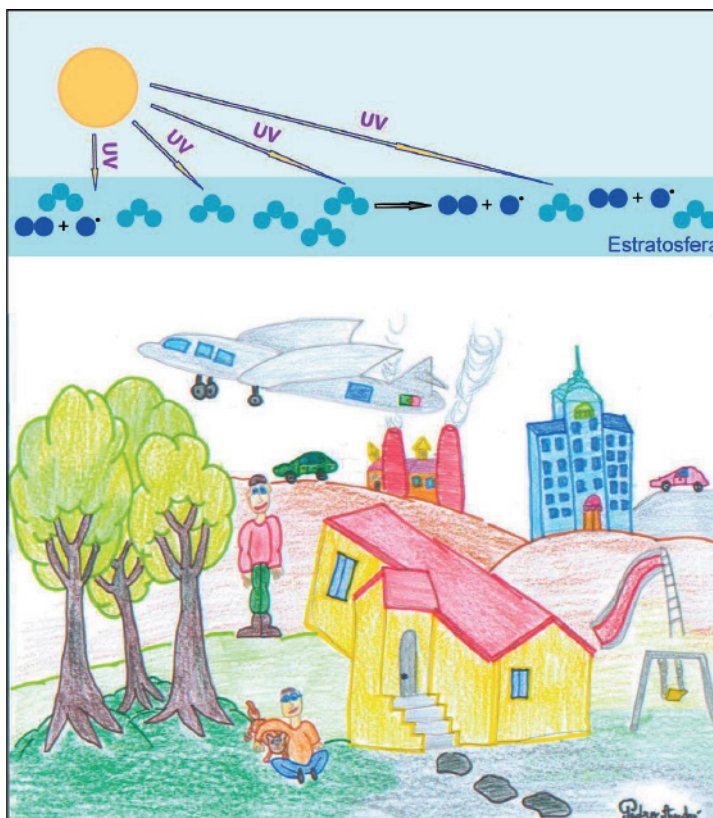


Figura 1.26
Radiação UV e a camada de Ozono.

A indústria farmacêutica tem desenvolvido uma série de protetores solares que defendem a pele contra este tipo de radiações. Muitos destes protetores têm na sua composição partículas de dióxido de titânio (TiO_2), que têm duas funções: refletem os raios solares e são cicatrizantes. Os protetores solares para crianças devem apresentar fatores de proteção elevada e ter na sua composição minerais.

Num magnífico dia de praia, o céu apresenta-se azul claro e intenso, enquanto num dia nublado, o cinzento mais ou menos claro é a cor dominante.

A luz visível interage de forma diversa com os componentes da atmosfera (gases, partículas e poeiras em suspensão). Assim, para os menores comprimentos de onda (cores do violeta ao azul), a luz é espalhada em todas as direções por sofrer múltiplas reflexões nas moléculas e nas poeiras em suspensão na atmosfera. Se não olharmos diretamente para o Sol, a luz que atinge os nossos olhos provém de todo o céu à nossa volta, ou seja, é azul. As outras cores sofrem muito menos dispersão e, logo, facilmente atravessam a atmosfera, pouco se “perdendo” por esse efeito. Por esta razão,

no levante e no ocaso, como a espessura de atmosfera atravessada pela luz solar é muito maior, consegue-se com algum conforto observar diretamente o Sol e vê-lo com tonalidades de amarelo a vermelho, passando pelo laranja. Da cor azul pouco recebemos diretamente, porque continua a dispersar-se.

As nuvens e as neblinas, por seu turno, dispersam de forma quase idêntica todos os comprimentos de onda da luz visível, tornando por isso o céu esbranquiçado.

O oceano, em princípio não tem cor, é transparente. Porém, como todos os materiais, acima de determinado ângulo de incidência, a luz que incide numa superfície é refletida, observando-se assim reflexões distantes da luz espalhada no céu.

Ao fim da tarde, na costa ocidental portuguesa, o oceano torna-se prateado se observado na direção do Sol poente. Esta percepção resulta da reflexão rasante em superfícies, mesmo as que normalmente não são refletoras, como a superfície do oceano. Mas a luz assim refletida é caracterizada por ser essencialmente polarizada horizontalmente, isto é, o campo elétrico da radiação oscila na direção horizontal (Figura 1.27), causando a saturação dos recetores óticos dos nossos olhos e produzindo a sensação de brilho intenso.

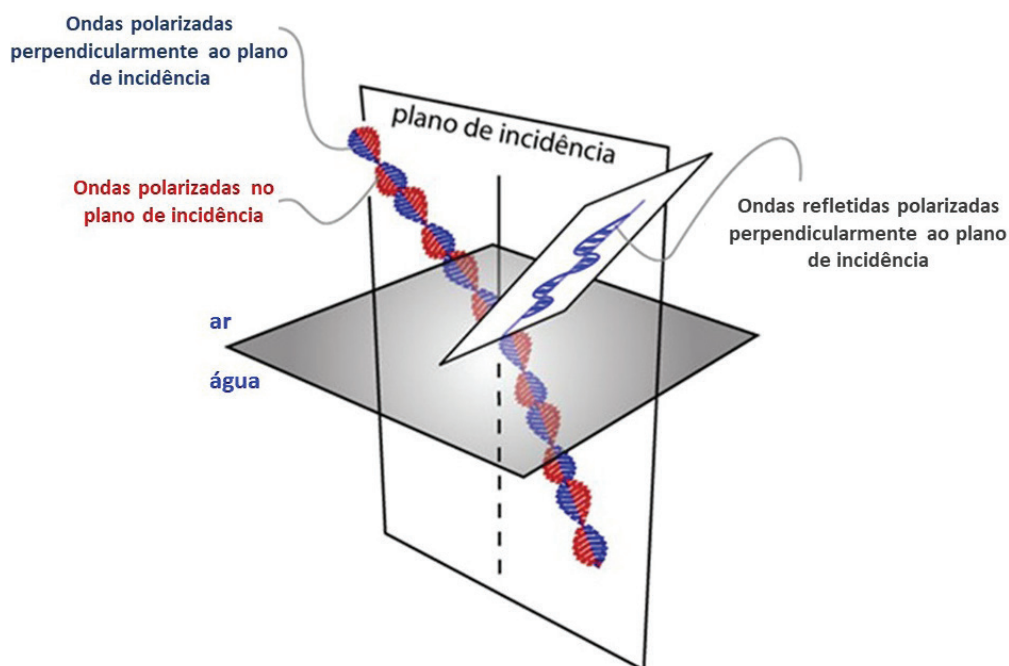
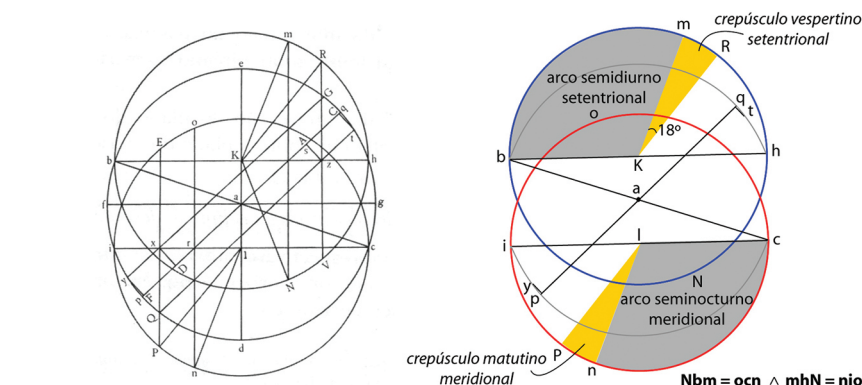


Figura 1.27
Polarização por reflexão: a luz com polarização horizontal é refletida enquanto a componente vertical da luz é absorvida pela água.

Pedro Nunes, na sua obra *De Crespusculis*, entre outros aspetos cosmográficos, descreveu o crepúsculo matutino (luz intermédia entre o dia e a noite, que ocorre, em cada lugar, antes do nascer do Sol) e o vespertino (luz intermédia entre o dia e a noite, que ocorre, em cada lugar, depois do ocaso do Sol) e a duração igual dos dias e das noites nos hemisférios norte e sul.

No seu estudo, Pedro Nunes escreve dois apêndices, Apêndice I e Apêndice II, e um Lema, nos quais demonstra que os pontos da eclíptica (órbita do Sol no seu movimento

atual em volta da Terra, num plano com inclinação de $23^{\circ} 28'$, sobre o plano do Equador), diametralmente opostos (hemisfério setentrional e hemisfério meridional), têm reciprocamente, as noites iguais aos dias e que os crepúsculos de um dado dia e num mesmo local, são também iguais (Figura 1.28).



A - Construção geométrica de apoio à demonstração dos Apêndices I e II e respectivo Lema do *De Crepusculis* de Pedro Nunes (extraído de Vilar, 2006)

B - Adaptado de A

a - centro da esfera celeste
pq - horizonte oblíquo
fg - equador
b, c - pontos da eclíptica diametralmente opostos
e, d - pólos da esfera celeste, o boreal e o austral
ead - eixo Norte-Sul da esfera celeste
ebdc - meridiano que passa por b e c
bh, ic - paralelos dos pontos b e c das eclípticas
qt - arco da depressão de b quando está em R
py - arco da altura de c quando está em P

Nbm - arco diurno setentrional
Nb, bm - arcos semidiurnos setentrionais
nio - arco diurno meridional
ni, io - arcos semidiurnos meridionais
mhN - arco nocturno setentrional
mh, hN - arcos seminocturnos setentrionais
ocn - arco nocturno meridional
oc, cn - arcos seminocturnos meridionais

Figura 1.28

Igualdade dos dias e das noites e das noites aos dias, em pontos diametralmente opostos e igualdade dos crepúsculos matutino e vespertino num lugar e no mesmo dia (adaptado de Vilar, 2006).

bmhN - "rebatimento" do paralelo do ponto b da eclíptica sobre o plano do meridiano ebdc e em torno do eixo bh
cnio - "rebatimento" do paralelo do ponto c da eclíptica sobre o plano do meridiano ebdc e em torno do eixo bh
msN - "rebatimento" da intersecção do plano do horizonte oblíquo pq com o do plano paralelo bh sobre o plano do meridiano ebdc e em torno do eixo bh
nro - "rebatimento" da intersecção do plano do horizonte oblíquo pq com o do plano paralelo ic sobre o plano do meridiano ebdc e em torno do eixo ic
b - quando o sol ocupa este ponto da eclíptica, descreve o "círculo" bmhN
c - quando o sol ocupa este ponto da eclíptica, descreve o "círculo" cnio

Notas - (1) Pedro Nunes usa a palavra "círculo" para designar, ora uma circunferência, ora a superfície plana delimitada por uma circunferência.
(2) Pedro Nunes não usa, no *De Crepusculis*, o termo "rebatimento".

Relativamente à igualdade entre crepúsculos, pode afirmar-se que sendo iguais os arcos dos tempos mR e nP, sê-lo-ão também qt (arco da depressão de b quando está em R) e py (arco da altura de c que está, então, em P). Nas palavras de Pedro Nunes "começa o crepúsculo matutino e acaba o vespertino, quando o sol (...) dista, respectivamente, antes do nascimento, ou depois do ocaso, 18 graus do horizonte, a partir do círculo máximo da esfera do mundo que passa pelo zénite e pelo sol".

2. Ponte de Lima e Serra de Arga: dos rios às encostas

Itinerário

2.1. Ponte de Lima

- O chafariz do Largo de Camões.
- A ponte medieval: construção geométrica do arco em ogiva e distribuição das forças.
- Vinho verde: uma certa química.
- Fabrico de pipas: determinação geométrica da altura das ripas.

2.2. O monte de Santo Ovídio

- Enquadramento geológico da região. Relações causa-efeito: estrutura-tectónica e a litologia *versus* geomorfologia.
- A equação de Bernoulli.
- Triangulação: um método geométrico de medição de terrenos agrícolas.
- Enquadramento das zonas agro-ecológicas: a várzea, a meia encosta e a montanha.
- Pinheiros e malmequeres – sucessão de Fibonacci na natureza.

2.3. Bertandos

- A Paisagem Protegida: diversidade florística e faunística.
- Zonas húmidas (*wetlands*).
- Composição da água doce.
- Caracterização geológica e hidrogeológica. Potencial mineiro. Instabilidade do alvéolo por perdas de massa.

2.4. Estorões

- Um mergulho no sistema de coordenadas polares.
- O efeito da corrente sobre os pilares e no transporte e deposição de sedimentos.
- Regime de escoamento laminar e turbulento, número de Reynolds.
- Ciclo biogeoquímico do azoto.
- Biomonitorização: utilização dos macroinvertebrados bentónicos.
- Importância do aluvião no conhecimento da geologia de uma região.

2.5. A portela da Bustarenga

- Sucessões ecológicas primárias e secundárias: o sucesso das exóticas infestantes.
- Veios de segregação metamórfica. Dobramento, xistosidade e lineações.
- Os sistemas de coordenadas esféricas. A projeção estereográfica.
- O sistema de posicionamento global (GPS – Global Positioning System).
- Escher: composições deformadas e não deformadas.

Ponte de Lima e Serra de Argá: dos rios às encostas

*Idades primevas sucessivas (...)
num planeta ainda sem vida,
um espectáculo sem espectadores.*

Feynman, 1991

Da observação da Natureza, do estudo da forma das montanhas, dos meandros dos cursos dos rios, do fluxo do vento, das estruturas das plantas, surgem numerosas e, por vezes, inesperadas, ligações entre as diversas ciências.

A elegância da Natureza mostra-nos os números de Fibonacci como que emergindo de um momento de inspiração matemática. Os modelos matemáticos nascem como metodologia científica capaz de estudar de forma objetiva, e de modo mais simples, problemas relacionados com situações, muitas vezes, comuns.

A Serra de Argá situada a Norte do rio Lima e ultrapassando os 800 metros de altitude, corresponde a um maciço granítico com forma elíptica encaixado em rochas metamórficas do Silúrico (Unidade do Minho Central). Esta serra domina a região apresentando vertentes íngremes e de topo aplanado, com vastas áreas praticamente despidas de vegetação e extensos campos de blocos.

Os filões aplito e aplito-pegmatíticos graníticos são muito comuns e desenvolvidos, podendo apresentar mineralizações em estanho (Sn), nióbio-tântalo (Nb-Ta) e lítio (Li), e os veios de segregação metamórfica são ricos em quartzo e andaluzite.

Neste setor, a deformação é caracterizada pela presença de estruturas penetrativas das duas últimas fases de deformação Varisca – 350 a 290 Ma (Figura 2.1).

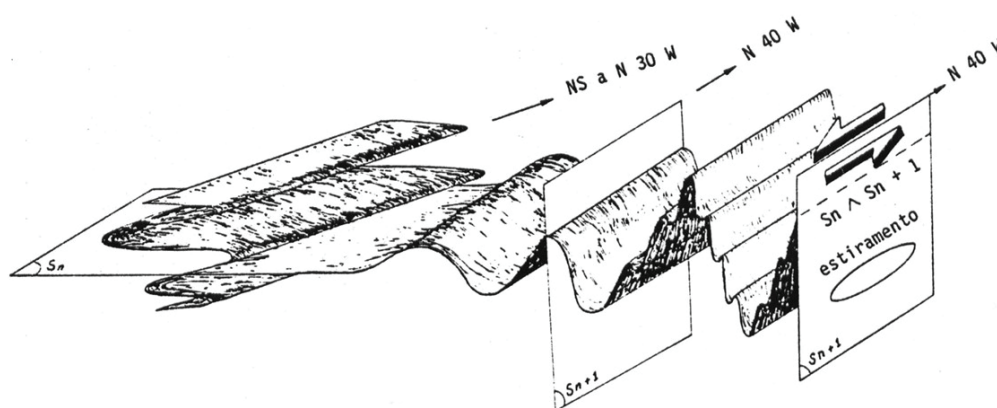
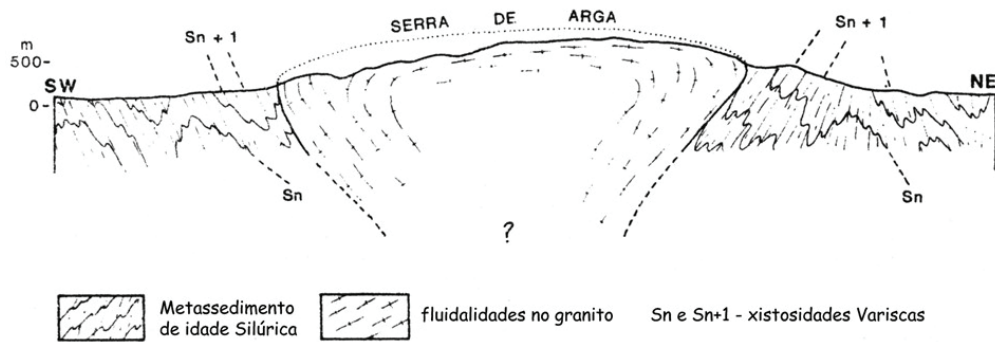


Figura 2.1
Representação a 3D das estruturas formadas durante os episódios tectónicos Variscos na região de Ponte de Lima (Dias, 1987).

Os maciços graníticos que intuíram o encaixante de idade Silúrica aproveitaram preferencialmente os núcleos dos antiformes, que se geraram no decurso do final da orogenia Varisca (Figura 2.2).



As linhas de água, que aproveitaram a estruturação Varisca, apresentam orientação preferencial NE-SW e NNW-SSE. No entanto, os principais rios do Minho (Minho, Lima, Ave e Cávado) estão alinhados segundo importantes lineamentos de idade Alpina, interceptando obliquamente a rede de drenagem relacionada com a fraturação Varisca.

O padrão de distribuição cartográfica dos corpos filonianos do parautóctone do Minho evidencia uma forte influência, tanto da deformação regional como da interferência desta com a instalação dos maciços graníticos sintectónico e sin a tardi-tectónicos (Pamplona et al., 2006).

Os solos do vale do Lima são predominantemente de origem granítica. As características edáficas associadas aos climas de transição desta região (entre os climas frios e húmidos do Norte da Europa, e os climas quentes e secos de África com influência mediterrânica e atlântica) permitem vislumbrar do monte de Santo Ovídio, três zonas agro-ecológicas distintas: a várzea, a meia encosta e a montanha. No vale do Lima, Ponte de Lima é o concelho mais agrícola sendo a agricultura marcada pela predominância de milho e vinha que se instalam sobretudo na veiga. A meia encosta compreende para além de zonas agrícolas, zonas de floresta ou bouças (de pinheiro e eucalipto) de considerável importância económica. A floresta natural é escassa mas nos locais onde foi preservada, tem elevado valor ecológico.

A flagrante tipicidade e originalidade do vinho verde resulta, por um lado, das características do solo, do clima e de fatores socioeconômicos, e, por outro, das peculiaridades das castas regionais e das formas de cultivo da vinha.



O vinho verde é um produto único no mundo, uma mistura de aroma e agulha que o tornam numa das mais deliciosas bebidas naturais.

Medianamente alcoólico e de ótimas propriedades digestivas, pela sua frescura e especiais qualidades, é um vinho muito apreciado, sobretudo na época quente

Os vinhos verdes com direito a Denominação de Origem Controlada (DOC) são elaborados numa extensa região demarcada e contribuem de forma significativa, para a economia da região. A atual Região Demarcada dos Vinhos Verdes estende-se por todo o Noroeste do país, na zona tradicionalmente conhecida como Entre-Douro-e-Minho. Esta região é limitada a Norte pelo rio Minho (fronteira com a Galiza), a nascente e a Sul por zonas montanhosas (separação natural de Entre-Douro-e-Minho e as zonas mais interiores de características mediterrânicas) e, a poente pelo Oceano Atlântico.

Com um vinho verde a acompanhar, existem sempre os famosos rojões à moda do Minho.

*Há um só banquete português
que desbanca
Todos os jantares de Paris;
Mas que os desbanca inteiramente:
é a ceia da véspera de Natal
nas nossas terras do Minho*

Ramalho Ortigão (1863-1915)

Rojões à Moda do Minho (para 4 pessoas)

800 g de perna de porco sem pele, mas com gordura

3,5 dL de vinho verde branco

3 colheres de sopa de banha

4 dentes de alho

2 folhas de louro

1 colher de sobremesa de colorau

sal e pimenta q.b.

20 castanhas assadas

350 g de belouras

350 g de tripa enfarinhada

100 g de fígado de porco

100 g de sangue cozido

Corta-se a carne de porco em cubos com cerca de 10 cm de lado, que se põem a marinar durante 2 horas com o vinho verde, os dentes de alho esmagados, sal, pimenta e o louro.

Leva-se ao lume (de preferência num tacho de ferro) e deixa-se cozer em lume forte até o vinho se evaporar. Junta-se então a banha e, em lume brando, deixam-se cozer os rojões até alourarem bem. Nessa altura junta-se ao molho o colorau dissolvido num pouco de vinho verde.

Retira-se então um pouco da gordura de cozer os rojões para uma sertã e fritam-se, a pouco e pouco, a tripa enfarinhada cortada em bocados de 3 cm a 5 cm, as belouras cortadas em rodela com 0,5 cm de espessura e o fígado e o sangue cortados em fatias.

À medida que estes ingredientes se vão fritando, juntam-se aos rojões, para manter tudo quente. Juntam-se também as castanhas assadas.

Servem-se numa travessa com batatinhas louras e enfeitadas com rodela de limão e raminhos de salsa.

Bom Apetite!

Cozinha Tradicional Portuguesa de Maria de Lurdes Modesto (1982)

Os rojões à moda do Minho marinados em vinho verde, cozinhados e bem apurados em panelas de ferro são muito apreciados. Cozinhar rojões “de preferência num tacho de ferro” faz sentido, pois durante a cozedura os iões ferro passam do tacho para os rojões enriquecendo os alimentos neste elemento, facilitando a sua assimilação pelo organismo e contribuindo para a prevenção de anemia na população minhota.

Cozinhar com calor é fazer química. Quando se fornece calor, aumenta-se a velocidade das moléculas dos alimentos, fazendo-as colidir umas com as outras. Quanto maior a velocidade, maior o número de moléculas em colisão. Estes choques a nível microscópico alteram a estrutura molecular criando novas moléculas e mudando a cor, o sabor e a textura dos alimentos.

Para cozinhar, as temperaturas devem ser moderadas. Temperaturas muito altas, sobretudo as usadas para fritar (superiores a 150°C), causam alterações na estrutura química dos alimentos formando produtos prejudiciais à saúde, nomeadamente radicais livres que resultam da reação de Maillard. Esta reação ocorre entre os aminoácidos das proteínas e os açúcares (hidratos de carbono). Quando o alimento é aquecido (cozido) o grupo carbonilo ($-C=O$) do açúcar reage com o grupo amino ($-NH_2$) do aminoácido e, após várias etapas, produz as melanoidinas que dão a cor acastanhada e os distintos paladar e aroma, a alimentos cozidos ou assados.

O processo de Maillard é diferente dos processos de tostar e de caramelizar. No processo de tostar ocorrem reações de pirólise do hidrato de carbono (desidratação térmica), enquanto que na caramelização ocorre desidratação, condensação e polimerização do hidrato de carbono. Em nenhum dos dois processos entram as proteínas.

Na cozedura da carne, o calor vai alterar (desnaturar) a estrutura natural da mioglobina, proteína que confere à carne a sua cor vermelha. A mioglobina é semelhante à hemoglobina presente no sangue e, tal como ela, contém ferro. À medida que a temperatura da peça de carne vai subindo, ocorrem alterações nas proteínas que constituem as células musculares, que começam a ligar-se entre si e a encolher. O calor irá também desnaturar o colagénio, principal proteína do tecido conjuntivo e grande responsável pela textura mais tenra (menos colagénio) ou mais dura da carne. Com o calor, a molécula de colagénio vai desagregar-se e dar origem à gelatina amaciando a carne. Este processo pode ocorrer de duas formas: com tempos de cozedura curtos e temperaturas elevadas (só adequado a carnes com pouco colagénio) ou a temperaturas suaves com cozeduras mais longas, como é o caso dos rojões.

Atravessando o rio Lima e ligando as suas margens ergue-se o *ex-libris* da vila mais antiga de Portugal – a ponte medieval.

A construção de pontes tem evoluído ao longo dos tempos, mas há estruturas que aliando a simplicidade à robustez constituem, ainda hoje, testemunhos dos nossos antepassados. É o caso das chamadas “pontes romanas”, assim designadas genericamente por terem sido inspiradas nos métodos e materiais de construção dos romanos. Os exemplares que ainda se conservam no nosso território são, na sua maioria, pontes mais recentes do que o Império Romano, mas algumas ainda datam desses tempos. Conhecemos as pontes em pedra, por este material se ter degradado menos com o passar dos séculos, enquanto que outras pontes (e terão sido inúmeras) feitas em madeira desapareceram, sem deixar vestígios.

Das mais diversas formas, as pontes são plataformas para atravessar desníveis ou cursos de água, assentando num ou mais arcos. Para a sua construção, os romanos desenvolveram e aperfeiçoaram tecnologia originária dos etruscos.

Itinerário

Nesta visita de campo, pretende-se olhar o espaço da Serra de Arga e da Lagoa de Bertíandos (Ponte de Lima), tendo sido selecionadas algumas paragens ao longo deste espaço natural de referência (Figura 2.3).



Figura 2.3
Itinerário e localização
das paragens – Ponte
de Lima.

2.1. Ponte de Lima

No centro de Ponte de Lima, o chafariz do Largo de Camões será alvo da primeira observação, onde o que nos chama mais a atenção são os elementos decorativos (Figura 2.4 a)). Até este monumento em pedra se inspira na vida... Para além da esfera armilar, tipicamente de estilo manuelino, as folhas de acanto são elementos de decoração. Em arquitetura, as folhas de acanto (Figura 2.4 b)) são utilizadas como elemento decorativo para representar folhagem desde a antiga Grécia, e continuam a fazer parte dos elementos decorativos utilizados por uma grande variedade de estilos.



Figura 2.4
Ponte de Lima: a) chafariz do Largo de Camões e b) pormenor da coluna central decorada com folhas de acanto.

a)

b)

Percorrendo a marginal do rio Lima, ao chegar à torre da cadeia da Porta Nova é possível ver no seu exterior o registo das várias importantes cheias do rio. É esta a margem esquerda do rio Lima, onde a grandiosidade de casas solarengas, tão típicas

da “vila mais antiga de Portugal”, é acrescida pela imponência da Avenida dos plátanos que debrua o rio.



Vista de Ponte de Lima na primeira metade do séc. XVII. Painel azulejar na freguesia de S. Martinho da Gandra, reproduzindo desenho do código manuscrito *Typis Portugalixæ*, em coleção particular.

A vila de Ponte de Lima nasceu da velha ponte que lhe dá o nome, e que continua a ser a peça-chave da sua paisagem urbana.

Na forma primitiva, a estrutura monumental — de que restam sete arcos originais na extremidade sul — foi obra romana, realizada no rescaldo da conquista do noroeste peninsular por Décio Júnio Bruto no séc. II a.C. Esta campanha, cujo sucesso granjeou ao líder o cognome honorífico de Galaico abriu portas à exploração agrícola e mineira do território, e à sua paulatina colonização. De início objeto de lendas fabulosas e temíveis, que o equiparavam ao fatídico Lethes do esquecimento — fronteira entre o mundo dos vivos e o dos mortos — o Lima foi deste modo convertido em lugar ameno de travessia e de encontro.

Miguel Ayres de Campos-Tóvar

As formas dos arcos das pontes são variadas: o arco ogival encurtado da ponte medieval de Ponte de Lima (Figura 2.5) e o arco de volta inteira ou romano da ponte de Estorãos.

A forma de arco em ogiva representa um grande avanço tecnológico relativamente ao arco romano, uma vez que permite um vão de maiores dimensões. Neste tipo de construção, as várias pedras são talhadas de modo a sobreporem-se umas às outras formando o arco (estrutura de suporte).

**Figura 2.5**

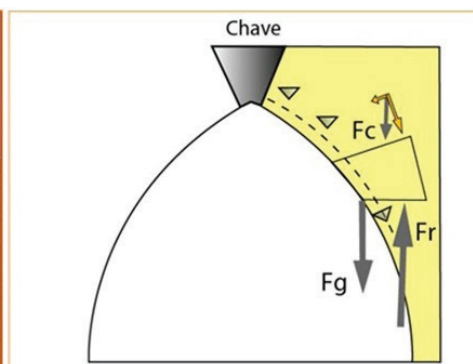
A ponte medieval de Ponte de Lima:

a) os arcos em ogiva encurtados.

b) distribuição das forças ao longo do arco: a força gravítica (F_g), a força de compressão (F_c), e a força de reação (F_r) representadas apenas num elemento do arco.



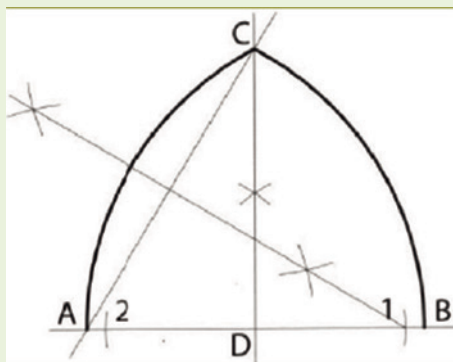
a)



b)

O arco tem duas funções: permite a passagem do curso de água sob a ponte e distribui as forças geradas pelo peso e pela compressão dos materiais de forma a manter a estrutura íntegra. Designa-se por contraforte o muro que suporta a compressão do arco. Caso não exista muro ou parede, esta compressão pode ser equilibrada por outro arco lateral e assim sucessivamente, formando uma arcada.

Construção geométrica um arco em ogiva encurtado



1 – Dados: vão $\overline{AB}$ e flecha $\overline{CD}$ (altura do arco).

2 – Construção:

- marcar o vão $\overline{AB}$ assente numa reta.
- construir uma perpendicular a $\overline{AB}$ que passe pelo seu ponto médio, marcando a flecha $\overline{CD}$.
- unir o ponto C ao ponto A.
- traçar uma perpendicular a $\overline{AC}$ que contenha o seu ponto médio, determinando o ponto 1 sobre a recta que contém $\overline{AB}$.
- com centro em D e abertura do compasso $\overline{D1}$ marcar o ponto 2.
- com centro em 1 e raio $\overline{1A}$ desenhar o arco AC.
- com centro em 2 e raio $\overline{2B}$ desenhar o arco BC.

Devido às características climáticas desta região, os vinhos produzidos, brancos ou tintos, têm uma concentração em ácido málico superior à que é frequente encontrar noutras regiões de Portugal. São os afamados vinhos verdes que se caracterizam por terem na sua composição química compostos derivados de álcoois, ésteres etílicos de ácidos gordos, acetatos de álcoois superiores e fenóis voláteis (Oliveira et al., 2003).

O ácido málico é um ácido orgânico ($C_4H_6O_5$) pertencente ao grupo dos ácidos carboxílicos, que se encontra em frutas como, por exemplo, a maçã e a pera. Este ácido é azedo e adstringente, sendo muito utilizado na indústria alimentar como acidulante, aromatizante e estabilizante (como aditivo alimentar é identificado por E296). O processo de fermentação malolática converte o ácido málico em ácido láctico ($C_3H_6O_3$), limitando a acidez e produzindo dióxido de carbono (CO_2) que dá origem ao característico "pico" ou "agulha" dos vinhos verdes. Esta fermentação, apesar de amaciar os vinhos, provoca uma diminuição dos aromas primários provenientes das uvas, sendo essa a razão pela qual muitos enólogos evitam a sua ocorrência nos vinhos verdes brancos, que devem ser simultaneamente frescos e aromáticos. É, no entanto, encorajada nos vinhos verdes tintos, cuja qualidade depende mais da complexidade do que da intensidade dos aromas.

Em simultâneo, ocorre a fermentação alcoólica, processo químico de transformação dos açúcares em álcool por ação de leveduras, sendo por vezes necessário adicioná-las para que o processo se inicie. Ao fermentar, o mosto liberta calor e eleva a sua temperatura, influenciando o desenvolvimento da fermentação. Temperaturas elevadas destroem as leveduras responsáveis por criar os aromas e propiciam o aparecimento da indesejável acidez volátil. Assim, controlando a temperatura, pode prolongar-se o tempo de fermentação de um mosto por três a quatro semanas.

E o vinho é, então, encaminhado para as pipas...

Os antigos reservatórios (ou pipas) de vinho tinham o formato de um tronco de cone e eram constituídas por ripas de madeira justapostas. As ripas eram mais largas em baixo do que em cima e a largura variava entre 5 e 10 cm.

Para construir uma pipa com um volume pré-estabelecido V , era necessário cortar as ripas de modo que se encaixassem na perfeição, formando na base uma circunferência (Figura 2.6). Dados os valores do raio da base R , do raio da tampa r e da largura da ripa em baixo L , o problema que se colocava era o de determinar a altura das ripas h e a sua largura em cima l . Para determinar a largura l , considere-se a projecção de uma ripa sobre a base da pipa (Figura 2.6).

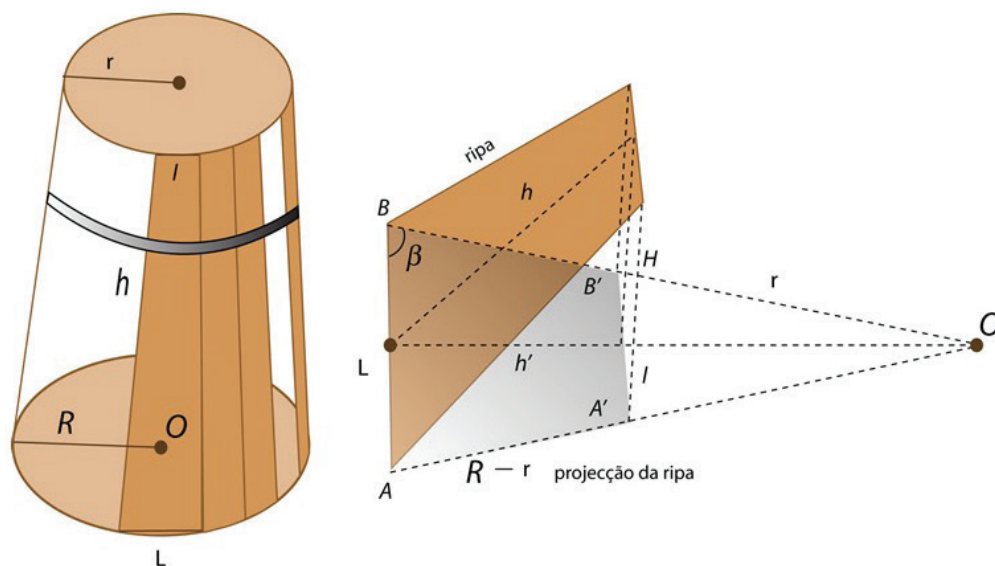


Figura 2.6
Determinação
geométrica da altura
das ripas de madeira
para o fabrico de pipas.

Uma vez que o ângulo de encaixe entre duas ripas (β), deve ser o mesmo na base e na tampa, usando relações trigonométricas e semelhança de triângulos, as seguintes igualdades são satisfeitas:

$$\cos \beta = \frac{L}{2R} \quad e \quad \cos \beta = \frac{l}{2r}$$

Como o triângulo [AOB] é um triângulo isósceles, verifica-se que a largura l no topo é dada por:

$$l = \frac{Lr}{R}$$

Para determinar a altura h , sendo h' a projeção de h na base da pipa, tem-se:

$$\operatorname{sen} \beta = \frac{h'}{R-r} \quad \text{e} \quad \cos \beta = \frac{L-l}{2(R-r)}.$$

Usando a fórmula fundamental da trigonometria, obtemos:

$$h' = \frac{1}{2} \sqrt{4(R-r)^2 - (L-l)^2}$$

Se H for a altura da pipa, de acordo com o Teorema de Pitágoras vem que:

$$h = \sqrt{H^2 + h'^2}$$

Finalmente, a altura da pipa H é determinada a partir do volume pretendido V . Ora, o volume de um tronco de cone, calculado através da diferença entre os volumes de dois cones (um com base igual à base da pipa e vértice O , e outro com base igual à tampa da pipa e também vértice O), é dado pela expressão:

$$V = \frac{1}{3} H (R^2 + Rr + r^2)$$

Assim, H vem dado por

$$H = \frac{3V}{\pi (R^2 + Rr + r^2)}$$

Em resumo, dados o raio da base R , o raio da tampa r , a largura da ripa em baixo L e o volume da pipa V , a altura das ripas h e a largura em cima l serão dadas por:

$$h = \sqrt{H^2 + h'^2} \quad \text{e} \quad l = \frac{Lr}{R}$$

onde

$$h' = \frac{1}{2} \sqrt{4(R-r)^2 - (L-l)^2} \quad \text{e} \quad H = \frac{3V}{\pi (R^2 + Rr + r^2)}$$

2.2. O monte de Santo Ovídio

No alto do monte de Santo Ovídio, para além da deslumbrante paisagem, pode observar-se o voo das aves da zona ribeirinha. O sonho de voar levou o Homem a tentar reproduzir as asas das aves, mas a imitação das formas de nada serviu sem a compreensão e aplicação dos mecanismos físicos de voo. As aeronaves funcionam com base no princípio de que, quanto maior é a velocidade de escoamento de um fluido, menor é a pressão. Este princípio, desde há muito conhecido, foi estabelecido por Daniel Bernoulli (1700-1782). Todavia, só no séc. XX foi possível construir sistemas de propulsão que permitissem atingir a velocidade necessária à auto-sustentação de uma aeronave, pela diferença de pressão negativa nas faces superior e inferior das asas.

O princípio de Bernoulli decorre do princípio de conservação da energia, devendo-se a Leonhard Euler (1707-1783), amigo de Bernoulli, a sua formulação. Para um fluido

incompressível sob um campo gravitacional uniforme (como o encontrado na Terra), tem-se em cada ponto:

$$\frac{\rho v^2}{2} + pgh + p = \text{constante}$$

em que:

v : velocidade do fluido

g : aceleração da gravidade

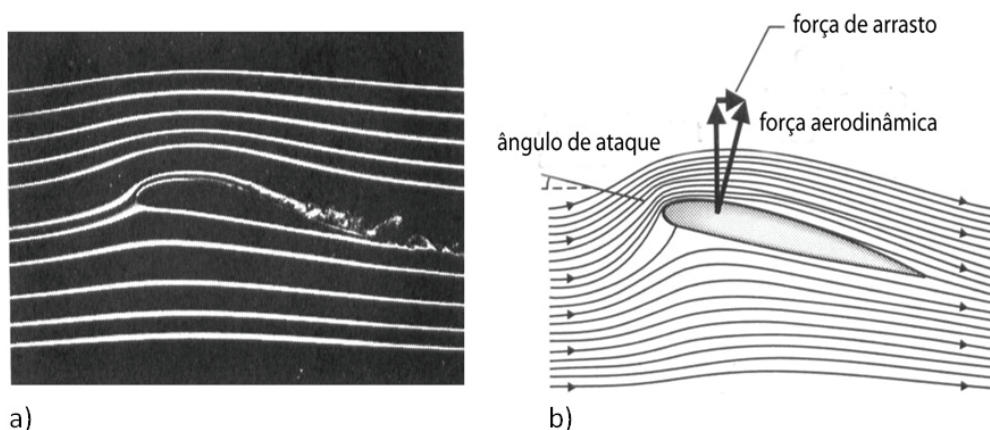
h : altura em relação a um ponto de referência

p : pressão

ρ : densidade do fluido

Devido à sua forma assimétrica, a asa de um avião ao deslocar-se no ar, obriga a que o fluxo de ar na parte superior tenha de percorrer uma maior distância do que o que flui sob a parte inferior (Figura 2.7). Logo, a pressão exercida na asa é maior em baixo do que em cima. Multiplicando a diferença de pressão pela área das asas, obtemos a força de elevação que, se for superior ao peso do avião, o faz elevar-se no ar.

Figura 2.7
Trajetórias de fumo mostrando o fluxo laminar do ar em torno de uma asa:
a) fotografia;
b) esquema (adaptado de Bloomfield, 2015).



Observando o reticulado dos terrenos agrícolas na paisagem, vem a propósito referir que muito antes do desenvolvimento da Geometria, os homens criavam soluções para problemas do quotidiano, que deram origem às bases da Geometria e realizavam operações mentais que eram concretizadas em figuras geométricas.

Em tempos, os sacerdotes que arrecadavam os impostos sobre as terras, provavelmente calculavam a extensão dos campos por meio de um simples golpe de vista. Mais tarde, terão passado a usar o conhecimento sobre a área de um retângulo e de um triângulo, primeiras figuras geométricas cujas expressões para os valores das áreas foram estabelecidas.

Os primeiros cartógrafos e agrimensores quando se deparavam com uma área de terreno de forma irregular, nem retangular, nem triangular (Figura 2.8), apelavam a um artifício conhecido por *triangulação*: começando num vértice, traçavam linhas a

todos os demais vértices visíveis no terreno, ficando este dividido em porções triangulares, cujas áreas adicionadas permitiam obter o valor da área total.

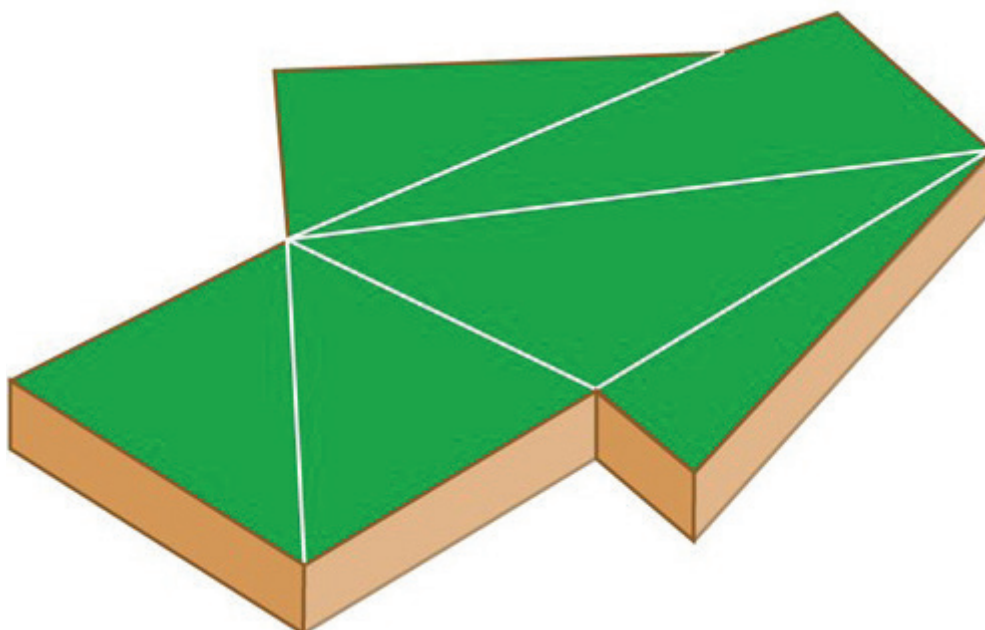


Figura 2.8
Triangulação de uma superfície irregular.

Este método, ainda hoje em uso, produzia no entanto erros quando o terreno não era plano ou possuía bordos curvos.

No monte de Santo Ovídio, as áreas de pinhal são evidentes abundando as “pinhas” ou cones, estruturas reprodutoras das coníferas, incluídas no grande grupo das gimnospérmicas (*gimnó*=nu; *spérma*=semente). Estas estruturas reprodutoras designadas por estróbilos são ramos modificados onde se diferenciam os órgãos reprodutores masculinos e/ou femininos, como escamas organizadas em hélice à volta do eixo central. Os estróbilos masculinos e femininos distinguem-se facilmente pelo tamanho – microestróbilos e megasestróbilos. Os microestróbilos (Figura 2.9) são compostos por numerosas escamas ou folhas masculinas (microsporófilos), em cujas páginas abaxiais se encontram um ou mais microsporângios, que equivalem às anteras das angiospérmicas. Cada microsporângio possui sacos polínicos que contêm pólen amarelado, geralmente levado pelo vento até aos cones femininos. Os megasestróbilos são inflorescências com escamas lenhosas onde se encontram megasporângios, órgãos reprodutores femininos onde se diferenciam as células-mãe dos óvulos. Após a fecundação do óvulo, o ovo ou zigoto desenvolve-se num embrião, que em conjunto com o seu tegumento constitui a semente ou pinhão. Os megasporófilos encaixam-se perfeitamente uns com os outros e só se abrem depois da fecundação, para libertar a semente alada.



Figura 2.9
Microestróbilos de
pinheiro.

Nestas áreas, onde o pinhal ainda não é muito denso, é difícil não encontrar na vegetação herbácea aquelas “flores” a que todos chamamos “malmequeres”. São estas que geralmente usamos como estereótipo de flor, resumindo-a a um disco central circular com um número variável de pétalas na periferia. Estas “flores” pertencem à numerosa família das compostas - Asteraceae ou Compositae (designação anterior atualmente considerada um sinónimo nomenclatural), que também inclui dâlias, crisântemos, margaridas, perpétuas, gerberas...

Este estereótipo é uma caricatura da principal característica diagnosticante desta família de dicotiledóneas com mais de 26 500 espécies atualmente aceites, incluídas em cerca de 1600 géneros e 12 subfamílias (Aguar, 2021).

A “flor” de uma composta é na realidade uma inflorescência onde várias flores se unem num arranjo a que se chama capítulo (Figura 2.10). Este inclui um receptáculo, disco sobre o qual se agrupam diretamente de forma muito compacta muitas flores reduzidas; as flores periféricas deste disco apresentam frequentemente um prolongamento unilateral (lígula), a que geralmente chamamos erradamente, pétalas. Toda esta estrutura está envolvida por brácteas (folhas modificadas com função de proteção) que aqui têm uma função análoga às sépalas que constituem o cálice das flores de outras famílias.

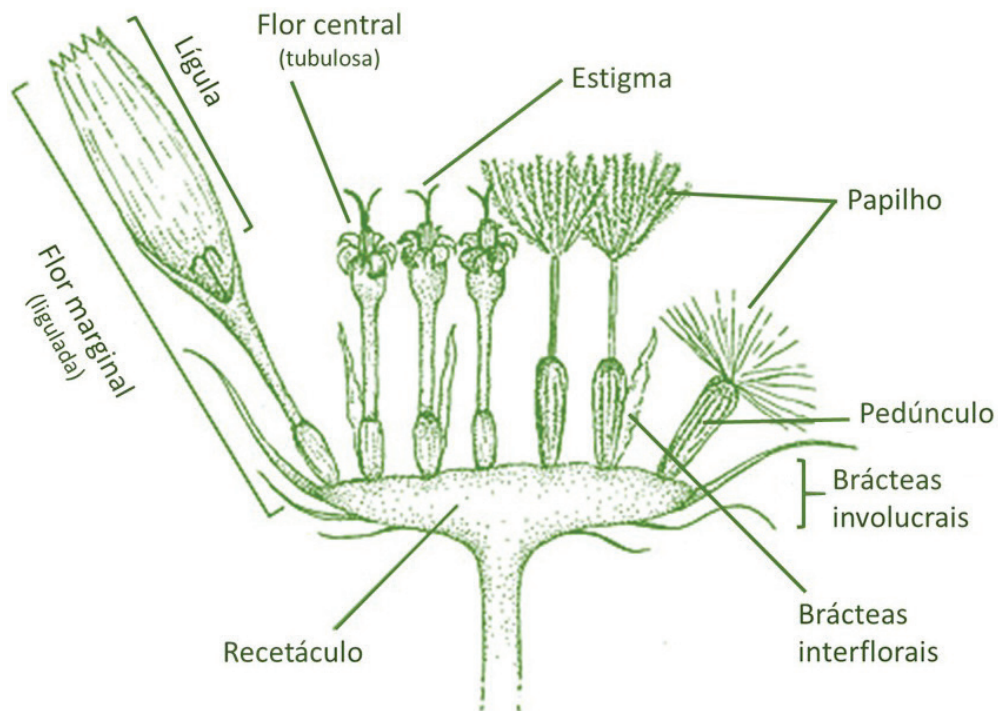


Figura 2.10
Representação sinóptica de um capítulo, em dois estádios do desenvolvimento – à esquerda, em flor (na antese, antes da polinização) e à direita, na maturação dos frutos. Para melhor compreensão, o desenho apresenta as flores e os frutos afastados, mas na realidade encontram-se dispostos de forma compacta (adaptado de Ramalho, 2013).

Nem todas as espécies de compostas (algumas vistosas outras inconspícuas) apresentam capítulos. É o caso de *Taraxacum* spp. e *Leontodon* spp. (dentes-de-leão), também muito comuns por estas bandas. As espécies destes géneros apresentam todas as flores do capítulo (e não só as externas) com lígulas. Mas também são exceção à regra muitos cardos pois não apresentam flores liguladas (e.g., *Carduus* spp., *Cirsium* spp.) e em Portugal podemos encontrar uma espécie particular de cardo que tem capítulos com uma só flor (*Echinops strigosus*).

Comum a muitas espécies desta família, não sendo dela exclusiva, é o tipo de fruto produzido, frequentemente disperso pelo vento ou por animais com a ajuda do papilho (estrutura derivada das sépalas, que geralmente consiste numa coroa de pêlos que se insere numa das extremidades do fruto). Os papilhos que nos são mais familiares são os das flores conhecidas por dentes-de-leão, pois com certeza, já todos contribuímos para a dispersão destas sementes, com um sopro que as liberta do receptáculo onde se fixam.

As compostas podem ser identificadas apenas pela observação de caracteres vegetativos – forma e disposição das folhas, indumento (tipo e densidade de pelos) – mas isso requer alguma experiência.

Nas compostas o número de lígulas é, frequentemente, igual a 13, 21, 34, 55 ou 89. Estes números são termos consecutivos da sucessão de Fibonacci.

A sucessão de Fibonacci apareceu associada ao crescimento de populações de coelhos segundo determinadas regras consideradas ideais. Leonardo de Pisa (1170-1240), conhecido por Fibonacci por ser filho de Bonacci, foi um importante matemático da Idade Média que deixou contribuições nas áreas da Aritmética, da Álgebra e da Geometria.



Um *sucessão matemática* define-se como uma função cujo domínio é o conjunto dos números naturais, podendo ser encarada de um modo simples como um conjunto de números reais devidamente ordenado, de forma a que cada elemento fique indexado a um número natural $\{1, 2, 3, \dots\}$. Trata-se de uma apresentação sequencial de números.

Na sucessão de Fibonacci, cada termo é obtido pela adição dos dois termos anteriores, sendo os dois primeiros iguais a 1. Assim, se F_n designar o termo de ordem n , a sucessão é definida pela seguinte relação de recorrência:

$$\begin{cases} F_0 = 1 \\ F_1 = 1 \\ F_n = F_{n-2} + F_{n-1}, \quad n \geq 2 \end{cases}$$

Os primeiros termos desta sucessão são 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, ...

A partir da relação de recorrência apresentada é possível determinar uma fórmula explícita do termo geral da sucessão de Fibonacci (fórmula de Binet):

$$F_n = \frac{\varphi^n - (1 - \varphi)^n}{\sqrt{5}}, \quad n = 1, 2, \dots,$$

onde φ e $1 - \varphi$ são as soluções da equação quadrática $X^2 - X - 1 = 0$.

O número

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,61803398\dots$$

é chamado o *número de ouro*, *razão dourada* ou *proporção divina*, e constituiu objeto de grande interesse ao longo da História (Crato et al., 2006).

A sucessão obtida com os quocientes de dois termos consecutivos de Fibonacci,

$$Q_n = \frac{F_{n+1}}{F_n}, \quad n = 1, 2, \dots,$$

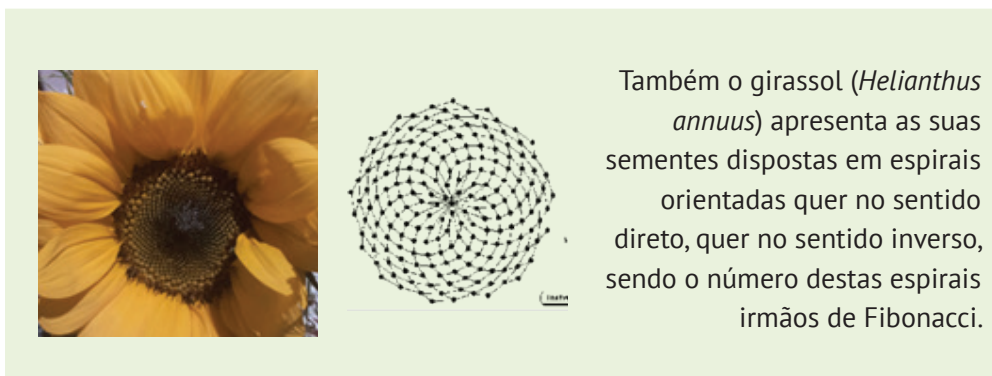
tem como limite o número de ouro.

Os números de Fibonacci surgem na natureza associados a diferentes processos biológicos. Embora parecendo mágicos, não aparecem ao acaso, pois são o resultado de processos biofísicos relacionados com o crescimento dos seres vivos.

Nas pinhas, se contarmos o número de espirais no sentido direto e o número de espirais no sentido inverso, veremos que esses números são *irmãos de Fibonacci*, isto é, são termos consecutivos da respetiva sucessão (Figura 2.11).



Figura 2.11
Sucessão de Fibonacci numa pinha – Dois termos sucessivos (5 e 8) observados.



2.3. Bertíandós

A Paisagem Protegida das Lagoas de Bertíandós e S. Pedro d' Arcos (PPLBSPA) ganhou o estatuto de Zona Húmda de Importância Internacional a 2 de dezembro de 2005, quando foi classificada como Sítio Ramsar n.º 1613. Conforme é reconhecido pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), este local tem potencialidades particulares em termos de habitats, de alimentação e de refúgio para várias espécies da fauna autóctone.

O património biológico da PPLBSPA foi inicialmente inventariado em 2003. Apesar de se tratar de uma área de pequena dimensão geográfica apresenta uma diversidade de espécies de vertebrados considerada elevada e tem um grande valor florístico. Até à data (MPL, 2020) já foram contabilizadas 508 espécies vegetais entre as quais

se identificaram alguns endemismos ibéricos, espécies raras e espécies ameaçadas. No que diz respeito à fauna, foram inventariadas 9 espécies de peixes dulciaquícolas ou migradores, 13 espécies de anfíbios, 11 espécies de répteis, 41 espécies de mamíferos e 144 espécies de aves (MPL, 2020)

Das espécies animais que se encontram nas águas desta área, incluem-se a lampreia-marinha (*Petromyzom marinus*) um ciclóstomo anádromo, e a enguia (*Anguilla anguilla*) que é um teleóstego catádromo. A lampreia-marinha é uma espécie autóctone vulnerável, enquanto que a enguia é um visitante em perigo. Ambas as espécies utilizam o rio Estorãos (Figura 2.12 a)) durante as fases larvares como corredor ecológico, e as lampreias adultas procuram locais para desova a montante.

Também exigem proteção outras espécies animais de interesse comunitário. Por exemplo: entre os mamíferos destacam-se um mustelídeo – a lontra (*Lutra lutra*) e um cervídeo – o corço (*Capreolus capreolus*); entre as aves, o guarda-rios (*Alcedo atthis*), um coraciiforme inventariado em 2003 e, apesar de ausentes neste inventário, o falcão-peregrino (*Falco peregrinus*) e a cotovia-dos-bosques (*Lullula arborea*), a primeira uma rapina, a segunda, um passeriforme, que podem ser encontrados na região; entre os répteis, o lagarto-de-água (*Lacerta schreiberi*) é um lacertídeo a proteger e dos anfíbios presentes na área das lagoas, a rã-ibérica (*Rana iberica*) é um endemismo listado no Apêndice II da Convenção de Berna e no Anexo IV Diretiva Europeia dos Habitats Naturais (diretiva 92/43/CEE).

Figura 2.12
Paisagem Protegida das Lagoas de Bertiaandos e S. Pedro d'Arcos – a) Rio Estorãos e b) uma das lagoas de Bertiaandos.



Nas lagoas (Figura 2.12 b)) é predominante a vegetação aquática emergente persistente ou não (e.g., os juncos). Da vegetação persistente ou arvoredo considera-se prioritária, a nível comunitário, a conservação das florestas de amieiros em solos de aluvião e de terraços fluviais.

As zonas húmidas constituem ecótonos, isto é, áreas de transição entre duas comunidades ecológicas (ecossistemas) adjacentes, albergando frequentemente uma considerável biodiversidade e endemismo. A vegetação predominante é espontânea, higrófila e autóctone. Das espécies vegetais identificadas na PPLBSPA (cerca de 500) algumas são pouco comuns noutros locais, sobretudo as específicas de zonas húmidas.

A constatação da capacidade das zonas húmidas naturais ou *wetlands*, para tratar águas contaminadas, conduziu, desde há muito, ao desenvolvimento de sistemas de tratamento de águas residuais de baixo custo energético. Nas Zonas Húmidas Construídas (ZHC), leitos de macrófitas ou FitoETAR, “exploram-se” os conhecimentos adquiridos sobre a ecologia destes habitats naturais. As macrófitas, designação geralmente restrita a plantas aquáticas, representadas sobretudo por caniços e juncos, são os elementos mais visíveis que se utilizam nestes sistemas de tratamento. Nas FitoETAR, o principal papel das macrófitas está associado ao facto de possuírem rizomas bem desenvolvidos com muitas raízes, que funcionam como suporte a uma variada microflora que inclui bactérias aeróbias e anaeróbias.

O metabolismo aeróbio é estimulado na rizosfera pela criação de zonas com oxigénio transportado da atmosfera para o substrato via aerênquima, e pelo arejamento provocado pela movimentação dos caules das macrófitas, agitados pelo vento.

O tratamento de águas residuais por estes sistemas conduz a elevada eficiência na remoção de carga orgânica, traduzida pela diminuição de um dos parâmetros vulgarmente determinados, a Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO). Este parâmetro é determinado em laboratório, pela incubação de amostras de água, no escuro durante 5 dias a 20°C, daí a designação de CBO₅. O valor determinado (em mg/L) representa a quantidade de oxigénio que os microrganismos presentes na amostra de água precisam para degradar a matéria orgânica presente na amostra.

A água é um solvente muito poderoso que contém uma larga gama de substâncias orgânicas e inorgânicas entre as quais: catiões (Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺); aniões (HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻) e sílica (SiO₂). A concentração destas substâncias varia com a natureza da água. As concentrações médias das diferentes substâncias dissolvidas na água de rios e de oceanos (Tabela 2.1) são bastante mais elevadas em água salgada do que em água doce, com algumas exceções.

Substâncias	Oceano (mg/L)	Rios (mg/L)
Na ⁺	10770-10800	6,1
Ca ²⁺	412	18
Mg ²⁺	1280	4,1
K ⁺	380-399	2,3
Cl ⁻	19400-19500	8
SO ₄ ²⁻	905	4
SiO ₂	2-2,8	6

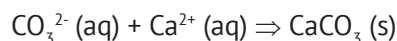
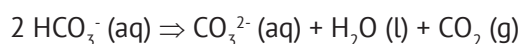
Tabela 2.1
Concentrações médias de substâncias dissolvidas na água de rios e de oceanos (Mendes e Oliveira, 2004).

- Sódio (Na^+)

O sódio é um elemento alcalino muito abundante na crosta terrestre (cerca de 2,8%). Devido à sua elevada reatividade, encontra-se sempre sob forma combinada sendo o cloreto de sódio, o sal mais abundante na água do mar (em média 10.780 mg/L). Encontra-se nas outras águas naturais numa gama de concentrações entre 6 a 100 mg/L. Essencial para muitos organismos, o sódio pode ser tóxico para muitas plantas e animais quando presente em concentrações elevadas.

- Cálcio (Ca^{2+})

O cálcio é o catião predominante nas águas de consumo, fundamentalmente sob a forma de bicarbonatos, mas também de sulfatos, cloretos e outros sais. Este catião é o maior responsável pela dureza da água. A dureza total de uma água retrata a presença de quantidades significativas de iões de cálcio e magnésio (Mg^{2+}). Se a água contém iões bicarbonato (HCO_3^-), a sua dureza diz-se temporária, pois por aumento da temperatura estes iões convertem-se em carbonatos que precipitam os iões cálcio e magnésio, sob a forma dos respetivos carbonatos:



Geralmente nas águas naturais, o cálcio encontra-se na forma livre, entre 2 e 200 mg/L em Ca^{2+} , e na forma complexada, entre 5 e 500 mg/L em CaCO_3 .

- Magnésio (Mg^{2+})

O magnésio, tal como o cálcio, contribui para a dureza da água, sendo também um elemento essencial à vida. Constitui cerca de 2% da crosta terrestre e, devido a esse facto, e à grande solubilidade de muitos dos seus sais, pode atingir níveis elevados em algumas águas naturais, o que depende da natureza geológica dos terrenos com que essas águas contactaram. Nestas águas a concentração do magnésio é inferior à do cálcio, estando geralmente entre 5 e 10 mg/L.

- Potássio (K^+)

O potássio é um metal alcalino muito presente na Natureza. É um elemento essencial à vida pela sua intervenção em sistemas enzimáticos ligados ao metabolismo dos açúcares e glúcidos, e ao equilíbrio osmótico das células.

- Bicarbonato (HCO_3^-)

O ião bicarbonato (hidrogenocarbonato) é o principal constituinte alcalino das águas e está associado aos metais alcalinos. É responsável pelo pH entre 5 e 5,5 das águas doces e encontra-se geralmente numa gama de 5 a 500 mg/L, sob a forma de CaCO_3 . O CO_2 e os minerais comuns, como a calcite (CaCO_3) e a dolomite (MgCO_3), contribuem para alcalinidade.

- Cloreto (Cl^-)

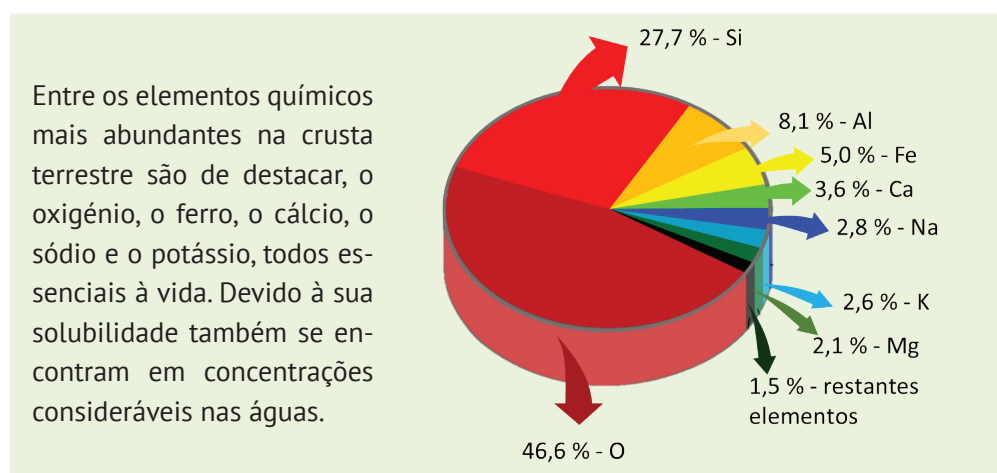
Os cloretos são dos sais mais abundantes na Natureza sendo também indispensáveis à vida. Os seres humanos necessitam de cerca de 9 g de cloretos por dia (principalmente NaCl , KCl , CaCl_2) essencialmente provenientes dos alimentos, mas também do sal de cozinha (NaCl), muitas vezes usado em excesso.

- Sulfatos (SO_4^{2-})

O elemento enxofre (S), presente nos sulfatos no estado de oxidação máxima, é um micronutriente raramente deficiente nos organismos vivos. Os sulfatos existem numa gama de concentrações entre 30 a 300 mg/L.

- Sílica (SiO_2)

O silício (Si) é um elemento sólido não metálico. Nas águas, a sílica (SiO_2) apresenta-se quer dissolvida quer em suspensão coloidal, em concentrações variáveis que podem atingir algumas dezenas de miligramas por litro. Grande parte das águas naturais contém menos de 5 mg/L.



O setor de Bertandos apresenta características hidrogeológicas que permitem classificá-lo como um aquífero livre em meio poroso. Constituído por níveis de terraço fluvial e aluvião de espessura variável (por vezes da ordem da dezena de metros), assenta numa unidade inferior de rochas metamórficas do Silúrico. Em função destas características hidrogeológicas, existe uma conectividade hidráulica entre o sistema lagunar e o sistema fluvial.

Dado que este setor apresenta um campo filoniano com mineralizações em diversos elementos, é de esperar que, os cursos de água que atravessam estas serras continuamente, transportem esses elementos e os depositem no vale. Estes depósitos poderão possuir milhões de toneladas de material areno-silto-argiloso com volframite rica em tungsténio (W), cassiterite rica em estanho (Sn), columbo-tantalites ricas em nióbio e tântalo (Nb e Ta), lepidolite, espodumena e petalite com lítio (Li) e filões de quartzo de sulfuretos com ouro (Au), em mineralização de tipo “placer”. Ao anterior,

acresce o facto de estes “minérios”, de elevada importância económica, se apresentarem classificados ou estratificados por densidades, facilitando a sua extração.

Os campos filonianos contêm, entre outros filões, diversos corpos filonianos aplito-pegmatíticos de composição granítica que, para além destes minerais e dependendo dos preços destas matérias-primas, podem ser ou não exploráveis, possuem ainda outros minerais tais como, quartzo, feldspatos, moscovite e alguns fosfatos.

Um grande geólogo Português, *José Marques Correia Neves* (1929-2011) descobriu no Brasil um fosfato que ocorre num pegmatito da Lavra da Cigana (Conselheiro Pena, Minas Gerais). Professor Catedrático na Universidade de Coimbra (Portugal), na Universidade de Lourenço Marques (Moçambique) e, na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, Brasil), o Professor Correia Neves foi o fundador do Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa (UFMG), criado em 1981. Na comemoração dos 20 anos deste Centro, José Marques Correia Neves recebeu o título de Professor Emérito da UFMG e posteriormente integrou a equipa da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Em 2002, foi agraciado no Brasil com a comenda da Ordem Nacional de Mérito Científico, como reconhecimento do seu significativo contributo para as Geociências, especialmente no estudo dos pegmatitos ricos em tântalo, na região de Conselheiro Pena e Araçuaí (Brasil), bem como no Alto Ligonha em Moçambique (área de Morrua, Conco, minas de Moneia e Muiane na Província da Zambézia), onde descobriu um silicato da série Zircão-Hafnã (Correia Neves et al., 1974).

Pelo importante contributo que o Professor Correia Neves deu à Mineralogia, o fosfato descoberto por este ilustre Professor foi designado, em sua honra, por *Correianevesite*.



Amostra do mineral Correianevesite.

Catalogado na International Mineralogical Association como, IMA2013-007. Composição: fosfato de ferro e magnésio $[\text{Fe}^{2+}\text{Mn}_2^{2+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ do grupo da Reddingite, e do sistema cristalino ortorrômbico (Chukanov et al., 2014).

Uma questão que se coloca a estas lagoas de Bertandos relaciona-se com a instabilidade a que estão sujeitas devida às perdas de massa. Através de observações (qualitativas) efetuadas ao longo de anos, nota-se a constante diminuição do volume de sedimentos que constituem o substrato das lagoas (por exemplo, pelo afundar e

o alargar dos cursos de água que as atravessam). Naturalmente, prevê-se a evolução no sentido do desaparecimento deste ecossistema a longo prazo.

2.4. Estorãos

O lançamento de um seixo num plano de água gera diversas ondas que podem ser representadas por circunferências centradas no ponto de contacto O (Figura 2.13). Considerando um sistema de coordenadas polares definido a partir do ponto O (pólo) e da semi-reta de origem O , Ox (eixo polar), qualquer ponto C é representado pelo par ordenado (r, θ) , sendo r a distância do ponto C à origem O e θ o ângulo entre o eixo polar e a reta OC .

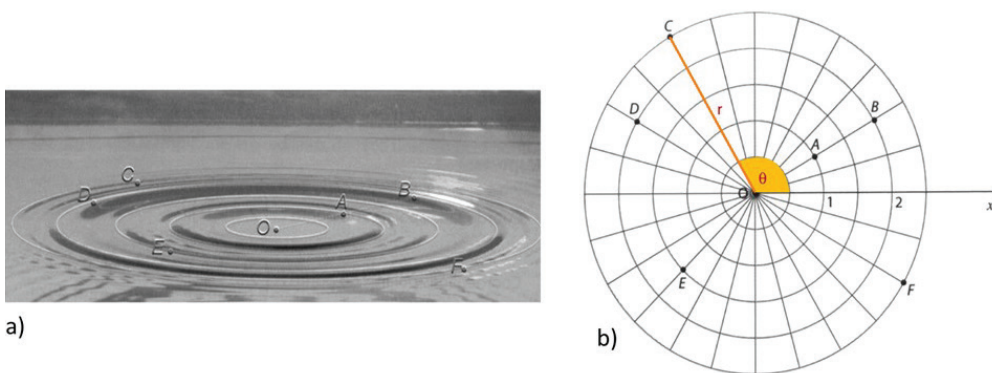
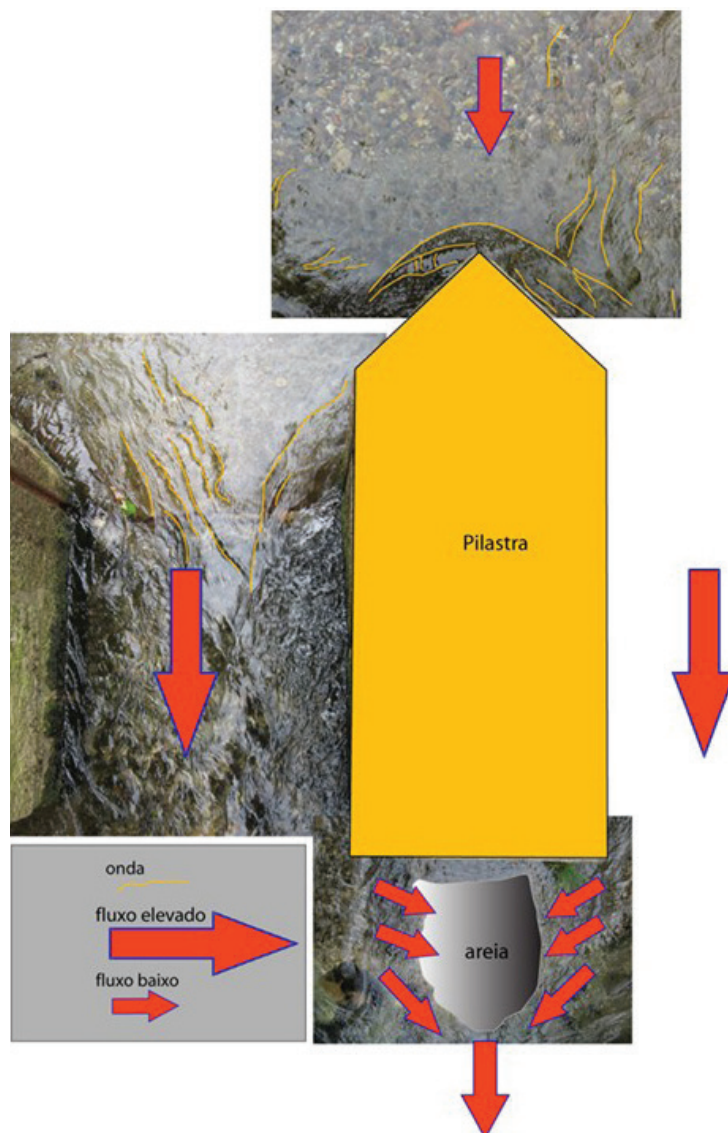


Figura 2.13
a) Resultado da queda de um seixo num plano de água.
b) Representação no sistema de coordenadas polares.

No rio Estorãos, ao passar pelas sapatas em cunha que sustentam a ponte ou nas que se situam a jusante (Figura 2.14), o fluxo de água é repartido reduzindo a intensidade das forças de impacto, o que contribui para evitar a rápida erosão. Contudo, com a passagem da água as fundações das pontes podem sofrer erosão, quer devido à degradação das pilastras, quer devido à remoção de areias pelo fluxo de água.

A jusante das sapatas, a corrente de água sofre difração, podendo observar-se a deflexão das frentes de onda. Por este efeito, acumulam-se depósitos aluvionares deste lado da ponte (Figura 2.14).

**Figura 2.14**

Vista de topo do açude de Estorãos – fenômenos ondulatórios e fluxos em torno das pilastras.

O escoamento de um fluido pode apresentar dois regimes distintos: laminar e turbulento. O fluxo laminar ocorre sempre que as forças de viscosidade são dominantes, e é caracterizado por um movimento fluido suave, constante. O fluxo turbulento é dominado pelas forças de inércia. Neste caso, as massas de fluido separam-se e colidem frequentemente, produzindo vórtices, remoinhos e outras flutuações aleatórias.

Para quantificar o tipo de escoamento é definido um número adimensional, o número de Reynolds (R_e), como sendo a razão entre a força de inércia (ρv) e as forças de viscosidade (μ/D):

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu}$$

em que:

ρ : densidade (kg/m^3)

v : velocidade de escoamento (m/s)

D : diâmetro do tubo de fluxo (m)

μ : viscosidade do fluido (kg/ms ou decapoise)

Tipicamente, para valores de R_e até 2 300, o fluxo é laminar, tornando-se turbulento a partir daí. Qualquer turbulência que surja é eliminada se $R_e < 2\,300$. É possível obter um fluxo laminar mesmo para elevados valores de R_e , mas qualquer perturbação pode romper o equilíbrio instável tornando o fluxo turbulento.

Para garantir um tipo de fluxo ou outro, os engenheiros, ao projetar tubos ou câmaras de fluxo, fazem-no com dimensões tais que o número de Reynolds é maior do que 3 000 ou menor do que 2 000, consoante o regime de escoamento que se pretenda (e.g., condutas de água, *pipelines*, câmaras de combustão, etc.).

Como curiosidade, o número de Reynolds para o fluxo de sangue na aorta é cerca de 1 000, enquanto que no cérebro é aproximadamente 100.

Entre os elementos necessários à vida e essenciais ao desenvolvimento das plantas e dos animais, destaca-se o azoto ou nitrogénio (N). Existe na Natureza sob a forma gasosa, de compostos orgânicos (e.g., proteínas e ácidos nucleicos) e minerais nitratos). As diferentes formas encontram-se inter-relacionadas biogeoquimicamente – Ciclo do Azoto (Figura 2.15).

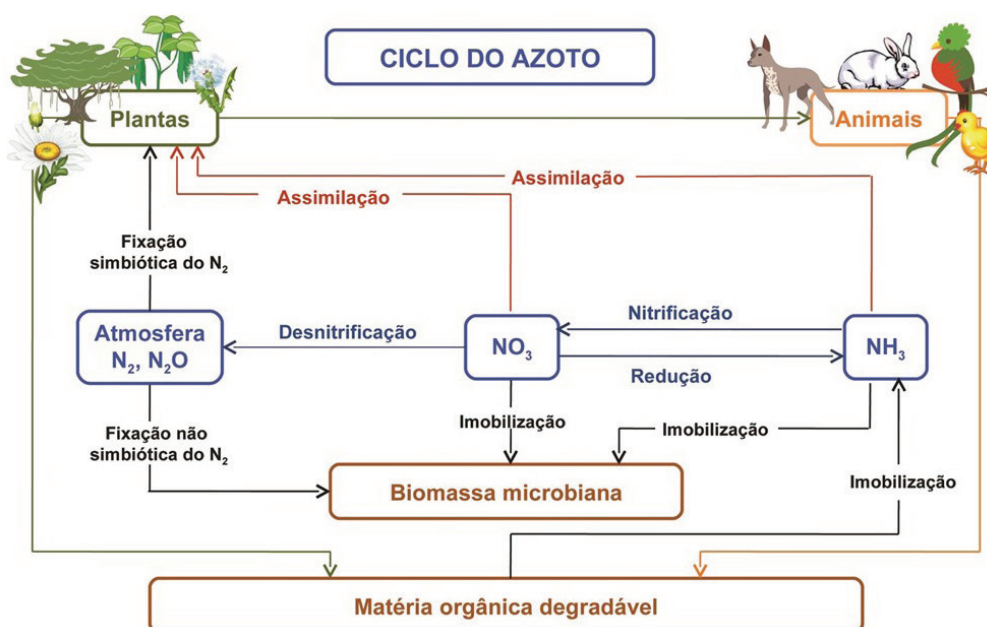


Figura 2.15
O ciclo biogeoquímico do Azoto e as respetivas transformações no solo (adaptado de Mendes e Oliveira, 2004).

O azoto, nas suas formas inorgânicas oxidadas, é muitas vezes um dos principais poluentes dos cursos de água. Por norma, estes compostos são provenientes da atividade agro-pecuária.

A biomonitorização consiste no uso de seres vivos para determinar ou monitorizar condições ambientais. Os macroinvertebrados bentónicos são ideais como bioindicadores em programas de biomonitorização por várias razões: (i) são ubíquos; (ii) são relativamente sedentários e têm ciclos de vida relativamente longos; (iii) alguns são sensíveis e outros são tolerantes à poluição; (iv) são facilmente recolhidos (amostrados) e identificados. Assim, os macroinvertebrados bentónicos são bons indicadores da qualidade da água onde vivem.

Ao contrário da monitorização química, que nos dá informação da qualidade da água no momento da medição, a monitorização biológica pode informar acerca de poluição passada ou episódica.

Contudo, o “bom estado” de um ecossistema aquático é determinado pela avaliação do Estado Global das massas de água que resulta da combinação do Estado Químico e do Estado/Potencial Ecológico, conceito incluído na Diretiva-Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE). Este último, é determinado pela análise de bioindicadores, nomeadamente, pelo estudo das comunidades de macroinvertebrados bentónicos dos ecossistemas lóticos. O conceito de “estado ecológico” expressa de modo global a qualidade, estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos.

No caso dos meios hídricos artificiais ou fortemente modificados, o objetivo de “bom estado ecológico” é substituído pelo de “bom potencial ecológico”, mantendo-se, no entanto, o objetivo de “bom estado químico”.

2.5. A portela da Bustarenga

Nesta zona de montanha, a pastorícia foi destruindo o coberto vegetal que anteriormente ocupava as encostas e alguns planaltos de altitude. Os incêndios, consumindo os matos mais densos e deixando as cinzas, favorecem a vegetação herbácea e o pastoreio, iniciando deste modo uma sucessão ecológica secundária. Por definição, uma sucessão ecológica secundária desenvolve-se em áreas onde a vegetação foi parcial ou completamente removida, mas possui solo bem desenvolvido com sementes e esporos. Nestas condições, diferentes mecanismos sucessionais podem ocorrer. O modelo da sucessão ecológica diz-se, respetivamente, de facilitação, tolerância ou inibição conforme nas etapas serais (comunidades relativamente transitórias no decurso da sucessão):

- as espécies pioneiras morrem em virtude de o ambiente se tornar mais apropriado para as espécies sucessionais posteriores;
- o ambiente torna-se menos próprio para as espécies pioneiras, mas nem mais nem menos favorável às espécies sucessionais posteriores;
- o ambiente torna-se menos próprio ao estabelecimento da maioria das espécies.

Neste último caso é frequente que espécies exóticas se tornem invasoras. A planta arbustiva do género *Hakea* (Figura 2.16) de origem australiana, tira partido dos fogos florestais para germinar com mais pujança em áreas da serra de Arga. Na legislação portuguesa (Anexo I do Decreto-Lei 565/99 de 21 de dezembro) estão classificadas como plantas exóticas invasoras, as espécies *Hakea sericea* Schrader (arbusto espinhoso) e *Hakea salicifolia* (Vent.) B. L. Burtt.



Figura 2.16
Planta arbustiva do género *Hakea* – planta exótica invasora.

Nesta cumeada, entre a vegetação essencialmente arbustiva, ocorrem micaxistos andaluzíticos (Silúrico) e alguns veios de segregação metamórfica de quartzo, com andaluzite e turmalina, gerados a partir de fusão parcial de rochas por colheita de material quartzoso e hiperaluminoso (Figura 2.17).



Figura 2.17
Veios de segregação metamórfica de quartzo com andaluzite e turmalina.

Algumas superfícies e volumes podem ser convenientemente caracterizados recorrendo a sistema de coordenadas esféricas. No espaço tridimensional, as coordenadas

esféricas de um ponto P (Figura 2.18) são representadas por um terno ordenado (r, θ, φ) em que $r \geq 0$ é a distância do ponto P à origem O , θ é o ângulo formado pelo eixo positivo Ox e a projeção ortogonal do vetor $\vec{OP}$ no plano xOy e φ é o ângulo formado pelo eixo positivo Oz e o vetor $\vec{OP}$. As escolhas usuais para θ e φ são $0 \leq \theta \leq 2\pi$ e $0 \leq \varphi \leq \pi$.

As relações entre as coordenadas cartesianas (x, y, z) do ponto P e as suas coordenadas esféricas (r, θ, φ) são as seguintes:

$$x = r \sin(\varphi) \cos(\theta),$$

$$y = r \sin(\varphi) \sin(\theta),$$

$$z = r \cos(\varphi).$$

Sendo $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, $\tan \theta = \frac{y}{x}$ e $\tan \varphi = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$.

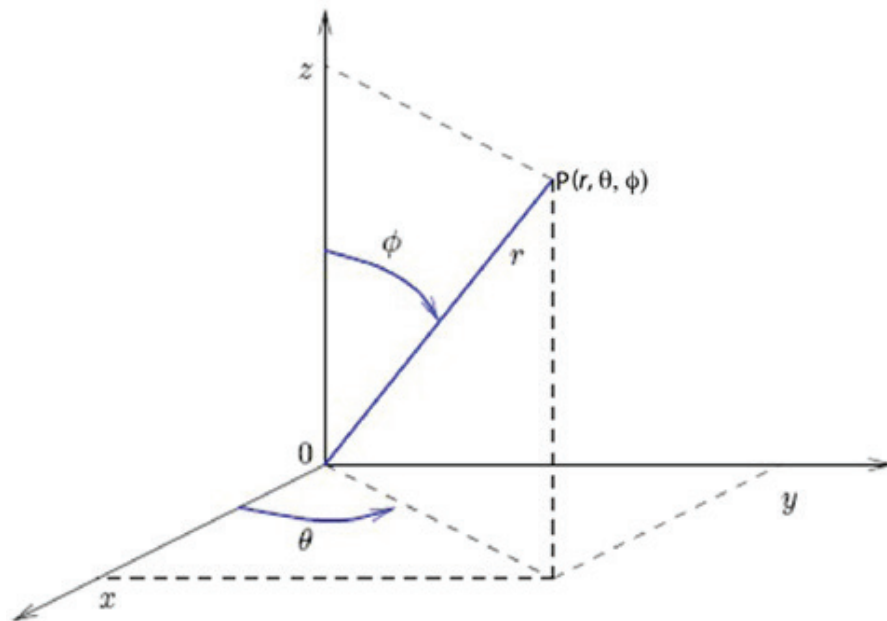
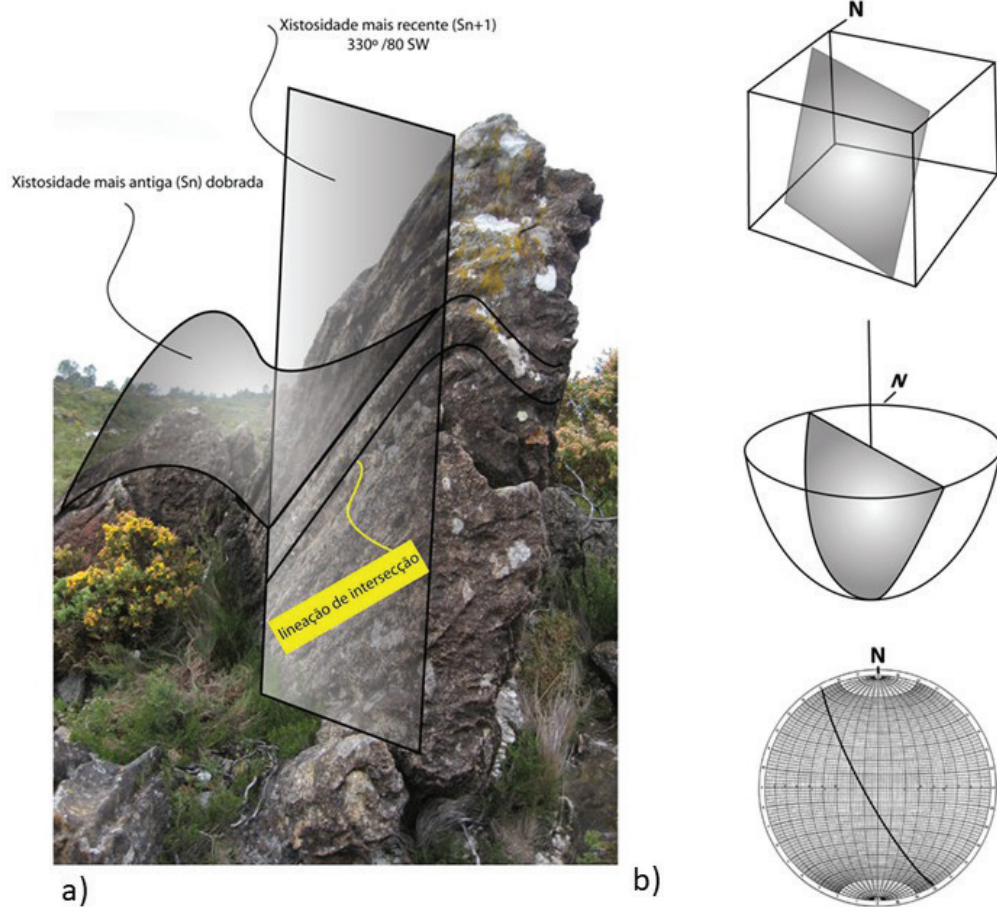


Figura 2.18
Sistemas de
coordenadas esféricas.

Designa-se por projeção de Lambert (Johann Heinrich Lambert, 1728-1777, matemático francês) um tipo de projeção geométrica de pontos da superfície esférica (Terra) num disco (plano). Este tipo de projeção diz-se projeção estereográfica porque preserva uma relação espacial entre as estruturas, em particular preserva as áreas de todas as regiões da esfera (embora não preservando com muito rigor os ângulos). A projeção de Lambert (Figura 2.19) é utilizada em diferentes áreas científicas, e.g. na Geologia Estrutural, representando as atitudes de planos e de linhas, bem como permitindo efetuar diagramas de densidades. Neste tipo de representação recorre-se a um papel gráfico especial, uma rede de Schmidt ou Lambert (Figura 2.19 b)). Na Figura 2.19 a) pode observar-se o dobramento da xistosidade S_n , xistossidades (S_n e S_{n+1}) e lineação de interseção ($S_n \wedge S_{n+1}$) em afloramentos de micaxisto andaluzítico, juntamente com a projeção estereográfica, rede de Schmidt, hemisfério inferior, da superfície de xistosidade S_{n+1} .

**Figura 2.19**

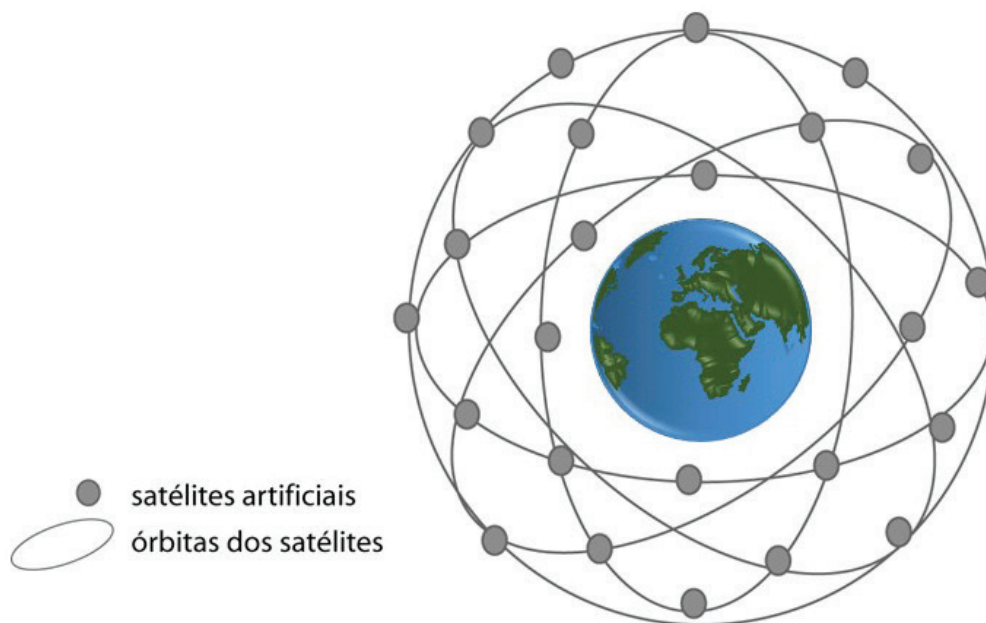
a) Estruturação Varisca no metassedimento Silúrico.
 b) Representação de uma estrutura geológica (S_{n+1} - N30°W/80°SW) na rede de Schmidt ou Lambert.

A localização de um ponto sobre o globo terrestre recorre à projeção das coordenadas esféricas num plano (carta topográfica ou ortofotomapa), consistindo na definição, em termos de coordenadas geodésicas, da latitude, da longitude e da altitude de um lugar.

O Sistema de Posicionamento Global, vulgarmente conhecido por GPS (acrónimo do inglês *Global Positioning System*), é um sistema americano de posicionamento por satélite, utilizado para determinação da posição de um recetor na superfície da Terra ou em órbita. Existem atualmente em funcionamento quatro sistemas de posicionamento por satélite: o GPS Americano, o Glonass Russo, o Compass Chinês (desde 2008) e o Europeu Galileo (desde 2013) de cariz civil, ao contrário dos anteriores que são sistemas militares.

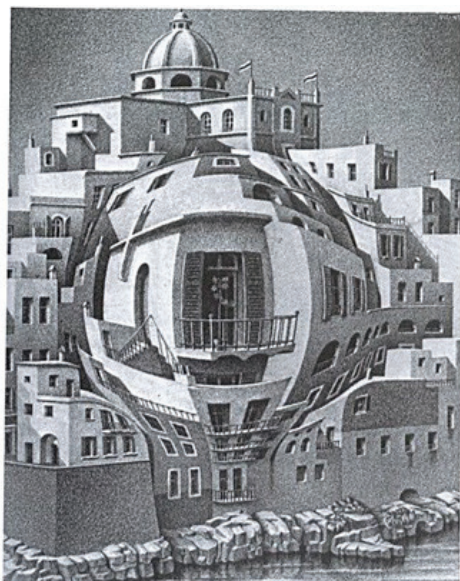
O sistema GPS é composto por uma constelação de 28 satélites (Figura 2.20), sendo quatro de reserva em seis planos orbitais. Cada um dos satélites circunda a Terra duas vezes por dia a uma altitude de 20 200 km e a uma velocidade de 11 265 km/h. Os satélites têm a bordo relógios atómicos e difundem constantemente o tempo preciso de acordo com o seu próprio relógio. Além disso fornecem informação adicional, tal como os elementos orbitais de movimento, conforme determinados por um conjunto de estações de observação terrestres dispostas ao longo da zona equatorial.

Figura 2.20
Um diagrama com a
órbita de satélites de
GPS.



Um recetor de GPS capta as transmissões dos sinais de código e de fase de múltiplos satélites, necessitando apenas de quatro satélites para determinar as suas próprias coordenadas espaciais (latitude, longitude e altitude) e a coordenada tempo. O recetor calcula a distância a cada um dos quatro satélites, a partir dos intervalos de tempo entre o instante local e os instantes em que os sinais foram enviados. Decodificando as localizações dos satélites a partir dos sinais de microondas (tipo de onda eletromagnética), de uma base de dados interna e, sabendo a velocidade de propagação do sinal, o recetor pode situar-se na interseção de quatro calotes esféricas, uma para cada satélite. A posição assim determinada em coordenadas geodésicas tem uma precisão média de 1 m.

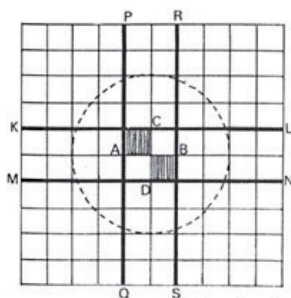
As projeções em sistemas de coordenadas pretendem representar fidedignamente a realidade. Contudo, brincando com a representação do espaço no plano, Escher (artista holandês, 1898-1972) criou a sua própria rede. Assim surge um pouco de Escher na nossa volta, à volta das representações geométricas (Figura 2.21).



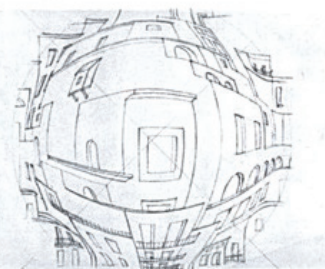
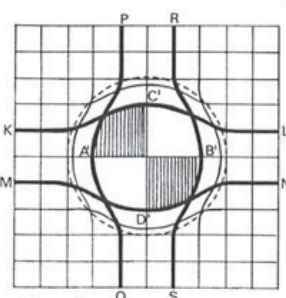
Varanda, litografia 1945



Esboço da Varanda antes da deformação do centro



A construção do sistema de rede para o abaulamento do centro



A deformação do centro

Figura 2.21
Varanda de Escher - Composições deformadas e não deformadas (Ernst, 1991 – M.C. Escher's "The Magic Mirror" © 2009, The M.C. Escher Company-Holland. Todos os direitos reservados, www.mescher.com).

Maurits Cornelis Escher nasceu em 1898 na Holanda. Considerado um artista gráfico (sem formação matemática) tornou-se, durante um período da sua vida artística, fascinado, quiçá obcecado, pela representação pictórica da relação entre espaço e superfície plana. Escher gostava particularmente de viajar tendo visitado diferentes locais na Europa. Numa das suas viagens efetuou diversos desenhos sobre uma pequena cidade portuária de Malta. Talvez fascinado pela composição equilibrada, vigorosa e rítmica que oferecia a estrutura de fundos dos edifícios, estes desenhos deram posteriormente origem ao seu trabalho Varanda, realizado em 1945. Nesta litografia, o centro da composição encontra-se quadruplicado em relação aos cantos. O resultado é uma enorme e exagerada protuberância, dando a sensação de que foi forçada e esticada por trás. Assim, observa-se que em volta do centro da figura, na Varanda, deu-se um alargamento: as linhas horizontais e verticais foram como que empurradas para fora contra o limite da circunferência.

3. Braga: entre a cidade e as serras

Itinerário

3.1. O vale das Sete Fontes

- O número 7
- As estruturas históricas de abastecimento de água à cidade
- Tubulações em ferro e corrosão
- As nascentes

3.2. A fonte do Ídolo

- Gravuras e inscrições
- Caracterização geológica e hidrogeológica
- Musealização

3.3. A Avenida Central e a Senhora-a-Branca

- O pombo: uma ave urbana
- A geometria das janelas do gaveto do Convento dos Congregados
- Processos de alteração da pedra nos monumentos
- Marco miliário da Via romana XVIII
- As laranjeiras

3.4. O Bom Jesus do Monte

- As árvores do Parque
- Subir de bicicleta
- O elevador hidráulico

Braga: entre a cidade e as serras

*Ecos ecoam no caminho percorrido,
e nos que ainda há a percorrer,
em busca de ti,
da tua alma:
observo,
tento entrar,
procuro,
por vezes, incessantemente.*

*Então, lá longe, pressinto o silêncio do teu ser:
Existes, para que mesmo quando ausente
sejas escutada,
por mim, por nós...
tornando-nos parte
de ti-Natureza,
sentindo-nos parte
do teu (magnífico) existir.*

Jorge Pamplona

Iniciamos este nosso vaguear científico pela milenar cidade de Braga e montanhas que a circundam, com motivos mais que suficientes para a sentirmos com um olhar que nos mostre, simplesmente, a razão do que nos cerca.

Usamos bastas vezes expressões como “as palavras são como as cerejas” e “palavra puxa palavra”, às quais gostaríamos de acrescentar, tomando a liberdade de as parafrasear, que as ciências são como palavras puxando palavras-cerejas de conhecimento que se observam e absorvem em cada vis(i)ta, com olhares que se pede estejam somente atentos àquilo que nos rodeia. E, neste contexto, virá também a propósito, o “a propósito”, duma prosaica anedota que se conta:

“Um padre preocupado com as ausências dos seus crentes à confissão, queria, em dia de S. José, que o mote da sua homilia abordasse este assunto. A situação estava difícil, eis, se não quando, se lhe fez luz: Caríssimos, hoje é dia de S. José, festejemo-lo. S. José carpinteiro, foi certamente o primeiro construtor de um confessionário e, por falar nisso...”

Com este curto prefácio, como se subentendeu, queremos só que, quem tenha a paciência de ler o que aqui escreveremos, se vá preparando para vários “a propósitos”, pois tal como as palavras e as cerejas, a ciência, para além do inesperado, traz muitos factos que vêm mesmo a “talhe de foice” ou, quiçá, a propósito!

Esta visita com vistas para ciência terá como elemento transversal a toda ela a **água**, todavia esperando não “meter água”.

Braga tem uma área de cerca de 55 km² compreendendo a sub-bacia hidrográfica do rio Este, afluente do rio Ave, na zona Sul da cidade, importante setor do núcleo urbano.

A cidade assenta numa extensa plataforma atravessada durante alguns quilómetros pelo rio Este (direção aproximada ENE-WSW), que nasce na Serra do Carvalho, freguesia de S. Mamede de Este, sendo um curso de água permanente de pequena dimensão.

A Geologia de Braga (Figura 3.1) é caracterizada pela presença de granitos de diferentes fácies, sendo as principais a do Granito do Sameiro e a do Granito de Braga. Tanto envolvendo o Granito do Sameiro, como no seu interior, ocorre uma unidade de rochas metamórficas fortemente foliadas, de composição variada, que se designa por Unidade de Vila Nune. A Oeste desta unidade aflora o Granito de Braga. No leito do rio Este encontram-se depósitos fluviais atuais. Diversas estruturas geológicas de deformação Varisca e posteriores, podem ser observadas (Ferreira et al, 2000). O setor da parte Sul da cidade assenta num vale alargado gerado pelo abatimento de diferentes tipos de falhas.

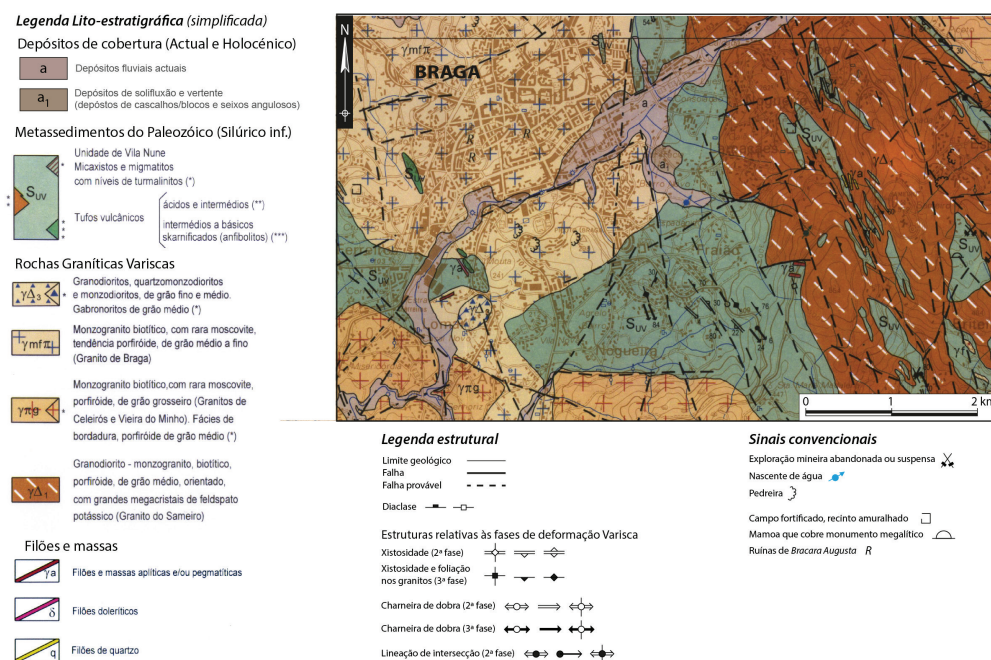


Figura 3.1
Mapa Geológico simplificado de Braga (adaptado de Ferreira et al., 2000).

A geomorfologia desta cidade é muito marcada pelo contraste entre relevos elevados e vales profundos, seguindo as orientações preferenciais de origem tectónica (Ferreira et al., 2000) que se manifestam por sistema de fraturação dominante (ENE-WSW), por vezes, cortada por acidentes menores de direção NNW-SSE. As vertentes na envolvente da cidade são, sobretudo, moderadamente acentuadas, 10 a 20°, embora em alguns setores possam ser mais acentuadas, e.g., na encosta de Santa Marta da Falperra, 20 a 30° (Fernandes, 2013). Braga, fazendo parte da Região Portuguesa do Minho, está incluída na mais representativa unidade geomorfológica da Península Ibérica, designada por Planalto Central (Brum Ferreira, 1980; Carvalho et al., 2005).

Braga tem um clima do tipo CsB – “clima temperado com Verão seco e suave em quase todas as regiões a Norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e nas regiões do litoral oeste do Alentejo e Algarve” (WMO, 2011).

A temperatura e a precipitação são influenciadas pela existência de cadeias montanhosas – as temperaturas mais baixas ocorrem nas áreas com as cotas altimétricas mais elevadas. A temperatura média anual é de 14,5°C. A abundância de recursos hídricos deve-se à elevada precipitação (média anual de 1674 mm), estando a evapotranspiração calculada entre 618 e 640 mm por ano (Costa, 2012).

E por falar em clima, temperatura e precipitação vem, naturalmente, e também a propósito, falar-se de ventos e da popular expressão de que esta cidade é o “penico do céu”. Para entendermos este fenómeno consideram-se três fatores: a orientação dos ventos dominantes, a precipitação e a orografia.

Entre Esposende e Braga, a orientação dos vales de origem tectónica e a orografia do território de Oeste (W) para Este (E), sempre com elevação das cotas, concorrem para gerar um mecanismo de condução das massas de ar marítimo, que provoca um aumento da precipitação média anual de W para E (Figura 3.2). Este mecanismo também é responsável pelo transporte de aerossóis marinhos (com cloreto de sódio - NaCl, que constituem núcleos de condensação para a formação de nuvens) com consequências na composição das águas subterrâneas.

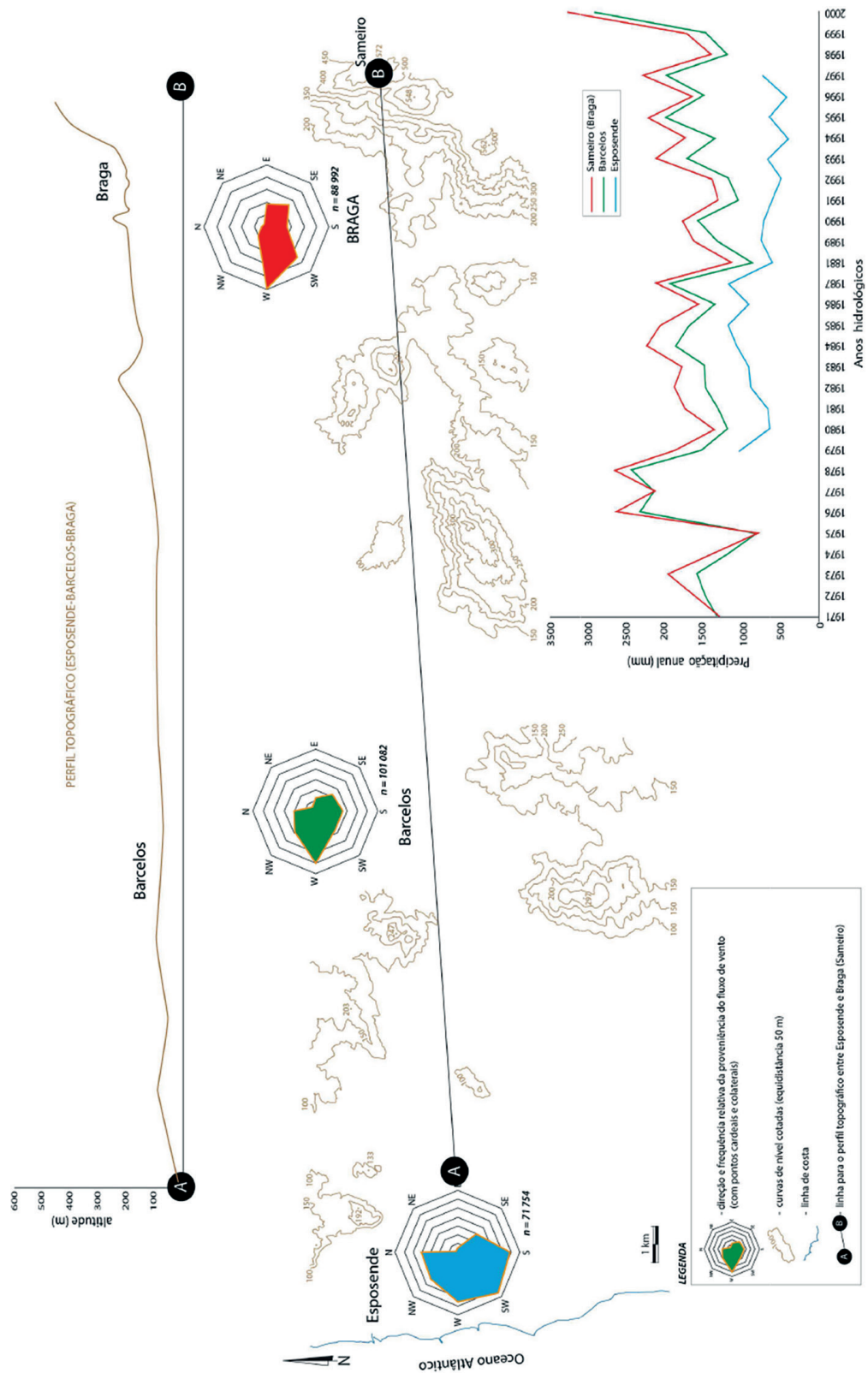


Figura 3.2
 Perfil topográfico, orientação preferencial dos ventos (os gráficos radiais indicam as origens dos ventos) e média anual da precipitação de W para E. (SNIRH – dados meteorológicos; séries temporais para a média anual de precipitação de: 30 anos – Barcelos e Sameiro; 19 anos para Esposende; séries temporais de hora a hora para a orientação dos ventos de 2003-2020/21; IgeoE – Instituto Geográfico do Exército – Cartas topográficas, à escala 1/25 000, n.ºs 68, 69 e 70).

Estes fatores abióticos – temperatura, precipitação, composição do solo e orografia – influenciam as biocenoses (comunidades biológicas) dos diferentes ecossistemas seminaturais que caracterizam as cercanias e a cidade de Braga.

Parcelas de ecossistemas definidos podem ser cartografadas como biótopos ou ecótopos que definem biocenoses características. Esses biótopos ou ecótopos são essencialmente identificados pela cobertura vegetal dominante:

- (i) Zona ripária do rio Este – estreito corredor de vegetação ripícola que ladeia o rio Este (com setores bastante artificializados), compreende espécies florísticas introduzidas pelo Homem. Da vegetação arbórea destacam-se os amieiros (*Alnus glutinosa*) e os salgueiros (*Salix* spp.), com a interferência de alguns espécimes de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) e outras espécies introduzidas. No estrato arbustivo predominam os silvados (*Rubus* spp.), juntamente com algumas manchas de canavial, sobretudo, *Arundo donax*;
- (ii) Campos agrícolas – zonas de cultivo principalmente de milho, vinha e árvores de fruto. As comunidades vegetais herbáceas são predominantemente ruderais e compreendem plantas, pertencentes principalmente às famílias Poaceae (gramíneas) e Fabaceae (leguminosas);
- (iii) Matas e bouças – manchas relativamente pequenas de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), carvalhos (*Quercus pirenaica* e *Quercus faginea*) e sobreiro (*Quercus suber*), com estratos arbustivos essencialmente constituídos por tojos (*Ulex europeus*; *U. minor*), giestas (*Cytisus* spp.), silvas ou amoras-silvestres (*Rubus fruticosus*), funcho ou erva-doce (*Foeniculum vulgare*) e misturados com herbáceas, principalmente gramíneas (família Poacea).
- (iv) Quintais e jardins públicos – compreendem as sebes de variadas espécies que ladeiam as moradias e as plantas de jardim geralmente não autóctones, para além de árvores de porte adequado à dimensão do quintal ou jardim.

Nestes biótopos ou ecótopos é mais difícil identificar os animais que caracterizam as suas biocenoses, considerando a cobertura vegetal referida. A maior diversidade faunística encontra-se com certeza entre os invertebrados de pequenas dimensões, geralmente não inventariados. A avifauna pode ser mais facilmente identificada, por observação direta, cantos e chamamentos, mas geralmente as aves visitam com maior ou menor frequência todos os biótopos considerados. O mesmo acontece com pequenos répteis e pequenos mamíferos que têm qualquer destes biótopos como seu habitat.

Os biótopos que podem ser cartografados na cidade de Braga constituem áreas territoriais não impermeabilizadas, que contribuem para mitigar as cheias, sobretudo devidas a picos de precipitação. Contudo são muitos os fatores que levam à ocorrência de cheias nas bacias hidrográficas:

- a quantidade da precipitação quando significativa, num curto espaço de tempo;
- a densidade de drenagem, a forma da bacia hidrográfica, o declive das vertentes, a erosão, a cobertura vegetal e a litologia;

- o grau de saturação dos terrenos e dos reservatórios subterrâneos naturais, mais frequentes no inverno, dificultam a infiltração e favorecem o escoamento superficial;
- a construção de infraestruturas junto às zonas de leito, uma vez que, caso se verifique a ocorrência de cheia, esta provoca de imediato danos na população;
- a impermeabilização dos solos, principalmente nas áreas urbanas, aumenta o escoamento superficial;
- rotura de barragens associadas ou não a fenómenos meteorológicos adversos.

No comportamento hidrológico descrito para um rio, as características geométricas a salientar são: a área de drenagem e a forma da bacia.

Uma rede de hidrográfica inclui sistemas naturais (rios e lagos) ou artificiais (construídos pelo homem) para drenar ou armazenar a água superficial, normalmente proveniente das chuvas. A ocupação urbana dos solos na vizinhança das margens do rio Este, com a sua consequente impermeabilização, também aumenta o risco de inundação ou cheia, uma vez que a água não se infiltra aumentando a velocidade de escoamento superficial (Figura 3.3).

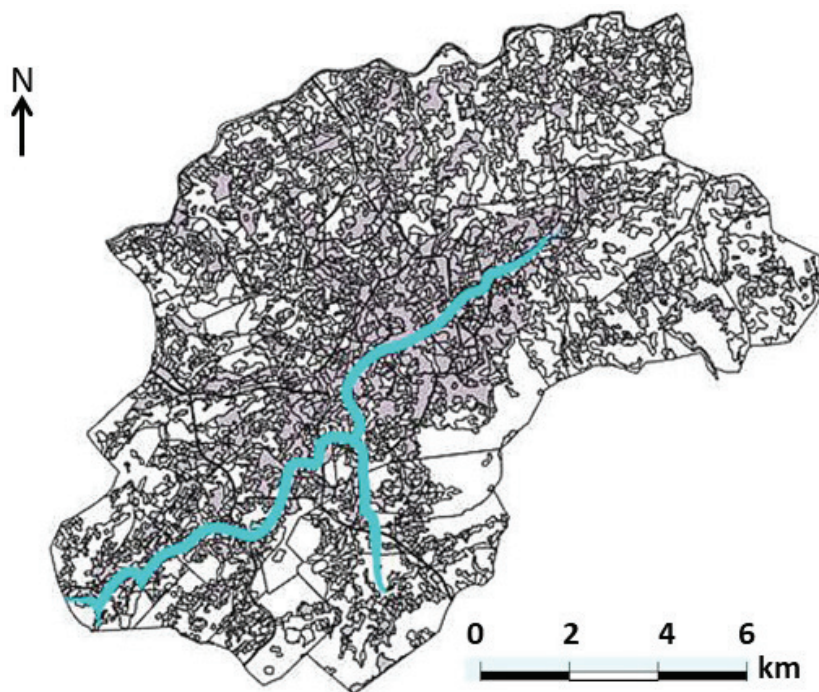


Figura 3.3
Território artificializado na envolvente do rio Este: a linha azul representa o rio Este; a lilás o setor artificializado (adaptado de Maia, 2021).

A forma da bacia é descrita qualitativa e quantitativamente. Quanto à caracterização qualitativa, uma bacia pode ser alongada, circular, ramificada ou irregular. A bacia do rio Este é considerada alongada.

Para proceder a caracterização quantitativa, recorre-se ao coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius (K_c), ao fator de forma (K_f) e à densidade de drenagem (D). A densidade de drenagem do rio Este (Figura 3.4) é de $2,36 \text{ km/km}^2$, sendo na generalidade considerada elevada.

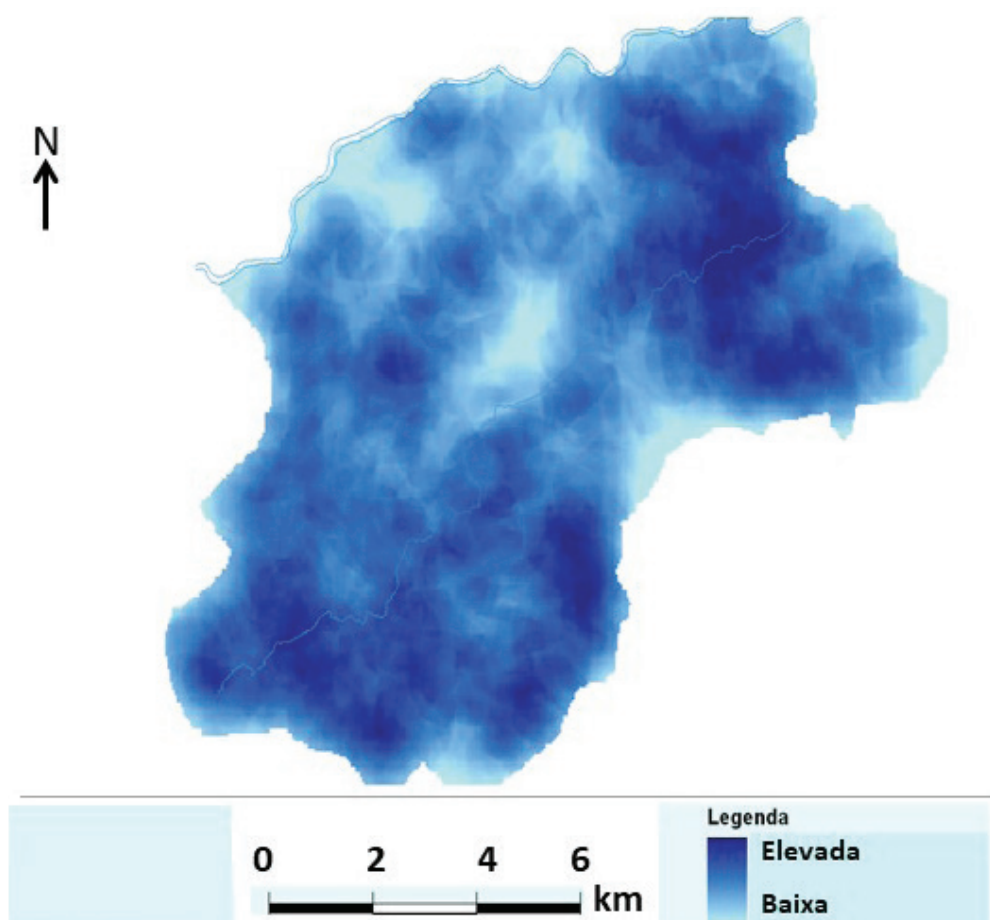


Figura 3.4
Carta de densidade de drenagem concelho de Braga (Ribeiro, 2004).

A precipitação e o seu impacto no escoamento fluvial são os principais responsáveis pelas cheias, associados ao coeficiente de compacidade e ao fator de forma da rede de drenagem. A estes parâmetros acresce ainda o grau e o tipo de ocupação do solo (Costa, 2012).

Devido aos declives médios e à baixa densidade de cobertura vegetal, em períodos de forte precipitação, a velocidade e quantidade de escoamento superficial é considerável, propiciando a ocorrência de inundações e cheias nas zonas planas de vale do rio Este.

As cheias e inundações que ocorreram entre 1935 e 2013 (ver Anexo – Histórico de cheias e inundações no concelho de Braga) (Fernandes, 2013; Maia, 2021), permitiram elaborar uma carta das zonas mais suscetíveis à ocorrência de cheias ao longo do rio Este, na área urbana de Braga, na Rodovia e nos parques industriais de Ferreiros e de Celeirós (Figura 3.5).

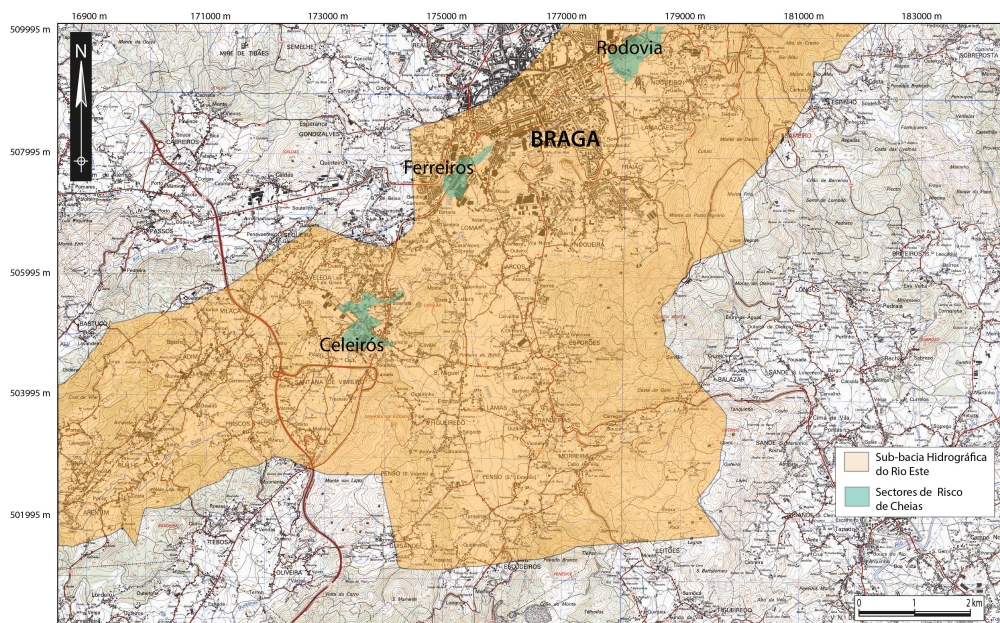


Figura 3.5
Carta de Risco de Cheias (adaptado de Fernandes, 2013).
Base topográfica: Carta Topográfica n.º 70, à escala 1:25000, do Instituto Geográfico do Exército (IgeoE).

A gestão da água neste território, iniciada com os romanos em *Bracara Augusta*, foi sendo feita de diferentes modos ao longo das diversas épocas, destacando-se, entre outros, no século XVIII, a construção do complexo conhecido por Vale das Sete Fontes. E que melhor local para dar início a esta nossa caminhada?!

Itinerário

Pelas terras de *Bracara Augusta*, observaremos a ciência do espaço urbano e das serras da vizinhança. Para o efeito, selecionaram-se paragens neste contínuo pela cidade e a serra que a emoldura (Figura 3.6).

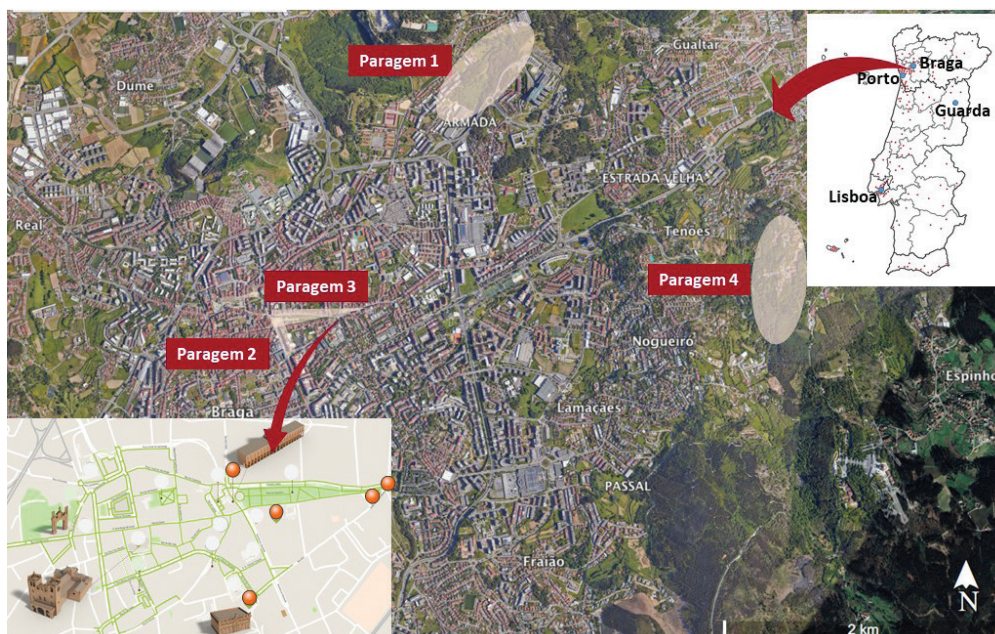


Figura 3.6
Itinerário e localização
das paragens (adaptado
de imagem de satélite
da Google e do mapa
turístico da cidade de
Braga).

3.1. O Vale das Sete Fontes

O Vale das Sete Fontes atendendo ao número de “capelas” como sinónimo de fontes, tem apenas quatro “capelas”. Se nos focarmos no número de nascentes estaremos com toda a certeza a falar em muito mais do que sete. Então, por que será assim denominado este vale com várias “capelas” e nascentes, ainda que em número diferente de 7?

A resposta talvez esteja no significado e simbolismo do número 7, que parece ser tão especial...

O número 7, em algarismo árabe e VII, em algarismo romano, é um número natural, ímpar, que segue o seis e precede o oito. Sendo o quarto número primo (números naturais que só têm dois divisores naturais distintos, o número um e ele mesmo) pode ser escrito na forma única como a soma de dois números primos $7=2+5$ e, uma vez que $2^3 - 1 = 7$ diz-se que é um número de Mercene (todo o número natural da forma $2^n - 1$, onde n é um número natural).

Tem-se ainda que, num dado, a soma das duas faces opostas perfaz sempre sete e o polígono regular que tem sete faces chama-se heptágono. O misticismo sobre os números, não sendo criação dos pitagóricos era por estes objeto de atenção, merecendo o sete especial *respeito*, presumivelmente por causa das sete estrelas errantes, ou planetas, das quais a semana derivou (Boyer, 1974). Eventualmente, o sete podia ainda ser visto como a soma do espiritual 3 com o material 4, já que na educação medieval, os alunos estudavam o *trivium* (gramática, retórica e lógica) e o *quadrivium* (música, aritmética, geometria e astronomia).

O número sete, presente em expressões populares como “fechado a sete chaves”, “debaixo de sete palmos” e “o gato tem sete vidas”, surge frequentemente associado a outras situações: são sete as notas da escala diatónica, são sete as cores do arco íris, são sete os dias da semana, ou ainda são sete as maravilhas do mundo antigo e são sete maravilhas do mundo moderno. Se para os Judeus, o sete se manifesta no candelabro de sete braços (Menorah), na Europa Medieval são sete os dons do Espírito Santo, as virtudes teológicas, os sacramentos e os pecados capitais.

Na configuração eletrónica dos elementos químicos, o número atómico sete é o do nitrogénio (símbolo químico N, grupo VII da tabela periódica). O número atómico é, por definição, o número de protões encontrados no núcleo de um átomo que é também igual ao número de eletrões, garantindo assim que o átomo seja eletricamente neutro. A distribuição eletrónica de um átomo de nitrogénio tem sete eletrões à volta do núcleo e para adquirir estabilidade facilmente reage com outro átomo de nitrogénio através da partilha de um par de eletrões, formando assim uma ligação covalente constituindo a molécula N_2 (Figura 3.7).

Figura 3.7

Esquema da ligação tripla da molécula N_2 .



A molécula resultante desta reação é o gás nitrogénio que representa 78% em volume da composição do ar que respiramos.

Na tabela periódica dos elementos químicos, o oxigénio (O) encontra-se no grupo dos átomos dos não metais, ao lado do nitrogénio e é também um gás presente na atmosfera, o O_2 . Sem ele não vivemos. O oxigénio é mais do que isso... com outro elemento químico, o hidrogénio (H), forma uma das moléculas mais bonitas da vida, a água (H_2O).

A obtenção de O_2 para a respiração aeróbia dos seres vivos é feita por organismos autotróficos, por via da fotossíntese. Os pigmentos fotossintéticos, nomeadamente as clorofilas presentes nas plantas, algas e bactérias autotróficas, absorvem a energia da luz solar e transformam o dióxido de carbono (CO_2) e água em hidratos de carbono e oxigénio.

As estruturas históricas do abastecimento de água à cidade de Braga são a maior evidência do valor patrimonial e científico do Vale das Sete Fontes. Neste vale, o complexo hidráulico setecentista, relíquia da engenharia do século XVIII, foi classificado como Monumento Nacional em 2011 (Lemos, 2014; Decreto n.º 16/2011, DR, 1.ª Série, n.º 101, de 25 de maio de 2011) e a área envolvente que inclui o aquífero outrora utilizado para a captação de água potável, recebeu a notificação oficial de Zona Especial de Proteção – ZEP (Portaria n.º 576/2011, DR n.º 110, 2.ª série, 7 de junho de 2011). Preservando a sua autenticidade e integridade, o sistema de abastecimento de água do Vale das Sete Fontes tem um valor histórico inquestionável como património cultural nacional e constitui um legado estratégico de fonte de água segura que deve ser protegido (Vieira et al., 2018).

De acordo com evidências geomorfológicas, hidrogeológicas e arqueológicas, no período Romano (séculos I e II), o Vale das Sete Fontes seria o principal ponto de abastecimento de água ao centro urbano de *Bracara Augusta* (Lemos, 2008; Martins et al., 2012; Rodrigues, 2012; Teixeira, 2012; Vieira et al., 2018).

As galerias que convergem para os depósitos de água (castelos de água) terão sido construídas em sucessivas fases durante a Idade Média. A fase construtiva do século XV deve-se ao arcebispo D. Fernando da Guerra (Lemos, 2014).

A partir do segundo quartel do século XV, as fontes de água (dentro das paredes da cidade) tornaram-se insuficientes para satisfazer a crescente procura de água (Vieira et al., 2018). Por conseguinte, foi necessário reativar fontes antigas ou encontrar novas fontes nos arredores a norte (N) e nordeste (NE) da cidade, e a menos de 5 km de

distância (Figura 3.8). A partir destes locais, a água seria transportada por aquedutos de pedra, fechados, até à cidade medieval, de onde seria distribuída por fontes, bicas de água, tanques e lavadouros (Marques, 1980).

Desde a antiguidade, é importante assegurar que a água captada em áreas remotas possa chegar a um reservatório principal, a partir do qual é distribuída para diferentes pontos estratégicos da cidade. Os romanos utilizavam um reservatório designado por *castellum aquae* ou *castellum divisorium*, que recebia água de diferentes aquedutos e a distribuía por fontes e balneários em diferentes áreas da cidade (Martins et al., 2012; Vieira et al., 2018). É bastante provável que um *castellum aquae* romano tenha sido construído em *Bracara Augusta*, no mesmo local onde, mais recentemente, esteve o principal reservatório de água (Figura 3.8) chamado “Caixa Geral das Águas” (Vieira et al., 2018).

Durante a Idade Moderna, nos séculos XVI e XVII, o arcebispo D. Diogo de Bragança mandou edificar novas fontes e manteve e melhorou as captações de água neste vale (Martins et al., 2012), Figuras 3.9 e 3.10. No primeiro quartel do século XVIII, o arcebispo D. Rodrigo de Moura Teles implementou a diversificação da captação de água, pela construção de túneis de infiltração e túneis de imersão que canalizavam a água do Vale das Sete Fontes através de um aqueduto subterrâneo (Figura 3.11) no sentido da “Caixa Geral das Águas” situada numa das entradas da cidade (Martins et al., 2012).

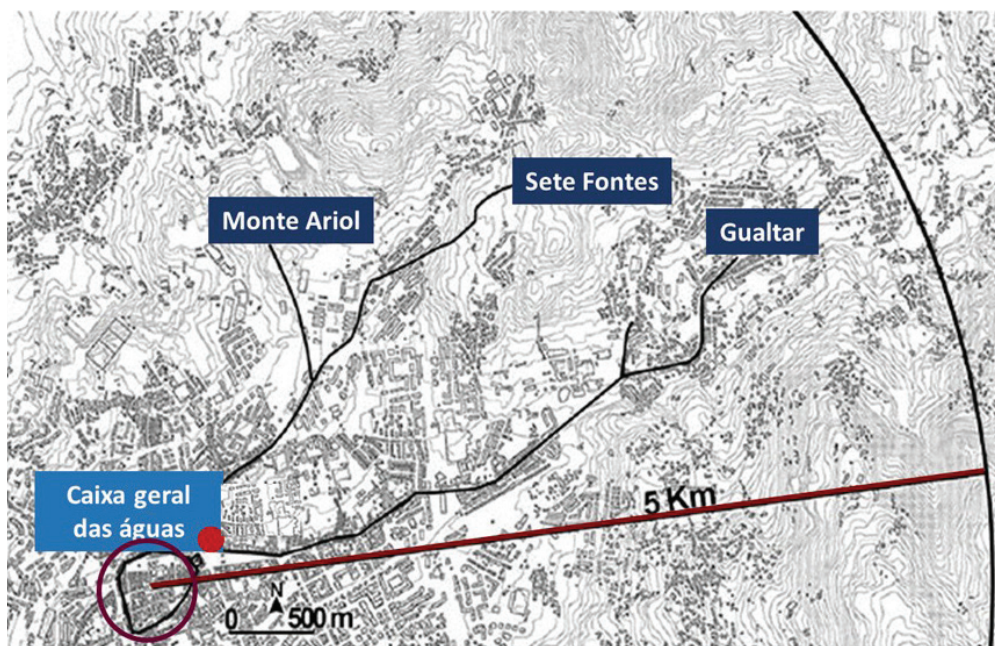
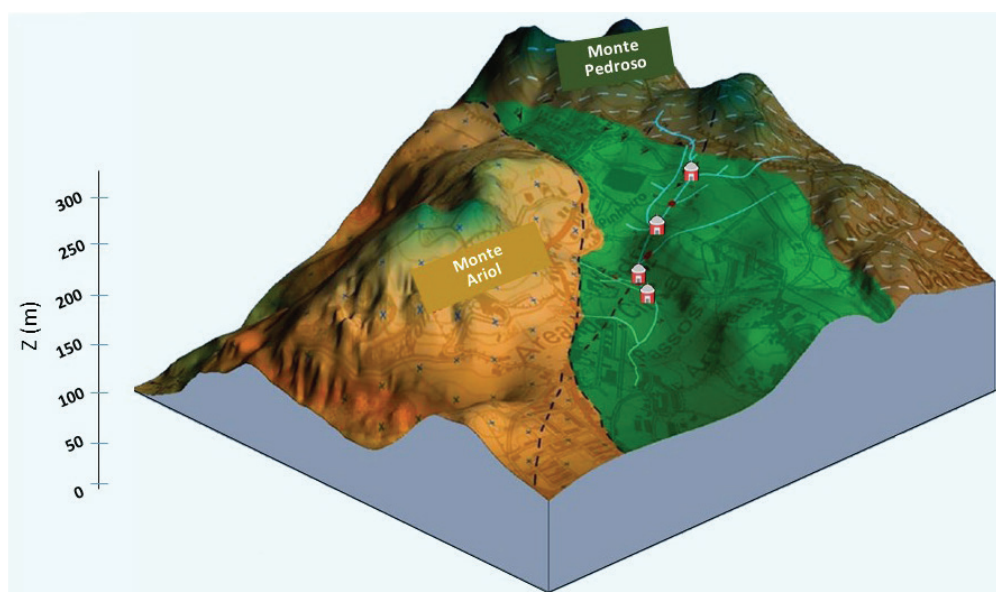


Figura 3.8
Vale das Sete Fontes:
condutas de água
para suprimento à
“Caixa Geral das Águas”
(adaptado de Costa,
2012; Martins et al.,
2012).

**Figura 3.9**

Vale das Sete Fontes: representação a 2D das capelas, minas, respiradouros e condutas de águas.

**Figura 3.10**

Vale das Sete Fontes: representação a 3D do Vale das Sete Fontes com as respectivas capelas.

Em meados do século XVIII, este sistema foi melhorado pelo arcebispo D. José de Bragança que ordenou a monumentalização do complexo hidrológico através da construção de novas galerias e "capelas", câmaras redondas com telhado arqueado (Figura 3.11). Entre o final do século XVIII e início do século XIX, o arcebispo D. Caetano Brandão ordenou a abertura de uma galeria, a Mina dos Órfãos de S. Caetano, para fornecer água ao orfanato por ele fundado (Órfãos de S. Caetano) (Martins et al., 2011; Martins et al., 2012; Vieira et al., 2018). Estas obras são hoje conhecidas por sistema hidráulico do Vale das Sete Fontes.



Figura 3.11
Sistema de abastecimento do Vale das Sete Fontes (século XVIII): a) “capela” e aqueduto de pedra e b) exterior e interior duma das “capelas”, com água proveniente de duas galerias, mostrando o sistema de tratamento de água, no que respeita à areação e remoção do ferro e manganês (Antunes & Gonçalves, 2018) e c) Mina subterrânea que liga as nascentes às “capelas”.

“Sistema de abastecimento de água composto por 14 galerias subterrâneas (minas) e seis depósitos de junção. Ao todo é um conjunto construído em pedra trabalhada que se estende por cerca de 3 500 m. As minas subterrâneas têm no seu fundo caleiros rasgados na pedra que conduzem a água através de galerias (algumas com mais de 1 km de comprimento), até aos depósitos de encontro. Por seu turno, a água que aí corre vai confluindo em depósitos espalhados na vertente (seis ao todo numa distância aproximada de 500 m). O primeiro depósito a montante, que recebe água de duas minas, fica no ponto mais alto (264 m), e ostenta a maior pedra d’ armas, em pedra lavrada, do seu doador. Existem mais três depósitos, que embora sejam mais pequenos, apresentam o mesmo modelo de planta circular e cobertura em domo com pináculo no topo; os restantes são apenas bocas de minas com portas trabalhadas. Destes depósitos sai a conduta que traz água para a cidade, construída de pedras justapostas formando uma fileira de cerca de 3 km. São pedras retangulares com um comprimento à volta de um metro e meio metro de lado e vazadas no interior formando um tubo com 30 cm de diâmetro” (SIPA, 2021).

A manutenção do Monumento Nacional das Sete Fontes é responsabilidade da AGERE, (Empresa Municipal de Braga).

Dois funcionários, denominados “aguadeiros”, são responsáveis por limpar as canalizações do aqueduto de pedra aonde circula a água.

As raízes da vegetação envolvente proliferam dentro das condutas adquirindo a sua forma, diminuindo o caudal da água e até impedindo a sua circulação. Esporadicamente, é necessário abrir o canal das condutas, a fim de retirar estas raízes.



Para isso, é necessário partir a “pedra de repouso”, para retirar as raízes do interior do canal; após esta operação o buraco é de novo cimentado (Guerreiro, 2021). Estas raízes são conhecidas como raposos ou raposas devido à sua forma alongada e à cor. Além disso, ao serem puxadas para o exterior lembram a cauda de uma raposa.



A geomorfologia e a geologia dos arredores de Braga explicam o facto de, no século XVIII, as principais fontes de água estarem localizadas a N e a NE da cidade (entre elas o Vale das Sete Fontes); aqui as nascentes são abundantes, e as encostas têm um declive muito favorável ao transporte da água por gravidade até à cidade (Rodrigues, 2012; Vieira et al., 2018). De facto, estas nascentes de água situam-se a altitudes entre 250 e 300 m, enquanto a “Caixa Geral das Águas” (que armazenava e distribuía a água), está a uma cota inferior, a cerca de 194 m, o que evitou a necessidade de estruturas de elevação para o transporte de água (Martins et al., 2011).

Situando-se as nascentes de água a uma altitude média de 275 m e a “Caixa Geral das Águas” a uma altitude de 194 m, podemos determinar o declive entre estes dois pontos. Considerando um triângulo retângulo em que um dos seus catetos é definido com base na distância entre os dois pontos de 3 500 m, e o outro é definido pela diferença de cotas, 81 m, o valor do declive (Figura 3.12) é:

$$\text{declive} = \frac{81}{3500} \times 100 = 2,31\%$$

assim, por cada 100 m percorridos na horizontal desce-se em cota 2,31 m.

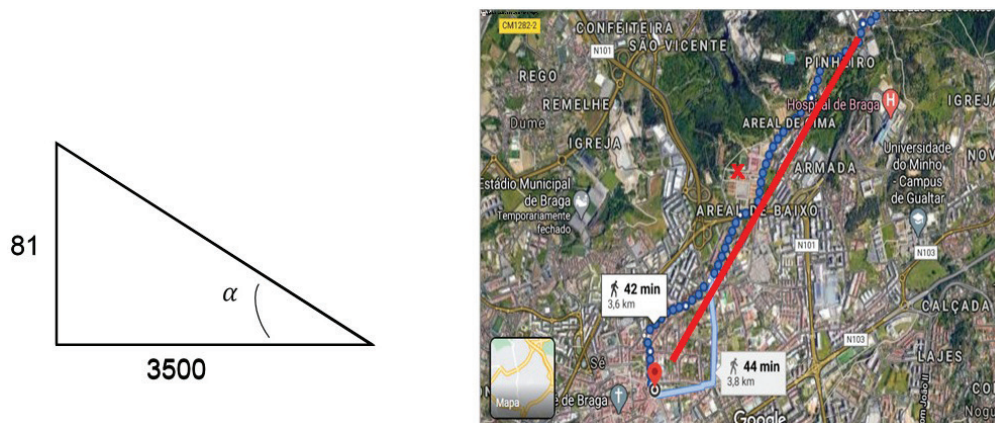


Figura 3.12
Do Vale das Sete Fontes
à “Caixa Geral das
Águas”.

Podemos ainda acrescentar, recorrendo a noções básicas de trigonometria, em particular ao conceito de tangente de um ângulo, que:

$$\text{tg } \alpha = \frac{81}{3500} = 0,0231 \quad \text{donde } \alpha = \text{arctg}(0,0231) = 1,3^\circ$$

isto é, a inclinação da vertente com a horizontal faz um ângulo de 1,3°.

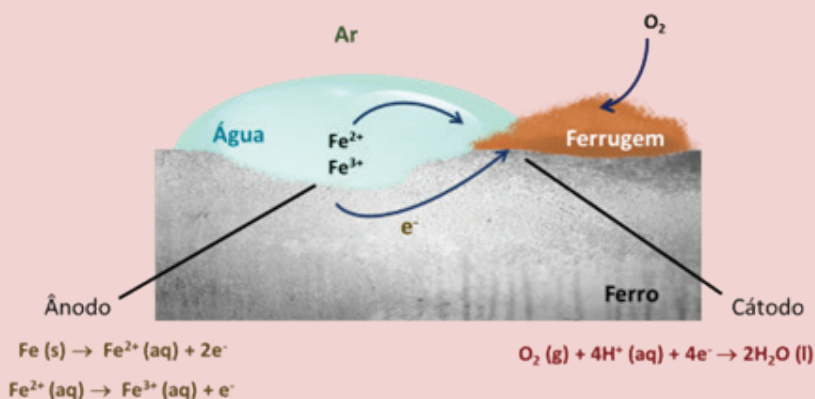
Até ao início do século XX (1913), o Vale das Sete Fontes foi o principal sistema de abastecimento de água à cidade de Braga. Nessa altura foi instalado um novo sistema de captação e tratamento de água no rio Cávado, sendo a zona sul da cidade servida por bombagem a partir do reservatório de Guadalupe (Vieira et al., 2018). A maior parte das fontes e bebedouros da cidade (e algumas poucas casas) são ainda hoje abastecidas pela água proveniente dos sistemas construídos no século XVIII.

Estudos hidrogeológicos de Costa (2012) e Rodrigues (2012) referem uma produtividade média diária de cerca de 400 m³/dia, para um ano hidrológico normal. Em alguns segmentos da rede de abastecimento de água do Vale das Sete Fontes foram introduzidos, na terceira década do século XX, tubos de ferro fundido, para evitar perdas do aquífero e facilitar a sua manutenção, sem destruir as antigas infraestruturas, assegurando a continuidade da sua operacionalidade.

A utilização de ferro fundido nas tubulações da água prende-se com a sua resistência e capacidade de garantir que a pressão da água exercida durante a sua passagem

pela rede hidráulica, não cause danos que possam prejudicar o sistema. As tubulações são constituídas por ferro (Fe) que pertence aos metais de transição e é um elemento químico bastante abundante na crosta terrestre. O ferro fundido é uma liga metálica com teor de carbono (C) entre de 2% a 7% e silício (Si) entre 1% a 4%.

A corrosão é a deterioração de metais por um processo eletroquímico que resulta da oxidação de um metal. Neste processo forma-se um ião metálico solúvel, um complexo ou um óxido insolúvel, um hidróxido ou outro sal. A ferrugem (óxido de ferro) que ocorre na presença de água e oxigénio, é o processo de corrosão mais conhecido.



(Adaptado de Chang & Goldsby, 2013)

A perda de eletrões ocorre na semirreação de oxidação (ânodo) e na semirreação de redução dá-se ganho de eletrões (cátodo). A reação total é chamada a reação da célula eletroquímica. Os iões H^+ são fornecidos pelo H_2CO_3 , que se forma quando o CO_2 se dissolve em água. Os materiais sofrem corrosão espontaneamente por estarem em contacto com a atmosfera e a água. Felizmente, a velocidade de corrosão é baixa ou pode ser mantida suficientemente baixa através do uso de medidas preventivas adequadas.

O Vale das Sete Fontes é delimitado por dois sistemas de falhas principais (NNE–SSW e ENE–WSW) que controlam o fluxo de águas subterrâneas relacionado com o curso do rio Este. O aquífero de meios fraturados do Vale das Sete Fontes caracteriza-se pelo contacto, por falhas NNE–SSE a NE–SW, entre metassedimentos do Silúrico e granitos. O vale é atravessado por uma falha NE–SW, a que se associam outras fraturas secundárias.

As rochas de composição granítica e as rochas metamórficas estão, em geral, fraturadas e com graus de meteorização distintos (de ligeiro a moderado) podendo atingir profundidades superiores a 20 m (Antunes & Gonçalves, 2018). Esta alteração, a fraturação e a foliação aumentam a permeabilidade promovendo a infiltração de água a maiores profundidades.

A permeabilidade, sendo a capacidade de um material transportar fluidos, depende das características de meios porosos. Nas rochas são relevantes os fluxos de hidrocarbonetos e gás de reservatórios de petróleo e de água dos aquíferos. A permeabilidade também está relacionada com os fenômenos físico-químicos de adsorção e absorção.

A adsorção é um fenômeno de superfície em que os átomos ou moléculas de uma substância se fixam à superfície de um sólido através de forças de atração. Na absorção, há penetração da substância para o corpo do sólido (Figura 3.13).

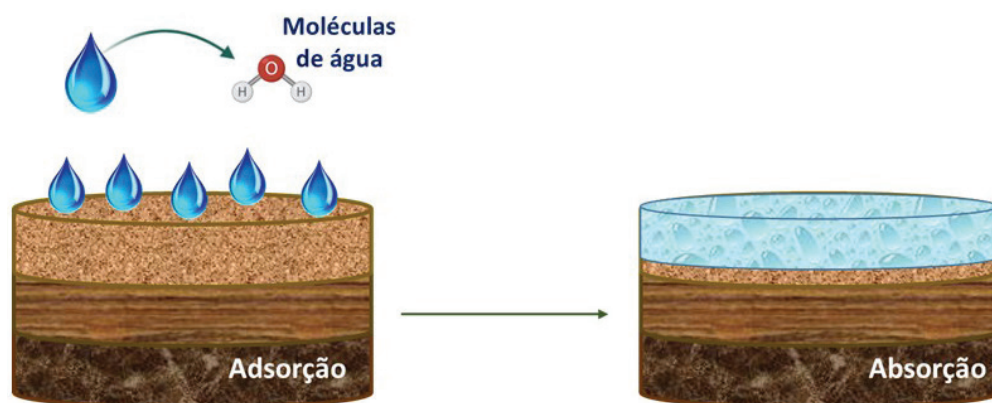


Figura 3.13
Esquema representativo
de adsorção e absorção.

As nascentes de água ocorrem principalmente ao longo do vale, com drenagem para o rio Este. O relevo aqui presente é especialmente importante para a recarga do aquífero, a partir da precipitação e da rede de drenagem (Antunes & Gonçalves, 2018).

Durante um ano hidrológico, a variação do caudal das linhas de água é bastante acentuada, como seria expectável, num clima com as características do de Braga. Contudo, a composição físico-química das águas subterrâneas apresenta variações pouco significativas (Tabela 3.1).

Análises hidrogeoquímicas revelam que a água é pouco mineralizada (embora ligeiramente acima do fundo regional) com uma condutividade elétrica máxima de 195 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e uma mineralização média total de 85,1 mg/L, sugerindo que são águas meteoricas (águas da chuva). O facto de existir uma dependência entre as temperaturas da água de algumas nascentes e a temperatura atmosférica, sugere circuitos pouco profundos para estas águas subterrâneas. Alguma interação água-rocha associada a influência marinha é evidenciada pela presença, e.g., magnésio (Mg), sódio (Na) e cloro (Cl) e, ainda, pelo contributo da agricultura local e outras fontes de contaminação antrópica, por exemplo, presença de nitratos (NO_3^-) e sulfatos (SO_4^{2-}) (Costa, 2012), tornando esta água um pouco mais mineralizada do que o expectável.

Tabela 3.1

Produtividade e propriedades físico-químicas da água subterrânea do Vale das Sete Fontes – dados do ano hidrológico de 2011/2012 (Costa, 2012).

Produtividade e propriedades físico-químicas da água	Mínimo	Máximo	Média
Caudal (m ³ /dia)	271,3	1183,4	547,2
Temperatura (°C)	13,4	16,2	14,5
Condutividade elétrica (μS/cm)	195	45	85,1
pH	5,7	7,4	6,8
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	45,0	150,0	85,0
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	7,0	19,0	10,4
Na ⁺ (mg/L)	5,8	19,5	10,4
K ⁺ (mg/L)	0,4	3,0	1,8
Ca ²⁺ (mg/L)	1,1	26,0	3,7
Mg ²⁺ (mg/L)	0,6	4,9	2,8
Cl ⁻ (mg/L)	4,7	15,7	8,1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,0	40,3	9,8
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,4	16,3	3,8
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	0,9	8,0	2,5

Os caudais individuais do Vale das Sete Fontes são bastante variáveis (mínimos de 0,1 m³/dia e máximos de 422,6 m³/dia). No ano hidrológico de 2011-2012, a produtividade global do sistema situou-se entre 271,3 e 1183,4 m³/dia, sendo o valor médio de 547,2 m³/dia (Costa, 2012). Uma vez que 2011-2012 foi um ano seco (precipitação e temperatura média, respetivamente iguais a 1674 mm/ano e 14,5°C), espera-se que o rendimento médio e máximo do sistema possa ser grandemente excedido num ano médio e, ainda mais acentuado, num ano húmido. Assim, pode considerar-se que os efeitos relacionados com os eventos de recarga do aquífero se manifestam fortemente na quantidade de água e nos parâmetros físico-químicos da água do Vale das Sete Fontes (Antunes & Gonçalves, 2018).

A propósito do Vale das Sete Fontes, recordamos que a “Caixa Geral das Águas”, que armazenava as águas provenientes das nascentes de Norte a Nordeste da cidade, se situava aproximadamente no local onde hoje está sediado o Banco de Portugal.

O facto da “Caixa Geral das Águas” se encontrar na parte superior e bastante próxima do que é hoje a Avenida da Liberdade, terá outrora dado a toponímia a esta avenida de “Rua das Águas”?!

Ou seria o facto de, por esta se encontrar numa vertente orientada para Sul, onde na base corria o rio Este nas alturas de chuva, as águas circulavam livremente por esta encosta?! A resposta a esta questão toponímica será mais do foro dos historiadores e dos geógrafos do que nossa... deixemos, então, a “César o que é de César”.

Mas, e há sempre um mas em Ciência, também poderia existir fraturação (falhas e diaclases) de alguma importância que permitiriam a ocorrência de pequenas nascentes nesta rua ou na sua vizinhança. Esta hipótese não é fácil de comprovar, dado este setor da cidade ser a Avenida da Liberdade, fortemente urbanizada e, porque na altura da escavação dos túneis do parque de estacionamento subterrâneo da Avenida Central (final de 1990), não se ter tido acesso aos estudos geológicos-geotécnicos.

Não sabemos até que ponto será válida a hipótese atrás levantada, todavia, não é despiendo o facto de, na Rua do Raio, próxima do Palácio do Raio (obra com o “risco” de André Soares, 1720-1769), existir uma fonte de grande significado histórico: a Fonte do Ídolo.

3.2. A fonte do Ídolo

A fonte do Ídolo (Figura 3.14), classificada como Monumento Nacional desde 6 de junho de 1910 (Decreto 16-06-1910, DG n.º 136 de 23 junho) e musealizada em 2006, compreende um conjunto de imagens e inscrições latinas esculpidas num afloramento granítico com uma nascente de água. Esta fonte era um santuário rupes-tre romano, que foi reconstruída e oferecida por *Celicus Fronto*, ao povo de *Bracara Augusta*, constituindo um importante monumento da capital do *Conventus Bracarum* (Lemos, 2006).

A hipótese de se tratar de um lugar venerado antes da fundação da cidade é muito verosímil (Lemos, 2008). Todavia, a maioria dos autores aponta para que o santuário possa datar do início precoce de *Bracara Augusta*, em torno da reviravolta da Era Cristã (século I dC), sob o domínio do Imperador *Augustus*. Quando *Bracara Augusta* era a capital de uma vasta província romana, a *Callaecia* (Baixo Império, século IV), a fonte do Ídolo ainda era usada. A primeira referência ao santuário da Fonte do Ídolo, acompanhada pelo desenho mais antigo que se conhece e que inclui inscrições em latim, foi feita no século XVIII por Jerónimo Contador de Argote (Lemos, 2006).

No lado esquerdo à frente da fonte, está esculpida uma imagem com toga, que tem numa mão aquilo que parece ser uma cornucópia, do lado direito, sobre a nascente, existe uma *aedicula* com um busto no interior, uma pomba e um martelo no frontão (Figura 3.14). As inscrições encontram-se perto destas gravuras e também na *aedicula* e no nicho. Na opinião de Leite de Vasconcelos (1905), a gravura do lado esquerdo corresponde ao “deus *Callegiano, Nabia*”, e a do lado direito a *Celicus Fronto*. Por seu lado, Rodríguez-Colmenero (2006), também refere *Nabia Fortuna* como sendo a gravura do lado esquerdo, mas, relativamente à imagem do lado direito, indica-a como pertencendo a “*Tongus*, deus local”.



Figura 3.14
Vista frontal da
Fonte do Ídolo com
as esculturas e as
inscrições em latim.

As gravuras e as inscrições latinas foram efetuadas sobre uma diaclase ($N20^{\circ}/90^{\circ}$) de um afloramento de monzogranito de grão fino a médio e tendência porfiróide (Granito de Braga), com significativa fraturação (duas famílias de diaclases principais sub-verticais – $N50^{\circ}-70^{\circ}W$ e $N10^{\circ}-20^{\circ}E$), diaclasamento sub-horizontal e, ainda, fraturação não sistemática (Figura 3.15 e Figura 3.16). Esta rede de fraturação pode criar condições favoráveis para o destacamento de porções de rocha do monumento. O afloramento está pouco meteorizado, não evidenciando perda de coesão, embora se observe, numa porção do afloramento, exfoliação de cor castanha-amarelada sugerindo o início de disjunção esferoidal (Alves et al., 2007).

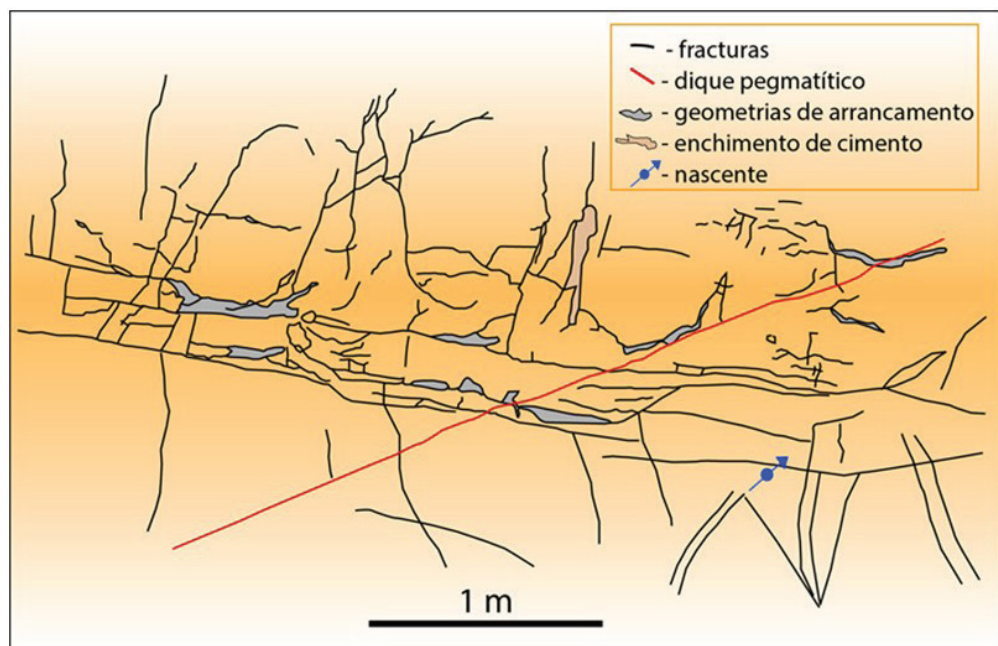


Figura 3.15
Rede de fraturação
na seção vertical
($N20^{\circ}/90^{\circ}$) do
monumento (adaptado
de Alves et al., 2007).

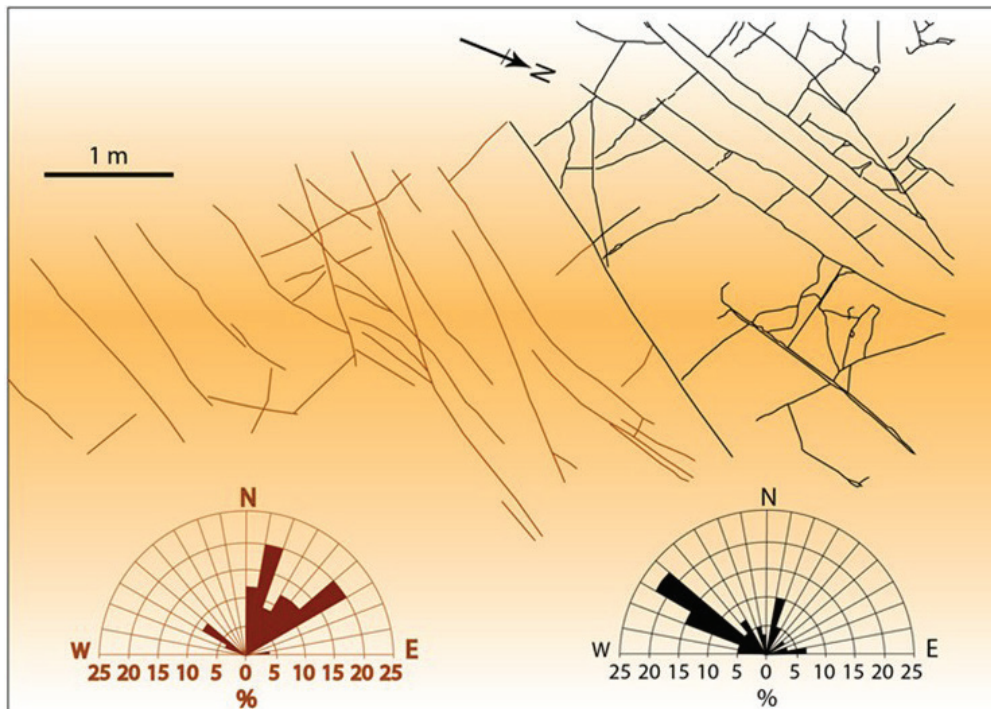


Figura 3.16
 Rede de fraturação, em planta, com diagramas da distribuição das suas direções (adaptado de Alves et al., 2007).

Estudos realizados em 1995 mostraram que a colonização biológica (essencialmente de musgos) constituía a principal patologia presente no monumento (Figura 3.17). Em 2007, esta patologia ocorria apenas em porções do afloramento distante das gravuras, mas na superfície do afloramento foi detetada a presença de sais solúveis (agregados de gesso), por microscopia eletrónica de varrimento e espectroscopia química (Figura 3.18).

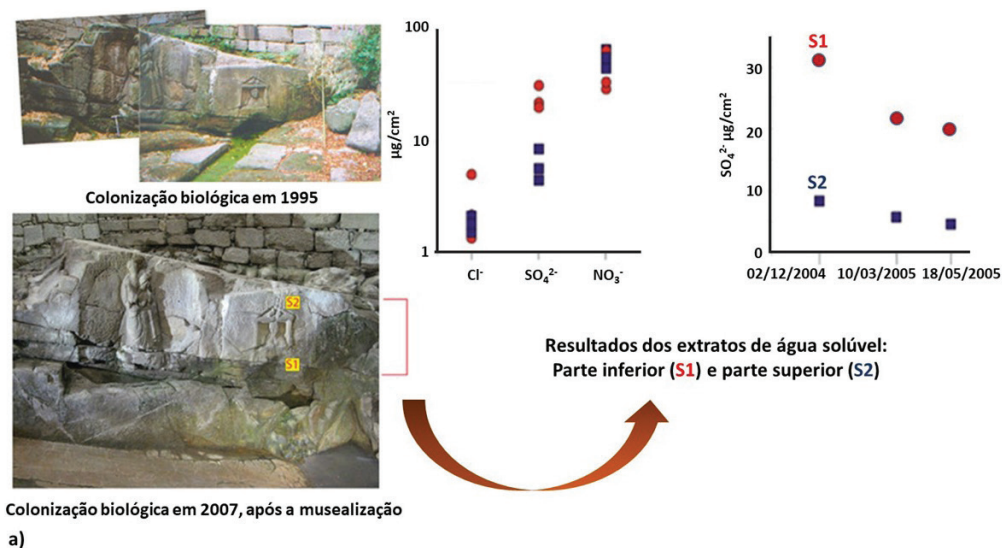


Figura 3.17 a)
 Colonização biológica (1995 e 2007) e evolução de alguns aniões presentes em extratos de água solúvel (adaptado de Alves et al., 2007).



Figura 3.17 b)
Colonização biológica
(2025).

b)

Colonização biológica em 2025

A microscopia eletrónica de varrimento (MEV) é uma ferramenta poderosa para a análise da superfície dos materiais, pois permite uma ampliação da imagem de superfícies irregulares até 900 000 vezes. A área ou o micro-volume a ser analisado é irradiado por um fino feixe de eletrões e como resultado da interação do feixe de eletrões com a superfície da amostra, uma série de radiações são emitidas e transformam-se em sinais, que quando são captados irão fornecer informações características da amostra (topografia/morfologia da superfície, etc.). A espectroscopia química acoplada à MEV permite uma análise quantitativa da composição química da área que está a ser analisada.

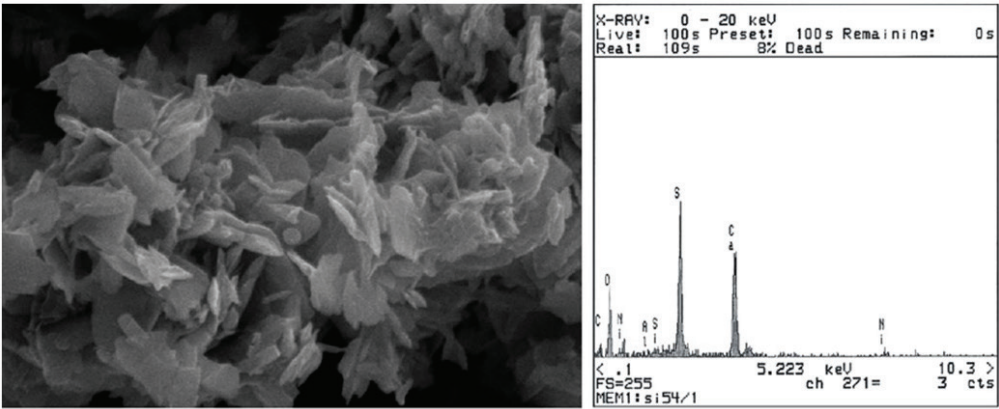


Figura 3.18
Agregados de gesso
e espectro químico
detetados por MEV
(SEM-EDS – Scannig
Electron Microscopy
with Energy Dispersive
Spectroscopy,adaptado
de Alves et al., 2007).

De acordo com vários estudos (Aires-Barros & Sequeira Braga, 1995; Aires-Barros et al., 1998; Alves, 2006; Alves et al., 2007), as concentrações iónicas e a condutividade

elétrica da água da nascente ao longo dos anos apresentaram valores médios das águas subterrâneas regionais e vários parâmetros com valores semelhantes ou mesmo acima do valor regional mais alto (Figura 3.19). Uma nascente com concentrações iónicas significativas em contacto persistente com o substrato rochoso das gravuras constituía uma fonte de poluição salina que poderia promover deterioração do monumento. Antes da sua musealização foram observadas variações do nível da água no monumento, que mostravam estar associadas a um fluxo local de águas subterrâneas.

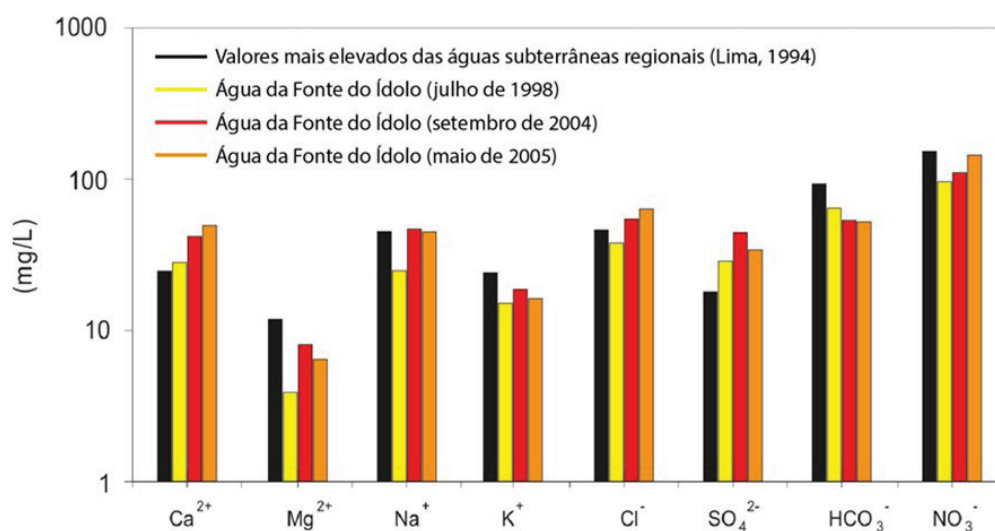


Figura 3.19
Concentrações iónicas máximas regionais de água subterrânea e de amostras de água da Fonte do Ídolo (adaptado de Alves et al., 2007).

Considerando os fatores naturais de degradação do monumento, o perigo de vandalismo e a crescente pressão urbana exercida no local, a Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) elaborou em 2006, um projeto de musealização (Silva, 2006) que incluiu diversas decisões.

Também foram levadas a cabo um conjunto de ações, medidas e legislação no sentido de tornar realidade o projeto de musealização (SIPA, 2021). Para a gestão da Fonte do Ídolo foi estabelecido um protocolo entre a DGEMN, a Câmara Municipal de Braga, a Universidade do Minho e o Museu Regional D. Diogo de Sousa. As iniciativas anteriormente descritas, foram marcos determinantes, pois permitiram controlar o ambiente em redor do monumento, nomeadamente a presença e o contacto dos visitantes com o afloramento e, ainda, por terem constituído uma barreira contra o crescimento urbano.

O projeto de musealização compreendeu:

1. a construção de um edifício em redor do monumento (Figura 3.20)

(i) para atendimento público, dois espaços autónomos localizados num nível do monumento:

- a receção com acesso à rua e uma área de observação abaixo desta (com acesso por uma escada);

– uma plataforma onde os visitantes podem ter uma vista lateral do afloramento e uma vista frontal que permite a observação das gravuras.

(ii) para acesso restrito ao nível do monumento através de uma escada, permitindo o acesso a qualquer parte do afloramento e, também, a outras estruturas arqueológicas, na altura descobertas.

2. escavações arqueológicas junto ao monumento;

3. instalação de uma unidade de climatização;

4. operações ligeiras de limpeza manual para remover a maior parte da colonização biológica;

5. inspeção visual do monumento e monitorização permanente da temperatura e da humidade relativa.

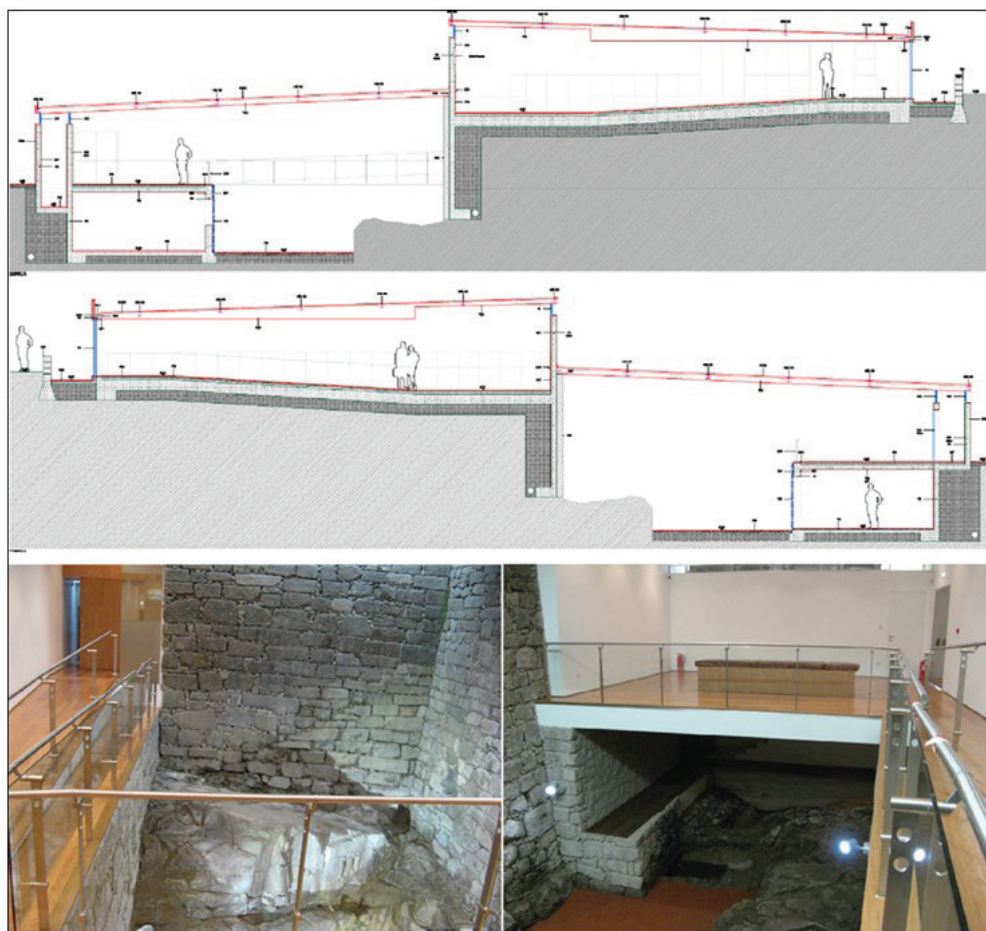


Figura 3.20

Secções verticais (alçados) do plano de musealização (adaptado de Silva, 2006) e fotografias mostrando o piso inferior e o piso superior (após a musealização).

3.3. A Avenida Central e a Senhora-a-Branca

Ao ouvirmos os sinos das diversas igrejas de Braga, nomeadamente os da Basílica dos Congregados, invade-nos o som e, em particular, a sua propagação como o elemento presente, *ab initio*, da nossa vis(i)ta urbana – as pessoas a conversar, o canto das aves, o trânsito, entre tantos outros.

Nas torres sineiras da Basílica dos Congregados, entusiasmados badalos investem vigorosamente contra campânulas de bronze fundido que retinem e retinem, criando brilhantes ondas acústicas de diferentes alturas. Estas propagam-se radialmente numa esfera sonora que se expande velozmente alcançando lonjuras e lugares remotos, por efeito da difração que lhes permitem dobrar esquinas ou entrar por estreitas fendas, e a todos envolve, enchendo de alegres vibrações os tímpanos bracarenses.

Entre as aves mais comuns no centro de Braga (e em todos os centros urbanos do mundo) encontram-se os pombos (Figura 3.21), amados por uns, mas odiados pela maioria dos cidadãos.



Figura 3.21
Pombos na Avenida Central, Braga.

O arrulhar dos pombos pode ser mais ou menos agradável, mas estas aves são sem dúvida, atualmente consideradas pragas urbanas – causam danos incalculáveis aos edifícios e representam um potencial risco para a saúde pública devido à possibilidade de transmissão de zoonoses (Miranda et al., 2014; Spennemann & Watson 2017).

Pertencentes à família Columbidae, os pombos relacionam-se com o homem em qualquer região da Terra, exceto nos polos, desde há muitos milhares de anos (3 000-5 000 aC), e começaram a ser domesticados há cerca de 5 000 anos.

Descendentes do pombo selvagem ou pombo das rochas (*Columba livia*, Gmelin, 1789), espécie eurasiática que se instala e nidifica em penhascos naturais, os pombos domésticos (*Columba livia domestica*, Lineu, 1758) constituem uma sub-espécie que se tornou oportunista e é considerada sinantrópica, isto é, vive nas cidades onde usufrui dos recursos aí disponíveis, principalmente restos de comida e resíduos urbanos (lixo).

Na cidade de Braga, principalmente no seu centro urbano, os pombos constroem ninhos em beirais de casas e nas torres das igrejas ou noutros monumentos emblemáticos, instinto herdado dos pombos das rochas que habitam em regiões altas, tais como encostas ou zonas rochosas, para protegerem as suas crias. Geralmente, o termo "pombo doméstico" refere-se aos indivíduos que vivem em cativeiro incluindo as muitas raças artificialmente selecionadas, e as que constroem ninho em zonas urbanizadas; o termo "pombo das rochas" designa aves selvagens que vivem na sua área de origem sendo descendentes de antepassados selvagens e de vida livre. É comum haver cruzamentos entre pombos selvagens e pombos domésticos, uma das principais razões do desaparecimento das populações selvagens (FCTUNL, 2021) e do aumento de populações de pombos ferais.

O pombo das rochas ou pombo comum, *C. livia*, é assim uma das espécies de aves mais abundante e amplamente distribuída na Terra, morfologicamente díspar, que inclui mais de 350 raças (Jones et al., 2019).

Darwin dedicou-se ao estudo desta espécie, e as variações morfológicas e comportamentais que observou em *C. livia*, muito contribuíram para o desenvolvimento da teoria evolutiva que apresentou na sua obra-prima, "A origem das espécies..." (Darwin, 2009; Domyan & Shapiro, 2017).

Desde então *C. livia* tornou-se um importante organismo modelo nas ciências biológicas, sendo usado não só em estudos de genética e de biologia evolutiva e do desenvolvimento, mas também em estudos comportamentais, de biomimética, de biomecanismos, de neurociência, de medicina, e até estudos sobre alimentação (Jones et al., 2019).

Se por um lado são vistas como "ratazanas do ar", por outro, estas aves têm conotações bem mais aprazíveis na cultura de diferentes comunidades humanas. Em várias religiões cristãs a "pomba branca" é vista como símbolo da paz. Nos textos bíblicos, quer do Antigo quer do Novo Testamento, a pomba está associada a "boas novas". O relato do dilúvio (Génese, 8) conta que Noé soltou uma pomba para ver se as águas tinham baixado. Numa primeira viagem esta não encontrou terra firme, mas sete dias depois, a pomba retornou com um ramo de oliveira no bico. No Novo Testamento – Evangelho São Marcos, 1, 10 – "No momento em que Jesus saía da água, João viu os céus abertos e descer o Espírito em forma de pomba sobre ele". A alegoria da pomba branca como mensageira da paz foi também eternizada por Picasso na sua obra "*La Colombe de la paix*" (1949), no ano em que nasceu a sua filha Paloma.

Quem nunca ouviu falar de pombos-correio? No processo de domesticação, o Homem treinou pombos para a função de mensageiros. Alguns destes pombos-correio foram reconhecidos como heróis, porque ajudaram a salvar muitas vidas humanas durante a Primeira e Segunda Guerras Mundiais.

O afeto das populações citadinas por estas aves fizeram delas vedetas de filmes e/ou postais ilustrados, colecionados pelos turistas que visitam os *ex-libris* de cidades famosas. São disso exemplos, a *Trafalgar Square* em Londres onde a vendedora de milho é uma personagem inesquecível do filme *Mary Poppins* de Walt Disney, a *Piazza San Marco* em Veneza “com permanente abundância de fotógrafos, turistas e pombos” ou o Parque do Bom Jesus do Monte em Braga, onde as crianças eram fotografadas em cima de um cavalo de papel, na companhia dos pombos.

Atualmente a prática de “dar milho aos pombos” é completamente desencorajada, pela repugnância crescente e generalizada que estas aves causam na maioria das pessoas (Miranda et al., 2014). Os dejetos ou fezes dos pombos domésticos constituem um grande problema nas cidades, por sujarem as fachadas e espaços interiores de monumentos e outros edifícios e pelo seu potencial risco para a saúde pública. Têm sido identificados agentes patogénicos (vírus, bactérias, fungos, protozoários e vermes parasitas) nestas aves e nas suas fezes, que podem ser prejudiciais aos seres humanos e a animais domésticos (Spennemann & Watson, 2017), sendo os excrementos dos pombos domésticos muito mais ricos em organismos patogénicos do que os de pombos selvagens (Sari et al., 2008).

A alimentação dos pombos “urbanos” é bem diferente da dos pombos selvagens ou ferais, à base de grãos e insetos. O alimento das aves sinantrópicas conduz à produção de excrementos de composição química complexa, compreendendo essencialmente matéria orgânica, sais e ácidos fosfórico (H_3PO_4), nítrico (HNO_3) e úrico ($C_5H_4N_4O_3$). O ácido presente nos excrementos dos pombos, quando depositado na superfície dos materiais reage com componentes suscetíveis de corroer ou dissolver as suas superfícies. Quanto maior a acidez da substância depositada (quanto mais baixo o pH), maior o impacto nos materiais suscetíveis. O ácido úrico tem sido associado à decomposição do arenito estrutural e ornamental utilizado em esculturas de exterior, telhados e acabamentos de pintura (Spennemann & Watson, 2017). A dissolução química do calcário é impulsionada principalmente pela presença dos excrementos dos pombos e é um processo crítico de desgaste que afeta os elementos arquitetónicos mais valiosos das fachadas (Benavente et al., 2021).



Além disso a elevada acidez dos excrementos dos pombos favorece a proliferação de *Cryptococcus neoformans*, que não sobrevive em condições alcalinas (Spennemann & Watson, 2017). *C. neoformans* é uma levedura encapsulada que se pode desenvolver como fungo filamentoso, formando hifas para produzir basidiósporos. A infecção provocada por inalação de esporos designa-se por criptococose e afeta sobretudo imunodeprimidos.

Lancemos o nosso olhar sobre o Convento dos Congregados, em particular, para o magnífico conjunto de janelas que decoram a esquina a nascente deste monumento - mais um requinte oferecido em bandeja de pedra ornamentada pelo risco de André Soares (1720-1769).

No seu romance Flores, Afonso Cruz (2015) questiona “O que faria um tradutor de arte? É muito simples, traduziria a arte para outras linguagens: olhava para os girassóis de Van Gogh e traduzia-os para as leis da Física, e assim ficava explicado o Universo”. Vamos, então, à nossa maneira, procurar traduzir a arte que o “grande poeta do Granito” (Smith, 1973) imprimiu no gaveto dos Congregados, colocando-a em linguagem matemática para, assim, tentarmos entender um pouco mais do Universo, mas ainda longe da utopia literária de Afonso Cruz.

A construção do edifício dos Congregados, em Braga, iniciada em 1703, prolongou-se por várias décadas. A última campanha construtiva durou de 1761 a 1765 e pretendeu concluir a fachada do edifício, virada ao Campo de Sant'Ana (hoje Avenida Central) e desenhada por André Soares. A fachada inclui o gaveto do lado nascente esquina entre o Campo de Sant'Ana e a pequena via ainda hoje conhecida por Cangosta da Palha. Aqui, André Soares impôs, não só, de forma delicada a sua marca na cornija, ao multiplicar a linha de planos até ao impressionante número de 25, como inclui o “mais notável mostuário de janelas portuguesas do século XVIII” (Oliveira, 2014).



A série de seis janelas, todas diferentes, muito diferentes mesmo, constitui um desafio de interpretação pela sua variedade e organização. Por um lado, as palavras de Eduardo Oliveira oferecem-nos o olhar artístico e arquitetónico: “As janelas que estão voltadas a Norte, à praça pública, são todas muito trabalhadas, de certa forma devedoras do rococó. Na face nascente, que dá acesso à pequena via, as janelas têm um desenho bem mais simples, embora sejam definidas por fortes molduras” (Oliveira, 2014). Por outro lado, pode ser avançada uma interpretação de natureza matemática (Espírito Santo & Forjaz, 2022), o que não é novidade na análise de trabalhos de arquitetura. A interpretação é apresentada como uma hipótese estruturada em duas partes, tendo por base o conceito matemático de sucessão.

A primeira parte da hipótese propõe uma forma de colocar por ordem as janelas do gaveto dos Congregados. À partida, é evidente que as janelas viradas à rua secundária são mais simples que as janelas viradas à avenida. Na face virada à avenida, a janela mais ricamente decorada é aquela que fica no piso térreo, ao nível dos olhos do transeunte; subindo na parede, quanto mais longe da vista, mais simples a janela. Por outro lado, na coluna de janelas que ficam na face virada à rua secundária, esta lógica está invertida. Se o conjunto for visto a partir da avenida, no enfiamento da esquina do qual é habitualmente observado e fotografado, colhem-se os frutos desta organização paradoxal: de repente, salta à vista que, no topo do gaveto, uma janela “continua” a outra, que a sequência virada à avenida prolonga a sequência virada à rua secundária, e que, estamos em presença de uma única sequência de seis janelas, dispostas por ordem crescente de complexidade decorativa (Figura 3.22).



Figura 3.22

Janelas do gaveto do Convento dos Congregados, Braga:
a) Hipótese – parte 1;
b) Hipótese – parte 2.

A segunda parte da hipótese procura explicar como a complexidade decorativa cresce à medida que avançamos na sucessão de janelas: uma determinada janela não é meramente mais complexa do que a janela anterior, mas a sua complexidade resulta de um processo de combinação de dois elementos decorativos, (i) a simetria da abertura e (ii) a personalidade da moldura, observados nas duas janelas antecedentes. Se representarmos a janela de ordem n por J_n , podemos traduzir esta proposta matematicamente pela seguinte relação de recorrência:

$$J_n = J_{n-1} + J_{n-2}.$$

Esta relação remete para a famosa sucessão de Fibonacci, apresentada na Figura 3.22 b).

No lugar das primeira e segunda janelas está o termo 1, porque cada uma dessas janelas anuncia um dos elementos artísticos geradores, sendo J_n o termo de ordem n dessa sucessão.

Nesta esquina, e noutras zonas do monumento, a pedra aplicada encontra-se mais alterada até cerca de dois metros de altura. Este facto resulta do transporte vertical da água por capilaridade, a partir do solo ao longo das pedras do monumento, promovendo alteração química dos minerais das rochas e hidroclastismo.

Como o granito de Braga tem na sua constituição biotite [mineral ferro-magnesiano, $K(Mg,Fe^{2+})_3(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$], a ascensão capilar da água ao longo do monumento vai libertando o ferro da estrutura deste mineral, dando à pedra uma coloração amarelo/avermelhada irregular (Figura 3.23).



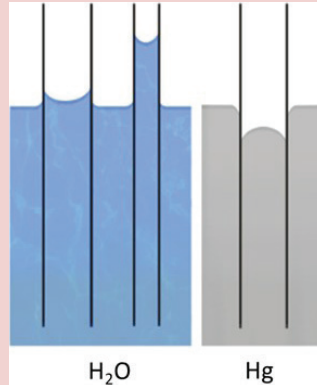
Figura 3.23
Alteração da biotite por ascensão capilar de água na esquina Este do Convento dos Congregados.

A permeabilidade de materiais porosos, nomeadamente rochas, é uma propriedade de transporte que permite descrever a facilidade com que, sob pressão, um fluido newtoniano circula através desse meio. Esta propriedade é calculada pela lei de Darcy:

$$Q = \frac{KS}{\eta} \cdot \frac{\Delta P}{x}$$

sendo: Q – caudal, S – área da superfície perpendicular ao fluxo, K – permeabilidade, η – viscosidade dinâmica, ΔP – variação de pressão, x – comprimento da amostra atravessada.

A ascensão ou depressão capilar é a tendência que os líquidos têm para subir (ou descer) em tubos capilares como consequência da tensão superficial e da pressão hidrostática.



Colocando um tubo capilar de vidro num copo com água, esta ascende até atingir o equilíbrio a uma determinada altura acima da superfície da água no copo. Este fenómeno deve-se ao facto de as forças de adesão (atração entre as moléculas do líquido e do material do capilar) serem superiores às forças de coesão (atração entre as moléculas que constituem o líquido) formando um menisco côncavo.

Se o líquido desce no tubo capilar e estabiliza a uma altura abaixo da superfície livre do líquido no copo, é porque as forças de adesão são inferiores às forças de coesão formando um menisco convexo, é o caso do mercúrio (Hg).

Outras alterações da pedra (Figura 3.24) podem manifestar-se de modo claro, por desagregação granular, escamas e placas, colonização biológica e eflorescências de sais minerais solúveis, que precipitam por evaporação de soluções salinas, tais como o niter (KNO_3), o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e a halite (NaCl). Alguns dos minerais constituintes das rochas alteram-se em condições supergénicas, gerando novos minerais, e.g., na pedra aplicada, a deposição de óxidos de ferro por alteração da biotite e a formação da caulinite $\text{A}_2\text{L}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ a partir dos feldspatos, pode provocar desagregação granular (Alves, 1997).

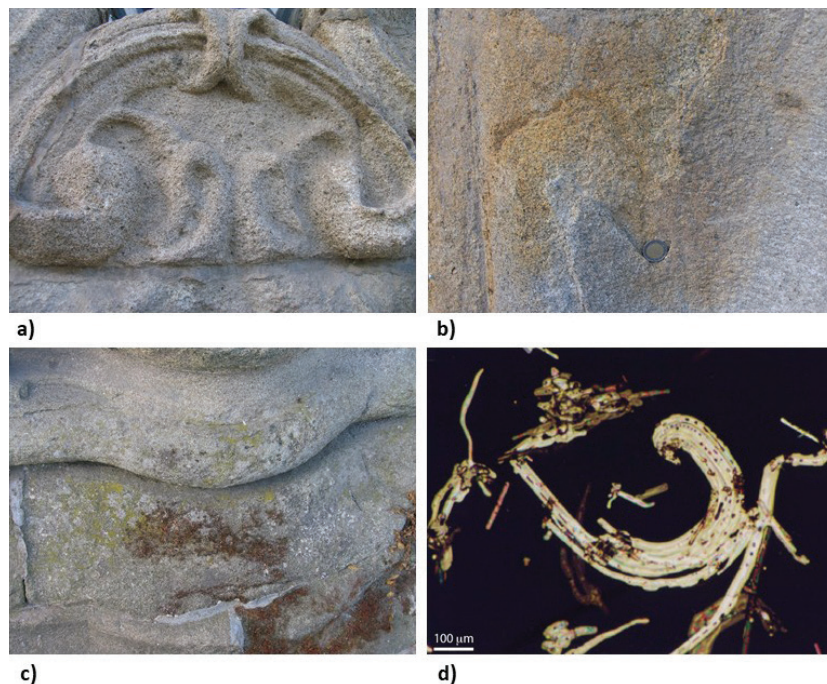


Figura 3.24

Patologias da pedra:
a) Desagregação granular; b) Placas;
c) Colonização biológica; d) Niter – microfotografia ótica em nicóis cruzados (adaptado de Alves, 1997).

Continuando pela Avenida Central em direção ao Bom Jesus do Monte, encontra-se a marcação do início da via Romana XVIII (a Geira) que ligava *Bracara Augusta* (Braga) a *Asturica Augusta* (Astorga), numa extensão de aproximadamente 320 km. Atualmente o marco miliário, em vez de representado por uma pedra colunar em granito, está simbolicamente marcado por um cilindro de bronze (liga metálica de cobre e estanho).

Na envolvência deste marco encontram-se laranjeiras, árvore também presentes noutros locais de Braga.

O município de Amares, perto de Braga, é conhecido pelas suas belas laranjas.



De cor amarelo-avermelhada, casca fina e muito sumarentas, as laranjas de Amares permanecem na árvore até serem consumidas entre maio e agosto. Conta a história que as laranjeiras foram trazidas da Ásia para a Europa no século XVI pelos portugueses. Espalhar-se para outros países europeus e, especialmente nos Balcãs as laranjas são denominadas como "Portugal": *portokali* (grego), *portakal* (turco), *portocala* (romeno) e nos vários dialetos de certas regiões de Itália, *portogallo*.

As laranjas estão muito ligadas a provérbios ou ditados populares que expressam conhecimentos empíricos: "A laranja de manhã é ouro, à tarde é prata e à noite mata"; "Laranja antes do Natal livra do catarral". Apesar destes provérbios serem mitos, não deixam de ter um fundo de verdade – ambos encerram a ideia da presença de vitamina C nestes frutos.

Entre os citrinos, as laranjas são os frutos que apresentam a maior quantidade de vitamina C ou ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$). Esta vitamina é requerida para a biossíntese de colagénio (presente na pele, ossos, tendões e vasos sanguíneos), L-carnitina e certos neurotransmissores, estando também envolvida no metabolismo de proteínas (Li & Schellhorn, 2007). É uma das vitaminas essenciais à saúde humana que ajuda, na absorção de ferro e na manutenção do sistema imunitário dos organismos; sendo um poderoso antioxidante transforma as espécies reativas de oxigénio em formas inertes.

A carência desta vitamina provoca a avitaminose designada por escorbuto. Contudo se a vitamina C é ingerida em excesso (ultrapassando a dose diária recomendada), pode provocar cólicas abdominais, diarreia, urina ácida e náuseas. Sendo hidrossolúvel, a vitamina C em excesso é excretada na urina que sobrecarrega os rins provocando cansaço.

Muitas espécies de primatas incluindo o homem dependem da ingestão de fruta para obter a vitamina C. Terá sido há cerca de 60 Ma, em pleno Paleocénico, que um ramo da evolução dos primatas perdeu a capacidade de sintetizar a vitamina C, e desse ramo fazem parte os humanos e os macacos. Em algum primata nosso antepassado terá ocorrido uma mutação no gene gulono-gamma-lactone oxidase (GULOP), localizado no oitavo cromossoma, que o inativou (PBS, 2021). Este gene, presente noutros ramos da linhagem de primatas, como a dos lémures, e na maioria dos vertebrados, é o responsável por produzir uma enzima que permite o estágio final da síntese de vitamina C. A perda desse gene por inativação não parece que tenha constituído um grande problema, pois, nessa época, as florestas tropicais abundavam e nelas diversificavam-se as plantas frutíferas. A fruta faria parte da dieta habitual desse nosso antepassado e era uma fonte substancial de vitamina C.

3.4. Bom Jesus do Monte

A cidade de Braga aconchega-se no sopé dos montes do Sameiro-Bom Jesus, que, juntamente com a Serra dos Picos, a Serra do Carvalho, e outros montes elevados, se dispõem num alinhamento NE-SW que se estende por vários quilómetros.

Esta conformação orográfica é um obstáculo importante em altitude e extensão que força o levantamento das massas de ar e, em consequência, dá-se a condensação da humidade transportada, ou seja, a formação de nuvens e subsequente precipitação, tão características de Braga.

Além da elevação topográfica, há outros três mecanismos que determinam a formação de nuvens (Figura 3.25). O mais comum é o que ocorre por convecção: o ar mais quente perto da superfície terrestre ascende, arrefece e a humidade condensa-se, formando nuvens.

Zonas de baixa pressão atuam como centros de convergência de ventos que, por sua vez, forçam o ar a subir. Mais uma vez, a elevação e a diminuição da temperatura com a altitude dão origem à condensação da humidade e, assim, a nuvens.

Finalmente, não é rara a ocorrência de levantamentos frontais que resultam do encontro entre uma massa de ar quente e húmido com outra mais fria e seca. A frente quente é empurrada para cima pela frente fria, mais densa. A humidade pode condensar-se rapidamente e a precipitação pode ser muito intensa.

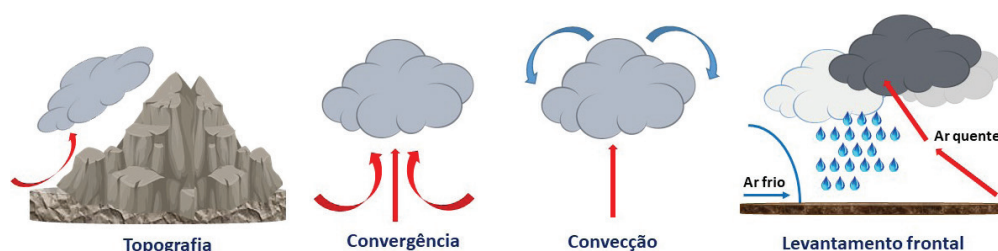


Figura 3.25
Mecanismos de
formação de nuvens.

Para se começar a formar uma gota de água na atmosfera não basta que se encontrem duas moléculas de H_2O . Devido às elevadas velocidades térmicas ocorrem colisões quase elásticas entre moléculas, como se fossem bolas de bilhar. A presença de partículas microscópicas de poeira, por exemplo, permite absorver a energia cinética de moléculas de H_2O que com elas colidam, ficando assim, adsorvidas à superfície das partículas, (Figura 3.26) que funcionam como núcleos de condensação.

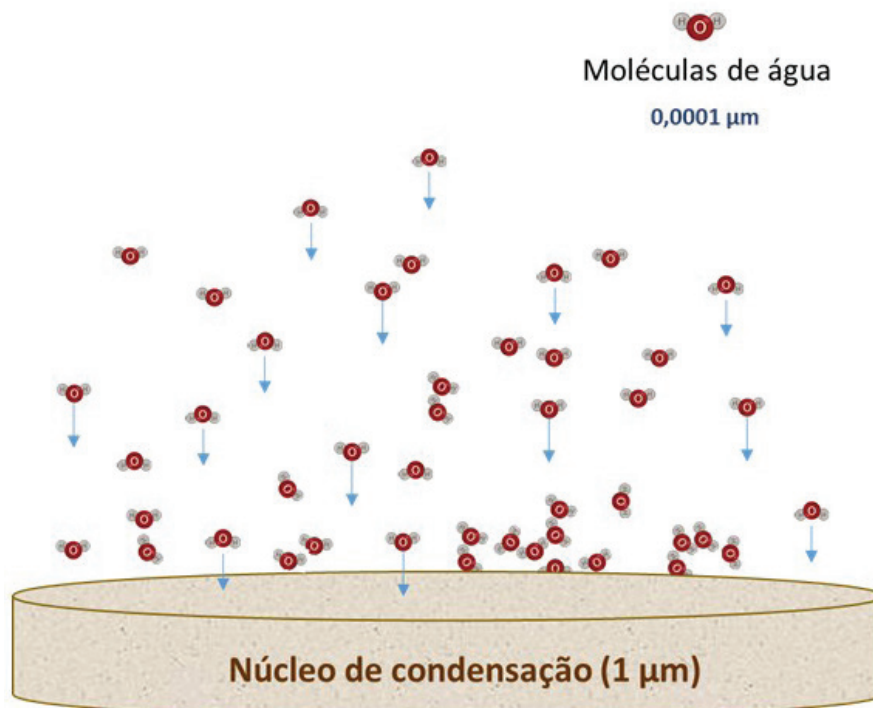


Figura 3.26
Núcleo de condensação
e gênese de formação
de uma gota de água.

Mais colisões e processos de adsorção ou de coalescência podem fazer aumentar o volume destes agregados que, por ainda serem pequenos e de reduzida massa, ficam em suspensão no ar. O efeito coletivo de inúmeros agregados ou gotículas que se vão formando em altitude pode ser visto sob a forma de nuvem. Se o crescimento das gotículas continuar, passamos a ter gotas de água, cujo peso já não é equilibrado pela impulsão, e dá-se a precipitação.

O Santuário do Bom Jesus do Monte, Património Mundial da Unesco desde 2019, situa-se na encosta do Monte Espinho orientada para Oeste, vertente densamente arborizada.

Mas nem sempre foi assim... Este monte terá sido muito mais agreste, com grandes blocos de granito e essencialmente revestido por carvalhos e sobreiros. A sua ocupação foi anterior à de *Bracara Augusta*, e é desde o século XIV considerado um monte Sacro ou Sagrado. Em meados do século XVIII, em local cimeiro deste monte foi construído o Pátio ou Terreiro dos Evangelistas de André Soares, que se oferece como um miradouro de onde se avista o Gerês. A atual Basílica do Bom Jesus foi projetada pelo arquiteto Carlos Amarante e começou a ser construída depois de estabelecido o Terreiro dos Evangelistas (finais do século XVIII) e a Casa de fresco de André Soares.

Os terrenos baldios próximos da basílica foram doados ao santuário em 1806 e, a partir de então, a paisagem foi ainda mais alterada com a construção de um parque, que transformou este local também numa estância turística. Repleto de espécies vegetais exóticas misturadas com exemplares da flora nacional, a construção de um lago artificial e de pontes e grutas em betão armado a imitar troncos de sobreiro, tornou este “naturalizado” lugar, muito visitado. Das árvores mais imponentes plantadas neste parque destacam-se as centenárias sequoias (*Sequoia sempervirens*) e araucárias (*Araucaria angustifolia*) entremeadas por árvores que, apesar de menor porte, se destacam entre uma grande diversidade de arbustos tanto autóctones (por exemplo: *Buxus sempervirens*) como alóctones. Identificam-se bem as japoneiras (*Camellia* L.), os plátanos (*Platanus* sp.) as tílias (*Tilia* sp.) mas também as faias (*Fagus sylvatica* L.), que apesar de terem registos fósseis no Norte de Portugal, ter-se-ão extinguido antes do Neolítico, e por isso atualmente não são consideradas espontâneas no país (Carapeto et al., 2021). A grande variedade de pinhas que se podem encontrar caídas pelo caminho pertencem a uma considerável diversidade de Pinaceae, família de gimnospérmicas que inclui abetos, cedros, pseudostugas e *Pinus* spp. Da flora autóctone as espécies arbóreas dominantes pertencem à família Fagaceae (*Quercus robur* L., *Quercus suber* L.), e entre as gimnospérmicas, os pinheiros mansos (*Pinus pinea* L.) e os teixos (*Taxus baccata* L.). Todas as partes do teixo são muito tóxicas, exceto o arilo carnudo, e é desta planta que se extrai o taxol, substância utilizada no tratamento de vários tipos de cancro, atualmente produzido por hemisíntese química (Sande et al., 2007). *Taxus baccata*, outrora muito abundante por toda a Europa, é atualmente, uma das espécies mais ameaçadas que detêm um estatuto especial de proteção, decorrente da legislação nacional – DL n.º 140/99, de 24 de abril (Pinho et al., 2020).

A propósito deste lindo bosque, tenhamos presente o importante papel que as árvores têm no processo de evapotranspiração relacionado com o ciclo hidrológico. Este processo consiste na evaporação (E) que se faz a partir do solo combinada com a transpiração estomática (T). A transpiração estomática ocorre na superfície das folhas das plantas (Figura 3. 27).

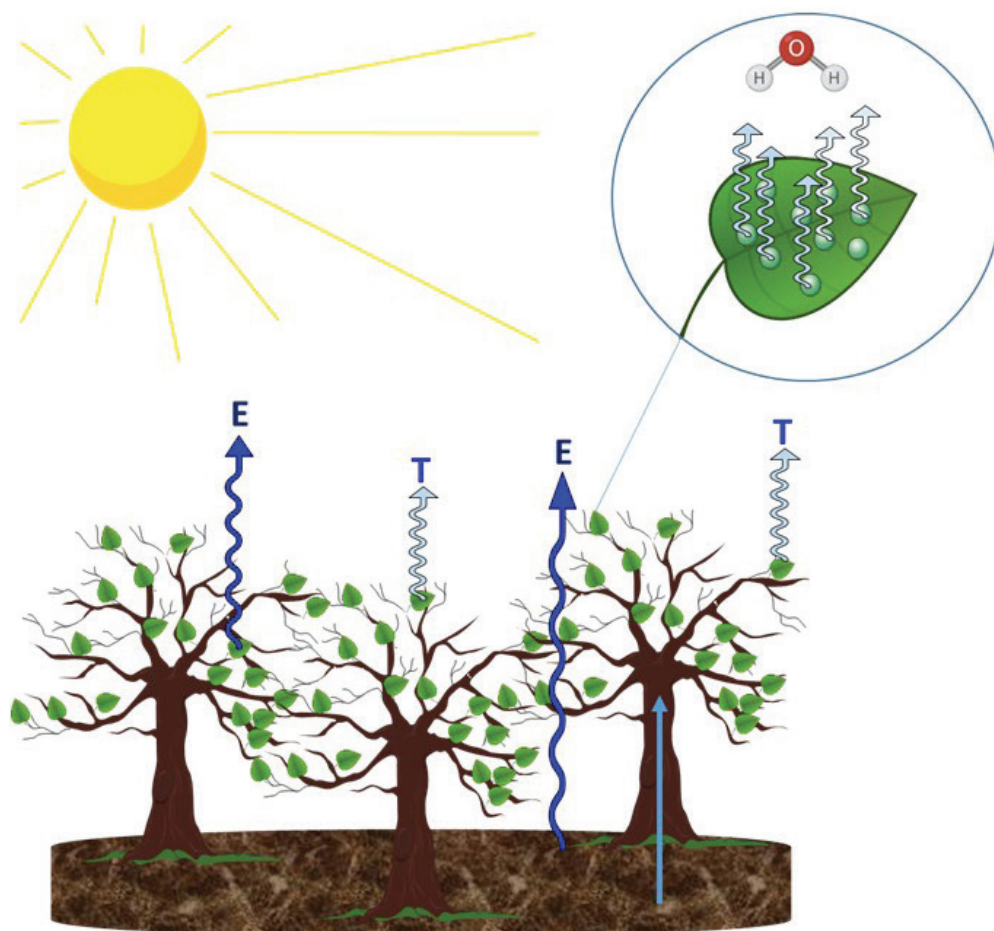


Figura 3.27
Evapotranspiração.

Entre 2019-2020, a Confraria do Bom Jesus do Monte foi responsável pela remoção de mais de quatro mil exemplares de espécies invasoras, e plantou mais de mil árvores na sua grande maioria autóctones (sobreiros, azevinhos, medronheiros, loureiros), e mais de quatro mil arbustos. Diferentes “leituras” vão sendo feitas neste Bom Jesus do Monte (Andresen & Moura Pinheiro, 2017) em constante mutação, impulsionada pelo maior ou menor apego das populações locais e seus visitantes a este lugar. A religiosidade, a arquitetura, a paisagem desenhada pela cobertura vegetal acompanhada por uma diversidade de fauna nem sempre conspícua, são as principais razões que conduzem à contemplação e bem-estar de quem visita este sacro-monte.

Ir ao Bom Jesus recorrendo a meios de transporte sustentáveis é certamente uma boa opção! Para subir, a escolha pode recair sobre uma bicicleta! A bicicleta, que depende do esforço físico do ciclista para se mover, não emite gases poluentes para a atmosfera, sendo por isso considerado um veículo de emissões zero.

A invenção da primeira bicicleta (Alemanha, 1817) como veículo de transporte em madeira, com duas rodas, um suporte para apoio das mãos e sem pedais, movendo-se pela ação dos pés do ciclista diretamente colocados no chão, evolui rapidamente. A inclusão dos pedais inicialmente fixos ao eixo da roda da frente tornava-a simultaneamente motora e diretriz. A velocidade de deslocamento dependia exclusivamente da rotação dos pedais. Para obter um maior rendimento surgiram bicicletas com rodas de tamanhos diferentes: a dianteira, com cerca de 1,5 m de diâmetro e a traseira reduzida ao mínimo necessário para garantir o equilíbrio. Assim, por cada pedalada completa do ciclista, a bicicleta avançava uma distância equivalente ao perímetro da circunferência da roda dianteira. Tal mecanismo, além de exigir um generoso esforço do ciclista, limitava o aumento de rendimento, uma vez que o raio da roda dianteira não podia ser maior do que o comprimento da perna do ciclista.

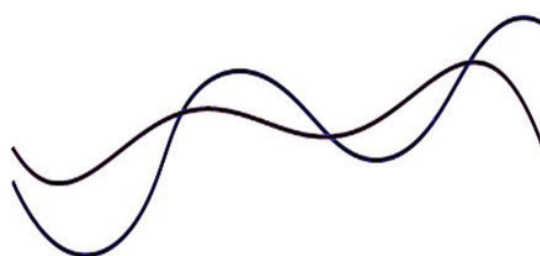


Quando os pedais passaram a funcionar colocados na base do quadro da bicicleta, presos a um mecanismo com duas rodas dentadas de tamanhos diferentes (sendo uma o triplo da outra) ligadas por uma corrente, foi assegurado um maior rendimento. Na sequência de uma volta completa da roda dentada maior, a menor, responsável por transmitir o movimento ao conjunto, faz avançar a bicicleta uma distância igual a três vezes o perímetro da sua roda traseira. Numa bicicleta com uma roda de 69 cm de diâmetro, cada pedalada origina um deslocamento aproximadamente igual a $3 * \pi * 0,69 = 6,5$ m.

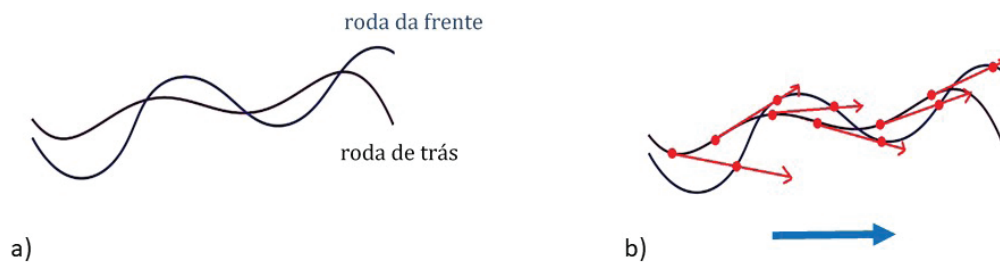
A bicicleta em movimento origina dois rastros no chão, isto é, duas curvas, que se interseitam desenhadas por cada uma das rodas. Qual é o sentido de deslocamento da bicicleta? (Figura 3.28).



Figura 3.28
Curvas desenhadas pelas rodas de uma bicicleta (na areia e num esquema).



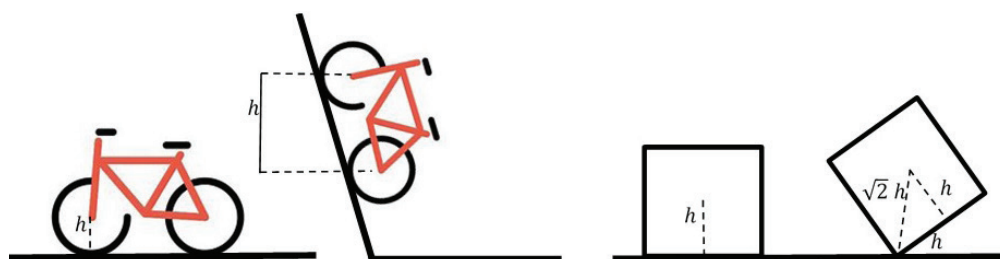
As rodas de uma bicicleta desenhavam duas linhas oscilantes de diferentes amplitudes, sendo a de maior amplitude a da roda dianteira. A partir de um qualquer ponto do rasto da roda traseira pode traçar-se uma reta tangente. Num dos sentidos a reta tangente interseca sempre a curva da roda da frente e no outro sentido nem sempre isso acontece. O sentido do deslocamento é aquele em que há sempre interseção da reta tangente com a curva (Figura 3.29).

**Figura 3.29**

a) Rasto das rodas dianteira e traseira da bicicleta;
b) Identificação do sentido do deslocamento da bicicleta.

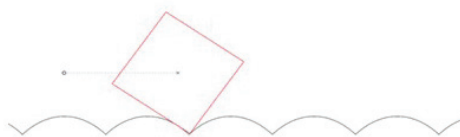
Será possível descer pelo escadório do Bom Jesus de bicicleta? Se a bicicleta tiver rodas quadradas, talvez...

Na verdade, rapidamente concluímos que as rodas não se adaptam ao solo, no sentido em que o movimento da bicicleta seria cheio de solavancos, de altos e baixos. Numa bicicleta normal, com as rodas circulares, a distância do centro da circunferência ao solo mantém-se constante quando esta se move, mesmo em piso inclinado; todavia, se as rodas forem quadradas o centro do quadrado tanto pode distar do solo uma altura h como $\sqrt{2}h$, de acordo com o teorema de Pitágoras (Figura 3.30).

**Figura 3.30**

Altura do centro das rodas de uma bicicleta (rodas circulares e rodas quadradas).

Para que uma bicicleta de rodas quadradas deslize sem sobressaltos, há que construir um piso com lombas curvas que vão mantendo os centros dos quadrados sempre à mesma altura. A curva, uma catenária invertida (Figura 3.31), permite uma suave deslocação na bicicleta com rodas quadradas, cujos lados fazem entre si um ângulo de 90° , encaixa perfeitamente entre dois arcos da curva.

**Figura 3.31**

Bicicleta de rodas quadradas.

Não querendo complicar uma calma descida do Monte do Bom Jesus até à cidade, podemos fazer uso de um dos seus *ex-libris*, o belo elevador movido a água, que transforma a energia potencial em energia cinética.

O elevador ou funicular do Bom Jesus do Monte (Figura 3.32) foi o primeiro construído na Península Ibérica, tendo sido inaugurado em 25 de março de 1882.

A obra, sob a responsabilidade do engenheiro suíço Nikolaus Riggensbach, permitia aos inúmeros visitantes que demandavam o Santuário do Bom Jesus escolher entre o escadório ou vencer uma pendente média de 42% no conforto de uma carruagem movida a água.



Figura 3.32
Elevador hidráulico do
Bom Jesus do Monte.

De concepção simples, o sistema consiste em duas carruagens ligadas por um cabo através de uma roldana. Aproveitando a abundância de água que emerge na zona alta do Bom Jesus, é feito o enchimento do depósito da carruagem superior. A diferença de pesos entre as carruagens traz a mais pesada para baixo e eleva a mais leve.

A água que emerge no Monte é apenas uma pequena parte da imensa massa líquida que resulta da condensação da humidade do ar e que se vai infiltrando terra adentro, descendo por gravidade até aos rios e daí ao mar.

Nesse trajeto, a radiação solar, convertida em calor pelas massas terrestres leva as águas à fase de vapor que virá um dia a condensar-se e a precipitar-se no monte sob a forma de chuva ou depositando-se suavemente durante a noite como orvalho, penetrando a terra para emergir logo adiante. E o guarda-freio, atento, logo a conduz ao depósito da carruagem, sabendo que se a fizer descer, aproveita a energia potencial para que se torne cinética e mova as carruagens. Cá em baixo, a água ainda vai irrigar campos, mas sempre seguirá para o mar e, até lá, a energia do sol a fará voltar às altitudes da troposfera.

A terminar esta proposta de vaguear cientificamente pela milenar cidade de Braga e montanhas que a circundam, recheando-a de tantos “a propósitos”, tenhamos presente Goethe, *alma gémea* de von Humboldt, que holisticamente combinam natureza e arte, factos e imaginação.

*“É Génio mais vizinho este da Terra.
Recresce-me vigor; como que entrada
de um vinho novo me referve a mente.
Ouso ao mundo lançar-me: aos bens e aos males;
Arcar com temporais; sentir sem medo
O estrondo de um naufrágio.”*

Goethe (Fausto), 1808-1832

4. Serra da Estrela: do vale às cumieiras

Estrutura da Visita

4.1. A casa de São Lourenço

- Enquadramento geológico e caracterização geral dos ecossistemas serranos.
- Falha da Vilariça-Manteigas.
- Ascensão e instalação magmática: relações encaixante-magma.
- Alteração diferencial dos substratos rochosos: o papel da composição (composição química das rochas e hidrólise dos minerais) e da porosidade.

4.2. As Penhas Douradas

- Estação Meteorológica das Penhas Douradas.
- Génese do filão de quartzo.
- A simetria do quartzo.
- Sucessões ecológicas primárias: líquenes, os seres pioneiros das sucessões ecológicas; a sua importância como bioindicadores.

4.3. A Lagoa Comprida

- Ação do glaciar sobre as rochas.
- Fácies graníticas: estruturas e relações.
- Observação de luz polarizada por reflexão.
- A barragem e as transformações de energia.
- O ciclo da água.
- O covão: um ecossistema particular.

4.4. A Torre, o Cântaro Magro e a Senhora da Boa Estrela

- Tectónica Terciária e Quaternária.
- Formas de erosão.
- Rochas ensombradas e húmidas – endemismos.
- Diagrama de fases da água. Ponto de ebulição da água à altitude de 1900 m (importância da pressão atmosférica).
- Cristais de gelo, simetrias e fractais.
- Origem da energia da Terra.

4.5. A vertente do Vale da Ribeira de Alforfa e a Nave de Sto. António

- Génese da cascalheira do Alto da Pedrice e Poio do Judeu.
- Brisas de montanha.
- O cervunal seco.

4.6. O Covão d' Ametade

- Morfologia do vale Glaciário do Zêzere.
- Cálculo geométrico do volume do glaciar.
- Covão glaciário.
- Galerias ripícolas. Os macroinvertebrados bentónicos na avaliação da qualidade da água.
- Tensão superficial e surfactantes.

4.7. A fonte Paulo Luís Martins

- Volume do glaciar do vale do Zêzere – cálculo do integral.
- Aspetos hidrogeológicos (processos de infiltração, circulação em meios fraturados e emergência; zonas de recarga).
- Vegetação ripícola e rupícola.
- Medição de alguns parâmetros físico-químicos da água e análise de resultados.

Serra da Estrela: do vale às cumieiras

Alta, Imensa, Enigmática, a sua presença física é logo uma obsessão (...) – palavras de Miguel Torga que escondem, ou talvez não, a diversidade de realidades que conferem à Serra, à Serra da Estrela, o seu verdadeiro carácter, vigor e poderio.

Que outras palavras poderiam ser usadas para descrever, por exemplo, os vestígios deixados na paisagem da Serra da Estrela aquando da última glaciação?! Destacamos o Vale Glaciar do Zêzere, a mais extensa língua glaciária, alimentado pelos amplos circos do Covão da Ametade, da Candeeira e dos Covões.

(...) Há nela as três velhas dimensões necessárias a um tamanho: comprimento, largura e altura (...) – prossegue Miguel Torga. E, pretendendo-se fazer uma descrição matemática do mundo real, o que procuramos obter é um modelo que, ao ser manipulado permite compreender a realidade. Consideremos, por exemplo, o cálculo do (imenso) volume de gelo que enchia o vale, talhado pelos glaciares, de perfil em U à vista desarmada, mas desenhado à custa de uma curva matemática, quíçá uma parábola.

As rochas que aqui afloram são de composição granítica, variando desde os granodioritos aos leucogranitos, de idade Varisca (340-280 milhões de anos) que intruem rochas metamórficas (e.g., xistos) de idade Precâmblica-Câmblica (650-500 milhões de anos). Também ocorrem corpos filonianos aplito-pegmatíticos graníticos, quartzosos e doleríticos.

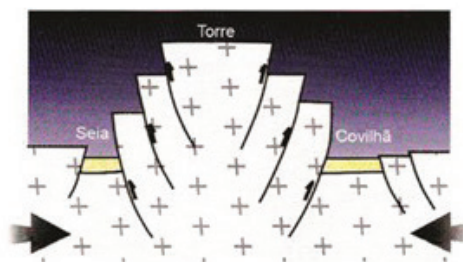
Em épocas mais recentes, e por ação de mecanismos de geodinâmica externa, geraram-se depósitos sedimentares (aluviões, depósitos glaciários e fluvio-glaciários e ainda depósitos arcósico-argilosos).

A história geológica desta região (Figura 4.1) pode descrever-se, sumariamente, do seguinte modo:

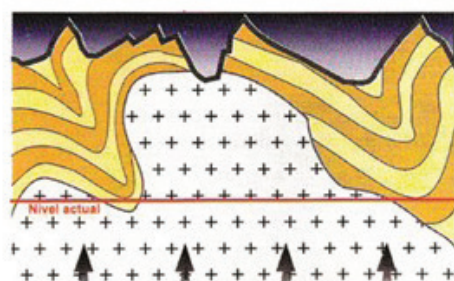
- Atualidade – período pós-glaciário; processos erosivo-desmanteladores e erosivo-acumulativos;
- 20 mil anos – última glaciação;
- 10 milhões de anos – reativação de falhas precoces promovendo a elevação do maciço;
- 200 milhões de anos – *up-lift* (levantamento) e aplanamento da Meseta com a ascensão dos níveis estruturais inferiores acompanhada de um ciclo erosivo;
- 300 milhões de anos – período de forte deformação marcado pela ocorrência de dobramento das rochas metamórficas e pela instalação dos maciços graníticos;
- 650 milhões de anos – deposição em meio marinho de sedimentos que deram origem ao Complexo Xisto-Grauváquico.



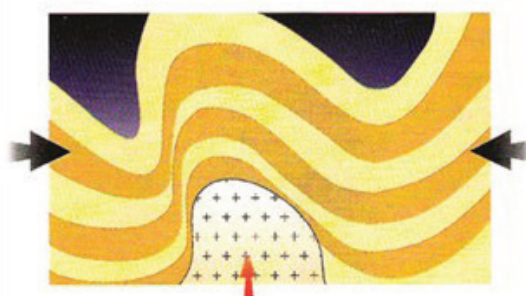
Glaciação
20 mil anos



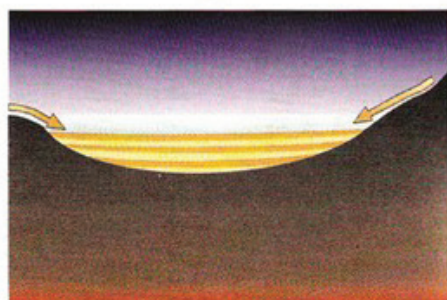
A reativação de falhas antigas provoca a elevação da montanha
10 milhões de anos



Ciclo de erosão acompanhado da ascensão dos níveis inferiores *up-lift* e aplanamento da Meseta
200 milhões de anos



Dobras varisca nos metassedimentos. Instalação dos granitos. Rede de fracturação
300 milhões de anos



Deposição de sedimentos do Complexo Xistograuváquico
650 milhões de anos

Figura 4.1
História geológica sintética – Serra da Estrela (Ferreira & Vieira, 1999).

A cobertura vegetal natural da Serra da Estrela é, atualmente, praticamente inexistente. As populações humanas que, desde tempos remotos, ocupam sobretudo o sopé da Serra, transformaram as florestas originais em terrenos agrícolas e zonas de pastagem. Contudo, os efeitos glaciares, a natureza granítica do substrato predominante e as variáveis condições climáticas a diferentes altitudes são fatores que determinam os três notórios andares de vegetação (Figura 4.2), cujos limites variam conforme os flancos da Serra considerados:

- Andar basal (até aos 800-900 metros) – de acentuada influência mediterrânica, onde a vegetação natural, a azinheira (*Quercus rotundifolia*) e o azereiro (*Prunus lusitanica*), deu praticamente lugar a oliveais, a vinhedos, a milheirais, a prados de azevém e a povoamentos de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*);
- Andar intermédio (dos 600-800 aos 1600 metros) – onde predomina o carvalho-negral ou o carvalho-pardo-das-beiras (*Quercus pyrenaica*);
- Andar superior (acima dos 1600 metros) – atualmente sem vegetação arbórea, compreende mosaicos de zimbrais (*Juniperus communis*) e cervunais secos (*Galio-Nardetum*) e húmidos (*Junco-Spagnetum compacti*).

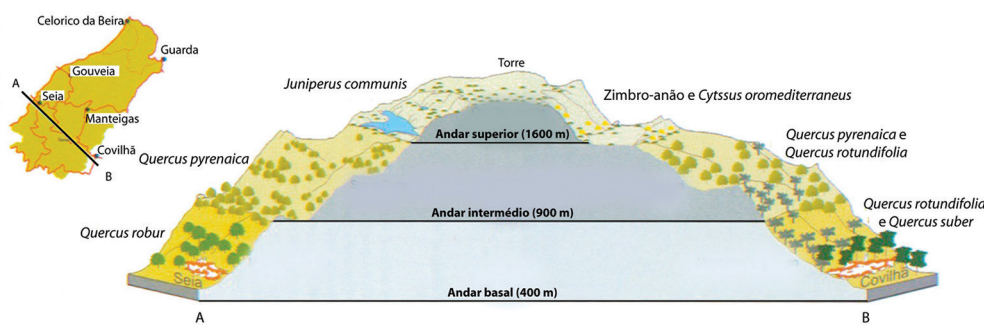


Figura 4.2
Zonação vegetal ou vegetação nos andares termoclimáticos da Serra da Estrela (adaptado de Jansen, 2002).

Para além das manchas vegetais mais conspícuas, a vegetação rupícola e ripícola caracteriza biótopos que incluem alguns dos endemismos mais notáveis da Serra da Estrela.

O ciclo hidrológico (Figura 4.3) atua como um agente modelador da crosta terrestre devido à erosão e ao transporte e deposição de sedimentos por via hidráulica, condicionando a cobertura vegetal e, de modo mais genérico, toda a vida na Terra. Podemos entender o ciclo hidrológico como um dos pilares fundamentais do ambiente, assemelhando-se, no seu funcionamento, a um sistema de destilação global.

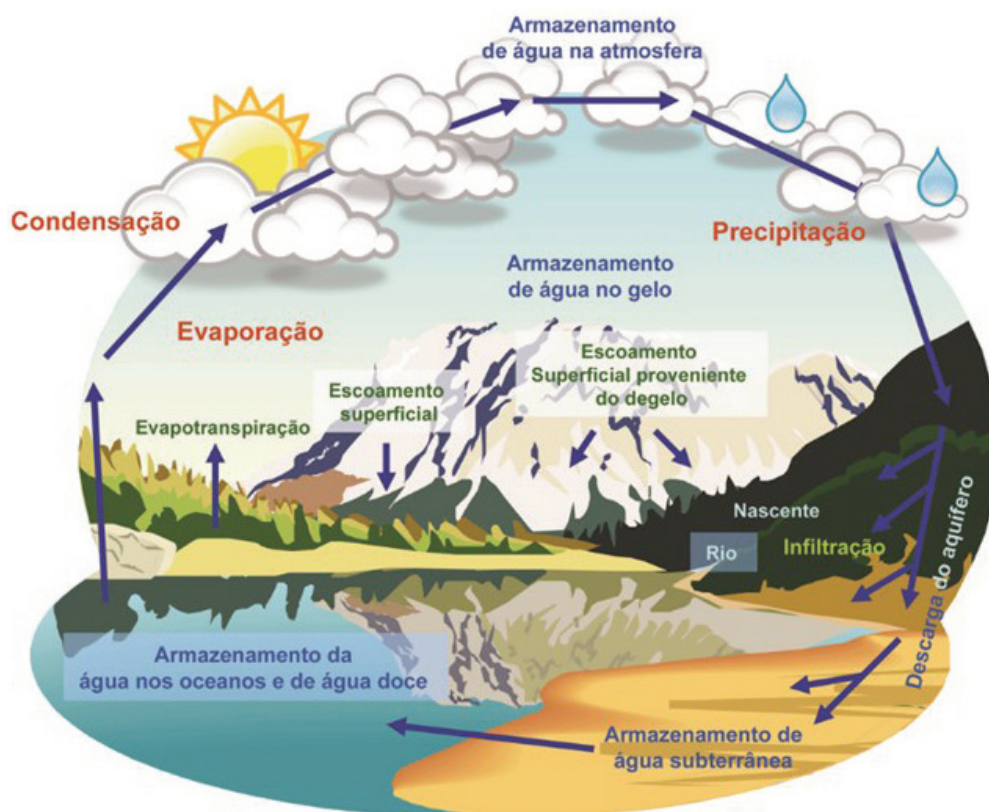


Figura 4.3
Ciclo hidrológico
(adaptado de USGS,
2019).

O aquecimento das regiões tropicais devido à radiação solar provoca a evaporação contínua das águas superficiais, sobretudo dos oceanos, que são transportadas para outras regiões pela circulação geral da atmosfera, sob a forma de vapor de água. Parte do vapor de água condensa-se em torno de partículas microscópicas em suspensão na atmosfera, formando nuvens e originando a precipitação.

O retorno da água às regiões de origem resulta da ação conjunta da infiltração e do escoamento superficial e subterrâneo das massas de água.

A água é a única substância que existe na Natureza nos três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso). A coexistência destes três estados implica que existam mudanças contínuas de um estado para outro, e esta sequência fechada de fenómenos pelos quais a água circula entre a Terra e a atmosfera é o ciclo hidrológico.

Uma molécula de água é constituída por um único átomo de oxigénio ligado a dois átomos de hidrogénio (H_2O). Há milhões e milhões de moléculas de água numa única gota (da ordem de 10^{20}). A molécula é a partícula mais pequena de uma substância ou composto químico, cuja dimensão é da ordem das décimas de nanómetro ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$).

À medida que se adiciona ou se retira calor, as substâncias sofrem mudanças de fase, isto é, transformações de um estado da matéria noutro. Os exemplos de transições de fase são comuns na água. A água líquida entra em ebulição a 100°C e solidifica a 0°C , à pressão de 1 atm (1,01325 bar).

Quando uma substância passa de uma fase desordenada (o gás) para uma fase ordenada (o sólido), uma quantidade de calor (o calor latente) é libertada neste processo. Esta libertação de calor revela que a estrutura do material é alterada de uma forma radical. Isto acontece, em particular, ao longo das linhas de sublimação, fusão e ebulição da maior parte das substâncias conhecidas. O diagrama de fases da água (Figura 4.4) expressa o comportamento da água em função da temperatura e da pressão. As linhas a cheio que separam duas fases correspondem às condições de pressão e temperatura nas quais as duas fases podem coexistir em equilíbrio. O ponto triplo é onde as três fases existem em equilíbrio (0,006 atm; 0,01°C).

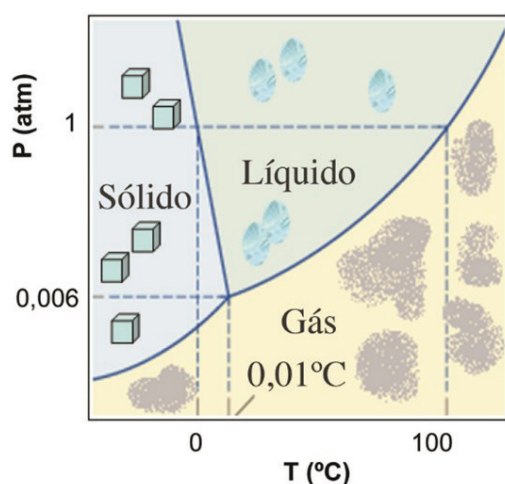


Figura 4.4
Diagrama de fases da água (adaptado de Chang & Goldsby, 2013).

Normalmente os sólidos são mais densos do que os líquidos correspondentes. Porém, na água observa-se o contrário. As moléculas de água no estado sólido ficam ligadas formando uma rede tridimensional extensa na qual cada átomo de oxigénio está ligado a quatro átomos de hidrogénio através de duas ligações covalentes e de duas ligações de hidrogénio, adotando uma geometria aproximadamente tetraédrica (Figura 4.5).

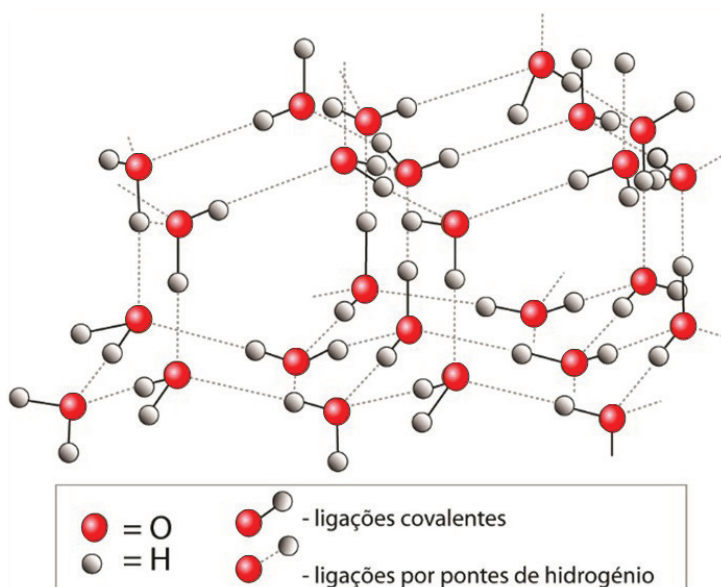


Figura 4.5
Estrutura tridimensional do gelo.

Em climas frios os lagos congelam à superfície. A camada de gelo formada não se afunda porque é menos densa do que o líquido, e atua como isolador térmico, permitindo a existência de seres vivos na água (Figura 4.6).



Figura 4.6
Camada de gelo
atuando como isolador
térmico.

A água no estado sólido, submetida a diferentes temperaturas e pressões, gera cristais de gelo com estruturas notáveis (Figura 4.7). Estão catalogadas mais de 2500 formas diferentes.

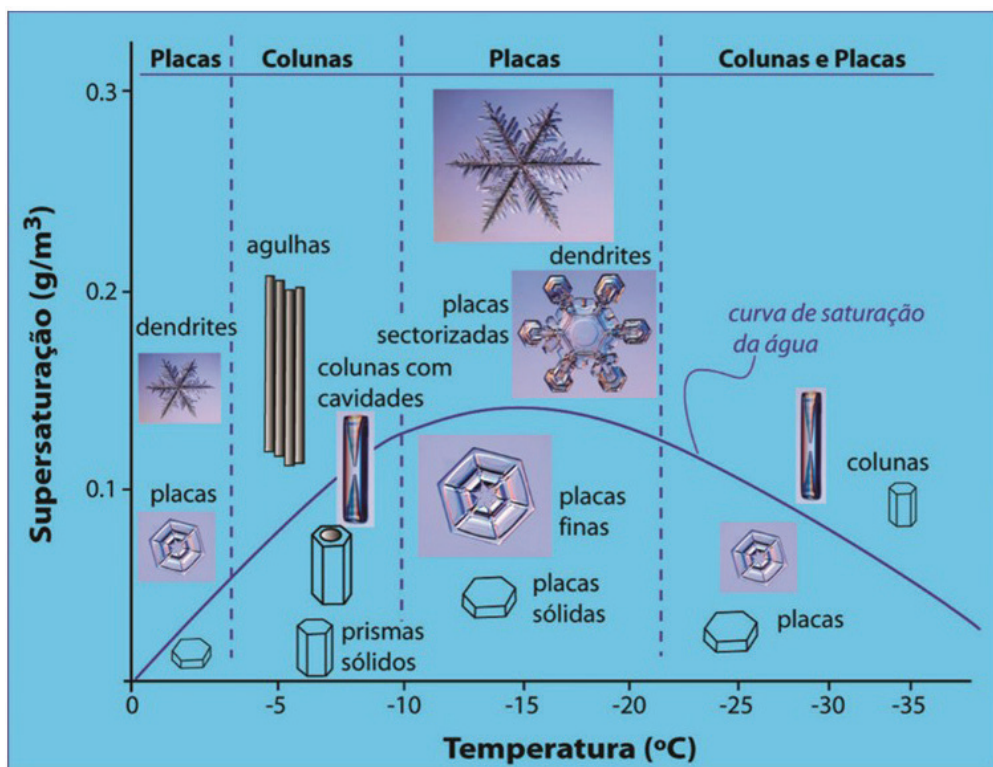


Figura 4.7
Principais morfologias
dos cristais de gelo
(adaptado de Libbrecht,
2005).

Normalmente os cristais tornam-se mais complexos à medida que a humidade aumenta: as formas mais simples surgem quando a humidade é reduzida, enquanto que as complexas e ramificadas aparecem quando a humidade é elevada (Figura 4.8). Entre $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ crescem cristais em forma de placas e de dendrites, enquanto que as colunas só crescem por volta dos $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, podendo existir combinação de diferentes tipos de cristais perto dos $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

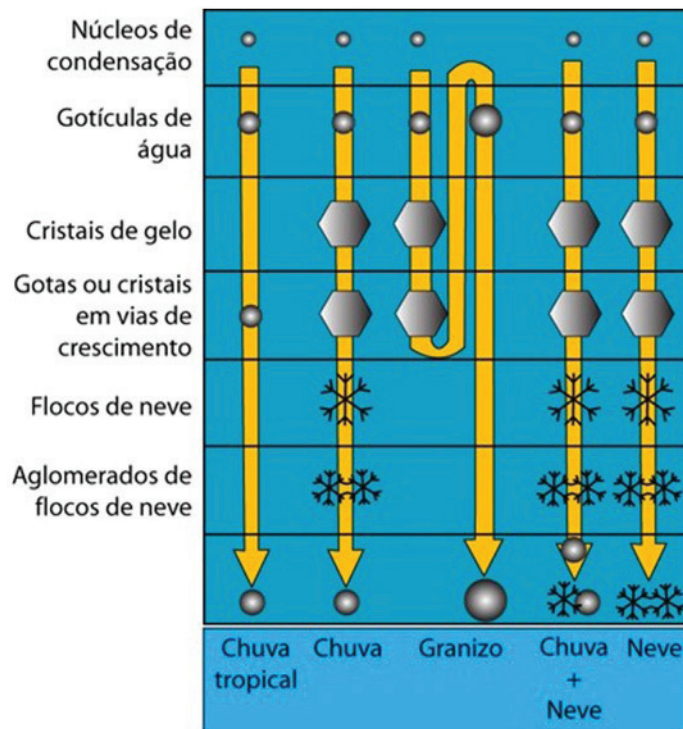


Figura 4.8
Génese de diferentes tipos de precipitação (adaptado de Libbrecht, 2005).

As simetrias abundam nos cristais de gelo. Uma das formas geométricas mais facilmente reconhecíveis na Natureza é o hexágono regular. As moléculas de água num cristal de gelo podem formar uma grelha hexagonal que se reflete na forma macroscópica dos seus cristais.

Quando os cristais atingem uma dimensão crítica, começam a cair, e ao longo deste percurso associam-se a outros cristais, o que gera aumento de tamanho e de precipitação. É deste modo que se forma o floco de neve, um conjunto de cristais cuja forma se mantém a diferentes escalas de observação (Figura 4.9). Podemos então pensar num floco de neve como sendo um fractal.

Um fractal é um objeto geométrico que pode ser dividido em partes, cada uma das quais semelhante ao objeto original. O termo fractal (do latim *fractus*, que significa *irregular, partido*) foi usado pela primeira vez por Benoît Mandelbrot em 1975. A geometria fractal é o ramo da Matemática que estuda as propriedades dos fractais, descrevendo muitas situações que não podem ser explicadas pela geometria clássica. Em muitos casos, um fractal pode ser gerado por um padrão que se repete a diferentes escalas, usando um processo recorrente ou iterativo. É de notar, que os objetos da

Natureza a que abusivamente chamamos fractais (por exemplo, os fetos, a couve-flor e os náutilos) apresentam uma estrutura finita (limitada por um número definido de escalas), não são, portanto, verdadeiros fractais.

O *floco de neve de Koch*, proposto por Helge von Koch, em 1904, foi um dos primeiros exemplos de fractais. Para construir o *floco* considera-se um triângulo equilátero e, em cada passo, divide-se cada segmento, que constitui cada um dos lados, em três partes iguais, substituindo-se a parte do meio por duas partes de igual tamanho (Figura 4.9 a)). Obtem-se assim uma linha quebrada composta por quatro segmentos iguais. O *floco* é o limite para o qual tende esta construção, repetindo-se sucessivamente as operações referidas, para cada segmento (Figura 4.9 b)). A *curva de Koch* corresponde a iniciar-se a construção a partir de um segmento de reta, em vez de um triângulo equilátero. A Figura 4.9 b) é uma boa aproximação da *curva de Koch*.

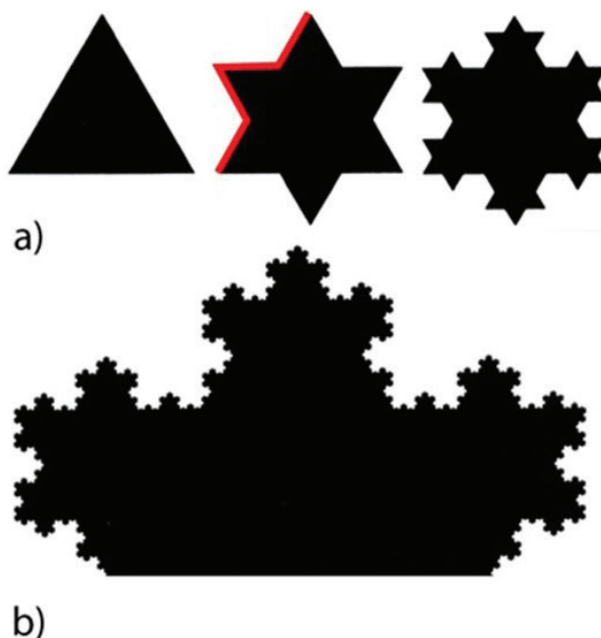


Figura 4.9
Floco de neve de Koch.
Curva de Koch,
a) três primeiros passos
da construção;
b) aproximação da *curva*
de Koch (adaptado de
Mandelbrot, 1998).

Na construção do floco de Koch, em cada passo substituímos cada um dos três segmentos iniciais por quatro de igual comprimento, tendo-se assim que o comprimento total da curva é multiplicado por $4/3$. O limite da sucessão geométrica de razão $4/3$ é infinito, o que significa que a figura final terá um comprimento infinito (designado por Mandelbrot como "infinito interno"). Apesar da curva ter comprimento infinito, delimita uma área finita.

À superfície da Terra, o resultado final do processo de meteorização (alteração) das rochas é o solo. Por ação do clima e de mecanismos físicos, químicos e biológicos ocorre esta transformação da rocha em solo.

Os solos férteis que se acumulam no sopé da Serra são propícios ao cultivo da vinha, do trigo, do milho, dos legumes e de pasto para gado, sobretudo ovino. Nos períodos mais secos do ano pratica-se a transumância ascendente, ou seja, o deslocamento dos rebanhos para os patamares geomorfológicos serranos onde existem vastas

formações de pastagem de cervum ou nardo. Acima dos 1 600 m encontra-se também zimbro (*Junipurus communis*), arbusto amoitado resistente aos ventos fortes, às temperaturas baixas, ao gelo e à neve. Os frutos do zimbro (Figura 4.10) são gálbulos pruinosos (6 a 9 mm), de cor azul escura quando maduros. Adicionados à aguardente, conferem-lhe cor e um sabor especial, tornando-a uma bebida típica da região.



Figura 4.10
Zimbro (*Junipurus communis*) com frutos (Edgar, 2016).

Os cervunais ocupam sobretudo solos coluviais do fundo dos vales que sulcam a parte cimeira da Serra; aqui as condições proporcionam uma melhor retenção da água proveniente das chuvas e das neves, água que fica mais disponível para a vegetação. Os cervunais secos, representados sobretudo por *Galio-Nardetum*, assumem um papel importante no pascigo dos rebanhos de ovelhas, geralmente bem protegidas pelo famoso, forte e destemido cão da Serra da Estrela. As ovelhas, por sua vez, fornecem às populações serranas um dos valiosos produtos da sua economia, o famoso queijo da Serra da Estrela.

Os queijos tradicionais possuem sabores delicados e característicos. A química do aroma é de grande complexidade, sem existir um único composto responsável por sabores/aromas específicos. De facto, vários compostos voláteis desempenham um papel crítico no aroma global do queijo curado. O queijo Serra da Estrela, produzido a partir do leite de ovelha, é coagulado com enzimas que existem na flor de cardo, planta da família Asteraceae, que cresce em locais rochosos.

Itinerário

A *visita com vistas* ao Parque Natural da Serra da Estrela (CISE, 2021) sugere algumas paragens (Figura 4.11), que permitem diferentes olhares, experiências e conversas à volta da Ciência.

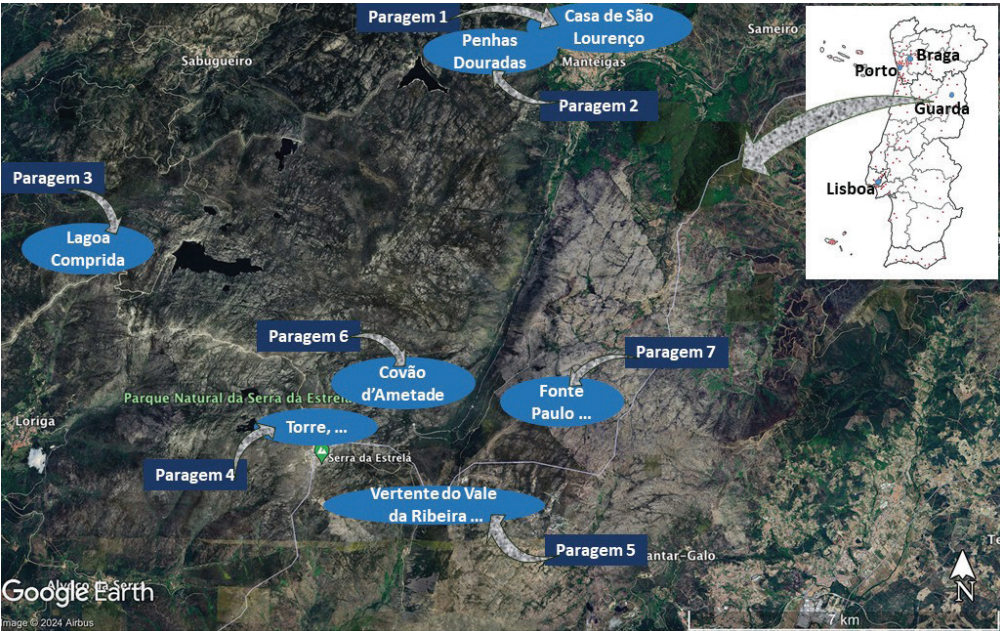


Figura 4.11
Itinerário e localização
das paragens.

4.1. Casa de São Lourenço

A Casa de São Lourenço, uma das primeiras Pousadas de Portugal (1948), fazendo juz ao conceito de criação de pousadas como pequenos hotéis para desfrutar da beleza paisagística portuguesa, permite que se vislumbre com toda a nitidez o vale do Zêzere (Figura 4.12), ladeado pelas encostas serranas marcadas pela zonação da vegetação dos andares termoclimáticos.



Figura 4.12
Vista do vale glaciário
do Zêzere a partir da
Casa de São Lourenço.

Será também possível ver rebanhos de ovelhas guardados pelos famosos cães da Serra da Estrela. Estes típicos animais resultam da tradição artesanal de preservação genética e pertencem a uma das raças caninas mais genuínas e antigas da Península Ibérica. Excelentes cães de guarda, de grande estatura, os cães da Serra da Estrela podem ter pêlo curto ou comprido e podem pesar entre 40 a 60 kg. A venda de cães desta raça autóctone é um dos negócios desta zona (Figura 4.13).



Figura 4.13
Cão Serra da Estrela.

O vale do Zêzere está alinhado segundo uma importante falha, a Falha da Vilariça-Manteigas, que se prolonga por cerca de 250 km - desde Puebla de Sanabria, em Espanha, passa por Bragança, Vilariça, Vila Nova de Foz Côa, Manteigas, Unhais da Serra até à Sertã. Geomorfologicamente, este alinhamento é marcado, tanto por este vale como pelo vale da Ribeira de Alforfa.

Os granitos da Serra da Estrela e, em particular, os que afloram nas vertentes do vale do Zêzere, podem ter ascendido por diapirismo. O diapirismo (Grout, 1945) é um processo físico em que corpos fluidos com morfologias subesféricas (em forma de gota invertida), ascendem no interior de corpos mais densos, obedecendo à lei de Stokes segundo a equação:

$$V = \frac{2\Delta\rho gr^2}{9\eta_{re}}$$

sendo:

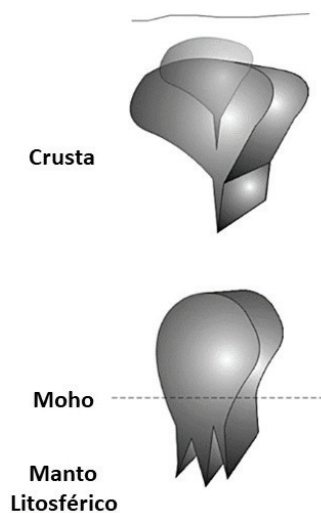
V: velocidade de ascensão;

$\Delta\rho$: diferença de densidade entre o magma e a rocha encaixante;

g: aceleração da gravidade;

r: raio do corpo magmático (esfera ou subesfera) de menor densidade;

η_{re} : viscosidade cinemática da rocha encaixante.



A composição química das rochas pode descrever-se, de um modo geral, sob a forma de óxidos, tais como SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e H_2O .

As rochas possuem variações composicionais, mineralógicas e estruturais, e.g., o tamanho dos grãos dos minerais, a foliação e a fraturação, têm implicação direta na porosidade das rochas e naturalmente na sua permeabilidade. A porosidade das rochas promove a alteração e a erosão diferencial dos substratos rochosos.

4.2. Penhas Douradas

O Observatório Meteorológico das Penhas Douradas (Figura 4.14), construído em 1882, situa-se a uma altitude de 1 388 m.

No exterior, encontra-se uma parte substancial da estação meteorológica, onde se podem observar vários instrumentos de medição de parâmetros climáticos:

- o termómetro de máxima e de mínima, o psicómetro (constituído por dois termómetros, o molhado e o seco), o termohigrógrafo que regista a temperatura e humidade relativa do ar de três dias (e.g., de dia 1 às 9h UTC a dia 3 às 9h UTC), o barógrafo (barómetro registador) e o evaporímetro de Piche. Todos estes instrumentos estão protegidos da exposição direta do Sol por um abrigo meteorológico;
- o udómetro e o udógrafo que medem a precipitação, tanto sob a forma líquida, como sólida;
- os termómetros de relva e de profundidade, que registam a temperatura a várias profundidades (10, 20, 50 e 100 cm), cuja informação é relevante, por exemplo, para a agricultura;
- a régua para medir a altura da neve.



Figura 4.14
Estação meteorológica das Penhas Douradas: vista geral e técnica a efetuar leituras.

No interior do Observatório existem diversos instrumentos de medição e registo da pressão atmosférica: um barómetro-padrão e um barógrafo. Subindo ao topo do Observatório vê-se um cata-vento, um anemómetro e um heliógrafo que permite o registo da duração de sol descoberto (insolação). Existe, ainda no exterior, uma Estação Meteorológica Automática – EMA (sistema constituído por um conjunto de sensores que medem e registam automaticamente vários parâmetros climáticos).

Uma estação automática de tempo estima a visibilidade horizontal com base na emissão de radiação laser invisível e deteta o tipo de precipitação, sólida ou líquida. No caso de precipitação sólida estima ainda o diâmetro dos cristais.

Algumas observações e registos feitos neste Observatório são enviados para o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) de três em três horas, enquanto as medições dos vários parâmetros climáticos são reportadas numa base diária. As cartas sinópticas são feitas a partir das imagens de satélite meteorológicos. As observações

efetuadas no Observatório ajudam a localizar, com maior precisão, essas imagens no espaço e a monitorizar o desenrolar das situação sinópticas.

O IPMA recebe as informações horárias da EMA. Além disso, todos os dados registados pela EMA são gravados de 10 em 10 e de 60 em 60 minutos (Clima 10 e Clima 60) e enviados mensalmente ao IPMA. As observações clássicas são enviadas mensalmente, em mapas.

O afloramento de quartzo leitoso e quartzo róseo, vulgarmente conhecido por Seixo Branco (Figura 4.15 a)), apresenta a morfologia de uma bolsada. A sua cristalização ocorre numa fase posterior à cristalização do magma granítico. Esta massa quartzosa, ainda quente, vai cristalizar na cúpula do maciço granítico, pois aquando da contração do magma granítico por arrefecimento, gera-se espaço na interface metassedimento-granito, que é ocupado pelos fluidos mais tardios. A bolsada encontra-se intensamente fraturada, estando as fraturas preenchidas por óxidos de ferro e alguma *scorodite* – arsenato de ferro hidratado, como resultado da oxidação dos sulfuretos, nomeadamente pirite e arsenopirite. A coloração rosa de algum do quartzo resulta da presença de manganês (pode ser também devida à presença de titânio e ferro) na estrutura cristalina.

O quartzo tem uma estrutura cristalina trigonal (ou romboédrica) composta por tetraedros de sílica (dióxido de silício, SiO_2). Tipicamente, apresenta-se sob a forma de um prisma hexagonal terminado em pirâmides (frequentemente distorcidas) e ocorrendo também maciço (variedades criptocristalinas) com variadas morfologias (Figura 4.15 b)).



a)



b)

Figura 4.15

a) Seixo Branco.

b) Morfologias e variedades de quartzo (extraído de Mindat.org e Wikipédia.org).

Sobre o granito são também bem visíveis lindíssimos líquenes. Estes organismos constituem uma associação simbiótica entre fungos e algas ou cianobactérias, e são os pioneiros nas sucessões ecológicas primárias. Dada a elevada capacidade de resistirem a condições muito adversas, os líquenes podem, de modo análogo aos macroinvertebrados bentônicos, dar-nos informações importantes sobre a qualidade do ar.

As espécies vegetais que normalmente habitam nas rochas e fissuras (habitats rupícolas e/ou fissurícolas) são capazes de sobreviver sobre rocha nua, retirando proveito da acumulação das mínimas partículas resultantes da alteração das rochas. São, por isso, importantes nos primeiros estádios das sucessões ecológicas primárias. Para além da ausência ou escassez de solo, os fatores ecológicos mais limitantes ou limitativos são as grandes amplitudes térmicas, a reduzida humidade atmosférica e a sua natureza geológica. Devido a todos estes condicionalismos, estes locais apresentam uma flora muito específica, traduzindo-se na presença de alguns endemismos que se encontram associados à presença de líquenes e briófitas, que vegetam diretamente sobre a superfície da rocha e do solo.

Os líquenes (Figura 4.16) encontram-se em todas as regiões do mundo e, geralmente, em áreas sujeitas a severas condições climáticas. Apesar da capacidade de sobreviverem nos mais diversos ambientes, os líquenes são muito sensíveis à poluição atmosférica (Seaward, 1993), tendo vindo a ser utilizados como bioindicadores (absorvem e retêm poluentes, e.g., elementos radioativos e iões metálicos). Porque não dependem de um sistema radicular para a absorção de nutrientes, e porque possuem uma cutícula reduzida ou, em geral, ausente, incorporam com facilidade altos níveis de poluentes (Pilegaard, 1979). A composição do ar determina a sobrevivência dos líquenes, uma vez que estes se alimentam higroscopicamente fixando elementos, tais como o azoto (N_2).



Figura 4.16
Líquenes sobre quartzo.

Com uma ecologia rupícola e fissurícola muito particular, a laminácia *Teucrium salviastrum* é uma endémica lusitana típica das grandes altitudes, com flores de cor lilás e crescimento rasteiro. Frequentemente, acompanha a caldoneira (*Echinopartum ibericum*), leguminosa (família Fabaceae) espinhosa em forma de almofada que costuma revestir a base e as fissuras das rochas. A erva besteira (*Veratrum album*) que pertence à família Melanthiaceae, é venenosa e muitas vezes é confundida com a muito rara argençana-dos-pastores (*Gentiana lutea*).

Os matagais e as charnecas completam e interligam as diversas comunidades florísticas da Serra da Estrela, sendo de grande importância para as comunidades rurais, sobretudo para a avifauna de pequeno porte. Entre as comunidades florísticas podemos diferenciar as de urzes – Ericaceae (*Erica cinerea*, *E. australis*, *Calluna vulgaris*), as de giestas, tojos e carqueja – Fabaceae ou Leguminosae (*Genista* spp., *Ulex* spp., *Chamaespartium tridentatum*) e as de sargaços ou esteva – Cistaceae (*Cistus* spp., *Halimium* spp. e *Helianthemum nummularium*).

As formações arbóreas são caracterizadas pela presença dos carvalhais galaico-portugueses de carvalho-negral e de carvalho-roble, de vidoais e de sobreirais. Ao longo dos séculos, várias espécies foram introduzidas sendo as duas mais importantes, pela área que ocupam e importância ao nível económico e social, o castanheiro (*Castanea sativa*) e o pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*). O plátano-bastardo (*Acer pseudoplatanus*) também terá sido introduzido, sendo vulgar dentro dos limites do Parque Natural da Serra da Estrela (PNSE).

4.3. Lagoa Comprida

O aspeto polido desta área deve-se à ação erosiva do glaciário que se escoava a partir deste local. Em alguns pontos observam-se blocos de granito diretamente depositados em cima da rocha polida. Trata-se de blocos transportados pelo glaciário e abandonados aquando da sua fusão e recuo. Dada a sua grande dimensão, mantêm-se sem serem transportados pelas correntes atuais (águas de escorrência superficial provenientes da precipitação). Este tipo de blocos são designados por *blocos erráticos*, sendo especialmente evidentes aqueles cuja litologia difere da do substrato.

Existe uma boa exposição dos dois tipos de granitóides dominantes e das suas relações. Uma das variedades apresenta-se biotítica e de grão fino, correspondendo a um granodiorito. A outra variedade é um granito de duas micas, porfiróide e de grão grosseiro.

As relações entre as duas rochas são muito variadas, sendo observados, entre elas, sistemas de filões e de enclaves. É possível relacionar todo este conjunto de observações para explicar a história do processo de instalação e formação destes diferentes granitóides.

Na parte superior da pedreira, a rocha tem uma coloração amarelada devido aos processos de alteração dos minerais ferromagnesianos em contacto com a água e

o ar (oxidação). O granito apresenta em certos setores controlados pela fraturação, uma cor vermelha, que passa a rosa e que se desvanece no interior da massa granítica, correspondendo a um processo de alteração tardi-magmático (epissienitização) da rocha.

Olhando ao longe as rochas polidas na outra margem da lagoa (direção aproximadamente E-W), observam-se reflexos intensos de luz. Parece ser água que escorre sobre as rochas. A inclinação das superfícies rochosas face à incidência dos raios solares, faz com que se observe luz refletida proveniente diretamente do Sol, e não luz dispersa pela atmosfera que nos permite ver o ambiente em volta. A luz que incide diretamente nas rochas é essencialmente não polarizada. Dessa luz, a que tem polarização vertical é em grande parte absorvida, enquanto a que tem polarização horizontal é maioritariamente refletida, sendo responsável pelo brilho intenso que satura os olhos.

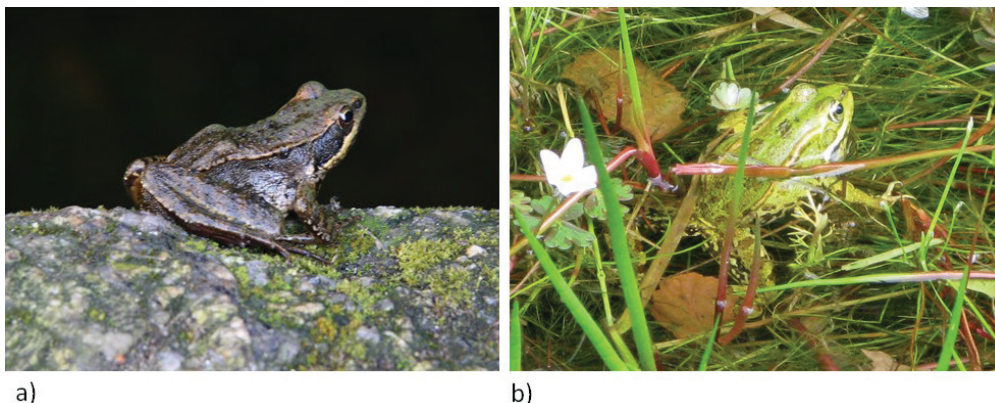
Na Serra da Estrela foram construídas várias albufeiras. Estas reservas de água são utilizadas para a produção de energia elétrica. Os caudais dos cursos de água da Serra são pequenos, daí a necessidade de armazenar grandes massas de água que, descendo a Serra por condutas, movem as turbinas que produzem eletricidade. Neste processo, é transformada a energia potencial da massa da água em energia cinética. Assim, menores massas de água, comparativamente às que são usadas nas barragens construídas em rios, mas com mais elevada energia cinética, são usadas para a produção de energia elétrica.

Os covões são zonas mal drenadas que funcionam essencialmente como locais de acumulação de material fino, onde os cervunais húmidos se desenvolvem, sobretudo nas áreas adjacentes às lagoas. Entre juncáceas e gramíneas, as turfeiras são habitats com abundância permanente de água nos quais se acumula (ou acumulou) turfa e onde predominam comunidades com elevado grau de cobertura de musgos do género *Sphagnum* (ICNF, 2000). Estes cervunais de zonas frias e húmidas são relativamente pobres em espécies, constituindo prados de gramíneas onde predomina o cervum (*Nardus stricta*).

Entre as espécies animais mais comuns nestas áreas destacam-se as rãs. Porém, dada a dificuldade de nos aproximarmos das margens das lagoas, devido ao encharcamento da orla adjacente, as rãs podem não ser fáceis de observar. Contudo, entre março e julho (época de reprodução) é praticamente impossível não ouvir o coaxar dos machos. A rã castanha ou ibérica (*Rana iberica*) é um endemismo do noroeste da Península Ibérica (Figura 4.17 a)). Todavia, a espécie mais conspícua é a rã verde (*Rana perezi*), que geralmente forma grandes populações perto dos numerosos lagos do andar superior da serra (Figura 4.17 b)).

Figura 4.17

a) Rã castanha ou ibérica (*Rana iberica*);
b) Rã verde (*Rana perezi*).



À medida que nos afastamos das margens das lagoas, os cervunais húmidos dão lugar aos cervunais secos (*Galio-Nardetum*).

Em altitude, as gramíneas crescem preferencialmente a partir da linha limite do desenvolvimento das árvores. Pertencentes à família Poaceae (=Gramineae) estas monocotiledóneas são facilmente identificáveis pelas suas inflorescências típicas com flores protegidas por várias séries de brácteas (glumas, lemas e páleas), mas com perianto reduzido a 2 ou 3 escamas (as lodículas) e pelo caule dividido em nós e entrenós. Contudo, esta família é difícil de descrever e as espécies difíceis de identificar mesmo para os especialistas, dado distinguirem-se por combinações das mesmas características. Em Portugal há 92 géneros de gramíneas e cerca de 273 espécies. No PNSE existem endemismos relevantes, tal como a gramínea *Festuca henriquesii*.

4.4. A Torre, o Cântaro Magro e a Senhora da Boa Estrela

A Torre apresenta uma cota de 1 993 metros e encontra-se localizada num planalto levantado pela tectónica Terciária e Quaternária. No Plistocénico superior (há 20 mil anos) formou-se uma calote de gelo com uma espessura máxima de 80 metros, que alimentou os diversos glaciares de vale. Nesta área não se observa qualquer depósito superficial significativo, aflorando a rocha sã. A maior parte do planalto da Torre constitui uma área de erosão, tendo o gelo transportado os materiais resultantes da alteração pré-glaciária.

A erosão dos materiais dos níveis topográficos superiores gerou fraturas paralelas à superfície topográfica, por alívio de carga litostática (tração/extensão vertical), originando a pseudoestratificação visível nos granitos.

O Cântaro Magro é um enorme cabeça que atinge 1 928 metros de altitude. Trata-se de uma forma de relevo posta em evidência pela erosão diferencial. Este fenómeno resulta da existência de um bloco pouco fraturado, rodeado por zonas de grande densidade de fraturação, com a consequente menor resistência à erosão. Na Senhora da Boa Estrela, também como resultado de processos erosivos que atuam sobre a rocha aproveitando as suas fraturas (diaclasamento horizontal e vertical), observam-se outras formas de erosão (Figura 4.18): blocos colunares (“queijeiras”) e blocos pedunculados.

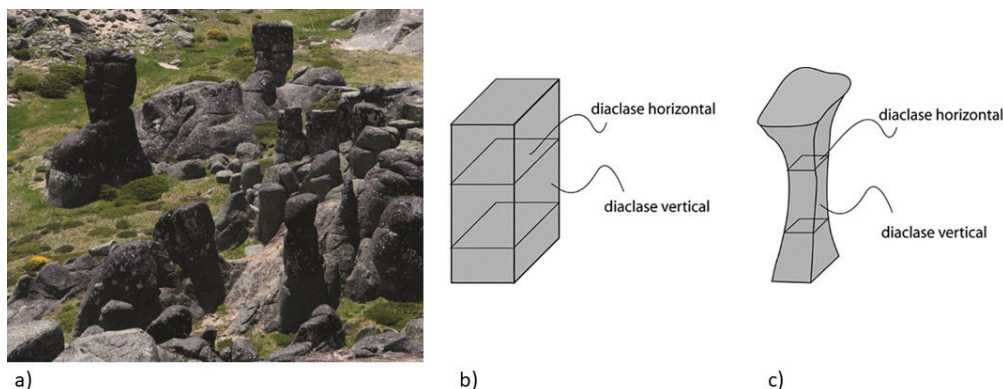


Figura 4.18
Formas de erosão:
a) blocos colunares;
b) representação
esquemática de blocos
colunares e
c) pedunculados.

É nos rochedos ensombrados e húmidos que se desenvolve uma vegetação rica que inclui a maioria dos orófitos (plantas próprias de regiões montanhosas) e endemismos da Serra da Estrela. *Fritillaria nervosa nervosa* (Figura 4.19) é uma das plantas endémicas das regiões montanhosas do Centro e Sul da Europa, que em Portugal continental se distribui por várias serras do Centro e Norte (acima de 700 m). De acordo com a Lista Vermelha da Flora Vascular de Portugal Continental, *Fritillaria nervosa nervosa* é avaliada como “Quase-Ameaçada” na categoria de risco de extinção (Carapeto et al., 2020).



Figura 4.19
Fritillaria lusitanica
e *Fritillaria nervosa*
nervosa (Flora-on, 2023).

Algumas substâncias sintetizadas por certas espécies de fritilárias podem ser utilizadas na medicina, e.g., o alcalóide imperialina é usado como inibidor da droga mescalina. O alcalóide galantamina, extraído do narciso trombeta ou campainhas amarelas [*Narcissus pseudonarcissus* L. subsp. *nobilis* (Haw.)], é utilizado no tratamento da doença de Alzheimer. Devido à sua raridade, o narciso-trombeta beneficia do estatuto de proteção, de acordo com a legislação portuguesa e comunitária (Diretiva 92/43/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1992, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens, transposta para o direito interno de Portugal pelo Decreto-Lei n.º 140/99, de 24 de abril). Uma das causas que podem ter

conduzido à sua atual escassez na Serra da Estrela, terá sido a colheita intensiva de bolbos e flores que ocorreu no passado, para exportação.

Nas fissuras e pequenas depressões das rochas onde se acumulam partículas transportadas pelo vento, é possível encontrar uma vegetação (fissurícola) muito mais diversificada. O género *Murbekiella* é da família Brassicaceae (=Cruciferae) a que também pertencem as couves, os repolhos e os nabos. A espécie *Murbekiella sousae* é uma das mais representativas nos afloramentos graníticos, sendo uma das endémicas de Portugal com estatuto de conservação prioritário.

No Planalto Central da Serra da Estrela, é possível observar a lagartixa-da-montanha (Figura 4.20) que também ocorre num certo número de áreas protegidas das montanhas Cantábricas. Tem vindo a ser classificada no género *Lacerta*, mas, de acordo com Carranza et al. (2004), agora é incluída na espécie *Iberolacerta monticola*. A lagartixa-da-montanha está listada no Anexo II da Convenção de Berna (1979) com o estatuto de espécie vulnerável, visto ocorrer numa área inferior a 20 000 km². A sua distribuição está severamente fragmentada e há um contínuo declínio na extensão e qualidade do seu habitat. A subespécie, referenciada como *Iberolacerta monticola monticola*, é endémica de Portugal.



Figura 4.20
Lagartixa-da-montanha
(*Iberolacerta monticola*
monticola).

Os lacertídeos são animais ectotérmicos, com capacidades termorreguladoras superiores às dos outros répteis. Quando ativos, os répteis adotam posições e comportamentos que lhes permitem interagir com as fontes de energia exteriores, e combiná-los com mecanismos fisiológicos, de forma a manterem a temperatura corporal numa faixa designada por amplitude térmica ativa. É nesta gama de temperaturas que estes animais realizam todas as suas atividades (alimentação, corte e reprodução, defesa do território, etc.). Os lacertídeos regulam a sua temperatura corporal com grande precisão, sendo a amplitude térmica ativa mais ou menos característica de cada espécie e constituindo um fator de especiação.

A radiação solar é a fonte de energia que um animal ectotérmico pode usar, direta ou indiretamente, para controlar a temperatura do corpo. Esta radiação é recebida diretamente pela epiderme dos animais, quando estes se expõem ao sol, e indiretamente, por processos de reflexão, convecção e condução. Os animais recebem energia sob a forma de radiação infravermelha (IV) refletida pelas nuvens, partículas de poeira na atmosfera ou de outros objetos circundantes. Nos processos de convecção e condução, a transferência líquida de calor faz-se da fonte de temperatura mais elevada para a de temperatura mais baixa, sendo as trocas de calor por convecção favorecidas pelas correntes de ar.

Os afloramentos rochosos são um elemento essencial do habitat da lagartixa-das-montanhas; é neles que estes animais se refugiam durante a hibernação e se expõem ao sol para regular a temperatura corporal. Após um período invernal, geralmente de 5 a 6 meses, a época de reprodução inicia-se entre março e maio e os recém-nascidos aparecem entre agosto e setembro.

Ao longo do ano, na Serra da Estrela, a água ocorre nos três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso). A principal diferença entre os estados condensados, líquido e sólido, e o estado gasoso reside na distância entre as moléculas (Figura 4.21), no sentido de maior entropia.

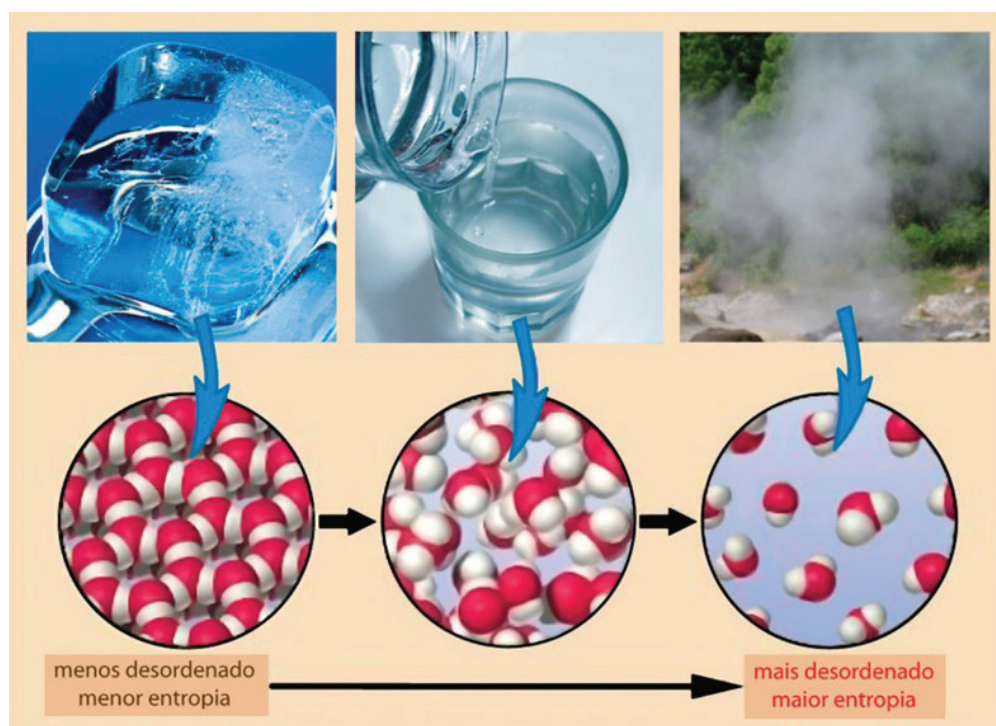


Figura 4.21
Fases da água e ordem molecular (adaptado de Chang & Goldsby, 2013).

Durante o Inverno a serra cobre-se de branco. Na neve encontram-se cristais de formas muito diversificadas que dependem não só das características do material que constitui o cristal, mas também das condições em que a cristalização ocorreu (Figuras 4.7 e 4.8). A água pode assumir múltiplas formas cristalinas: um floco de neve e um cubo de gelo são formas distintas de cristais de água, que podem ser encarados como fractais (Figura 4.9).

Um cubo de gelo a flutuar na água é um sistema de duas fases distintas: a fase sólida e a fase líquida. É necessário fornecer energia (normalmente na forma de calor) para promover as transformações sólido-líquido-gás, sendo acompanhadas por aumento de desordem molecular – aumento de entropia. Estas transformações da água, ocorrem normalmente à pressão de 1 atm (1,01325 bar). Mas as temperaturas de fusão e de ebulição da água podem desviar-se apreciavelmente de 0°C e de 100°C, respetivamente, dependendo das condições atmosféricas. Os diagramas de fases permitem fazer previsões sobre o modo como os pontos de fusão e de ebulição de uma substância variam em função da pressão exterior. A diminuição da pressão faz baixar a temperatura de ebulição e aumentar a temperatura de fusão da água (Figura 4.4 – diagrama de fases da água).

No alto da Serra da Estrela, a pressão é inferior relativamente ao nível médio da água do mar. A título exemplificativo, a pressão atmosférica medida no Cântaro Magro, num dia de verão, foi de 0,867 bar (correspondente a 0,856 atm) sendo a temperatura de ebulição da água de cerca de 96°C.

Medição do ponto de ebulição da água

Material: fonte de aquecimento, um copo de 1000 ml, um termómetro, um barómetro, água (cerca de 300 ml).

Procedimento: aquecer a água até à ebulição e registar a temperatura a que esta ocorre, assim como a pressão atmosférica do local.

Análise: comparar os resultados com a curva líquido-gás do diagrama de fases da água.



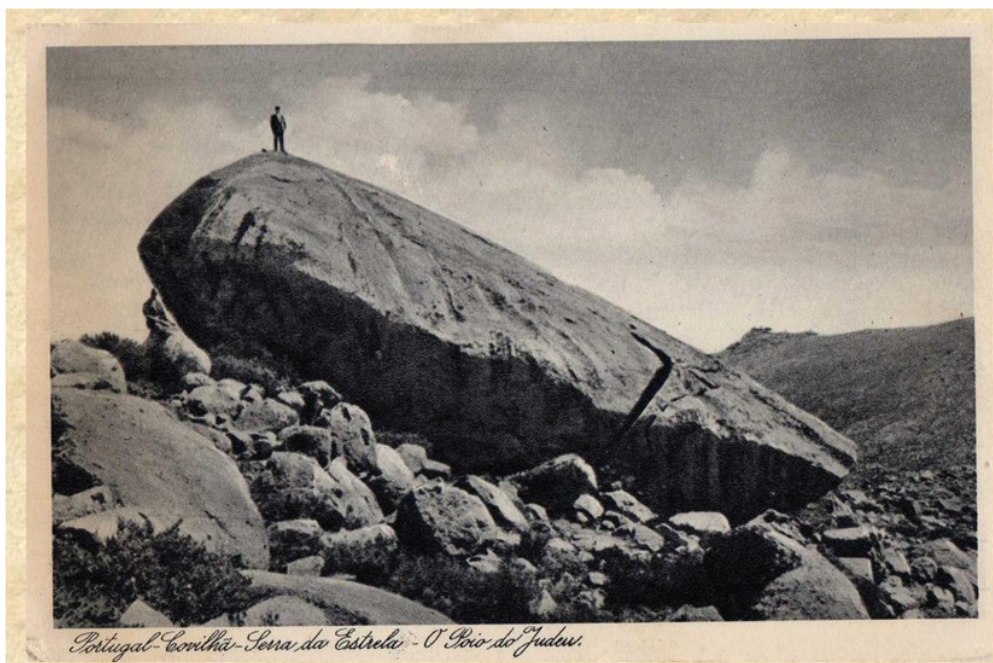
A energia responsável pelas diversas manifestações de fenómenos que mostram que a Terra é um planeta dinâmico, tem três origens: (i) o Sol, uma fonte externa, gigantesco reator de fusão nuclear; (ii) o interior da Terra, donde provém a energia que resulta do decaimento radioativo de diversos elementos químicos [e.g., o rádio (Ra), o chumbo (Pb) e o potássio (K)] e (iii) a energia calorífica que resultou do processo de acreção na formação do planeta a partir de poeiras cósmicas.

A energia na Terra apresenta-se essencialmente sob a forma de calor, produzindo movimentos de grandes massas (o ar e a água, por um lado, o magma por outro). Pode ainda apresentar-se sob a forma de radiação eletromagnética - a luz - que permitiu que se tenham estabelecido, e ainda se mantenham, complexas formas de organização da matéria, que se podem reproduzir e até, nalguns casos, ter “consciência de si mesmas”.

4.5. A vertente do Vale da Ribeira de Alforfa e a Nave de Sto. António

Na Serra da Estrela, a cascalheira do Alto da Pedrice é um bom exemplo de gelifração (crioclastismo). Trata-se de um depósito de fragmentos de granitos, sub-angulosos, decimétricos a métricos, sem matriz, que cobre a vertente do Vale da Ribeira da Alforfa. É um depósito de origem periglaciária, que resultou da ação repetida de ciclos de congelação-fusão da água nos interstícios e diaclases da rocha, o que levou à sua fragmentação.

A capacidade de transporte de grandes massas de materiais pétreos pelos glaciares, aquando do seu movimento, é posta em evidência pela volumetria das cascalheiras presentes nas moreias e, ainda, de alguns blocos erráticos de grandes dimensões, dos quais o Poio do Judeu é um exemplo singular (Morais 2015).

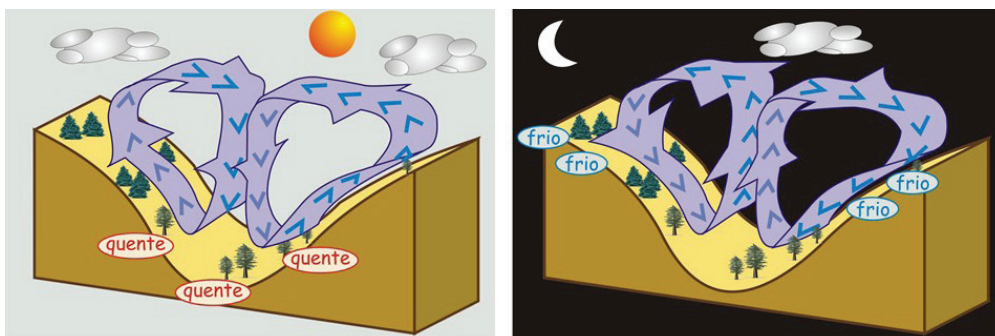


Durante o dia, principalmente no verão, o Sol aquece as encostas que, por sua vez, aquecem o ar tornando-o menos denso. Este ar aquecido sobe as encostas, enquanto o ar mais frio desce para o sopé. Esta é a brisa de montanha (Figura 4.22), que aves de grande porte aproveitam para ganhar altura no seu voo, sem despendem muita energia. Das aves de rapina da Serra da Estrela, a águia de asa redonda (*Buteo buteo*) é a mais comum e a águia de Bonelli, ou águia-perdigueira (*Hieraaetus pennatus*), que tem um elevado estatuto de conservação, é mais rara.

Não só as aves, mas também o Homem aproveita zonas de ventos ascensionais constantes para a prática de atividades de lazer, como o parapente.

Durante a noite, o rápido arrefecimento das encostas faz inverter o sentido das correntes de ar: a brisa desce então ao longo da encosta.

Figura 4.22
Brisa de montanha
(CCVE, 2020).



É principalmente nas encostas que os solos são frequentemente delgados ou ausentes, devido à erosão, e a vegetação se restringe a algumas formas fissurícolas.

A Nave de Sto. António, a 1 550 m, é uma planície arenosa (Figura 4.23), um extenso cervunal semeado de blocos arredondados, de rochas aborregadas e de cascalho. No verão, os cervunais secos (*Galio-Nardetum*) constituem um manto de verdura onde se apascentam numerosas cabeças de gado. A degradação dos cervunais, devida ao sobre pastoreio, favorece a ação da erosão pela água de escorrência superficial, determinando a abertura de clareiras constituídas por uma camada fina de saibro granítico. Enquanto que a degradação dos cervunais é sobretudo devida ao sobre pastoreio, os zimbrais são muito sensíveis aos incêndios, apesar de poupados pelo gado. Tais distúrbios têm levado à expansão dos arrelvados ou clareiras colonizadas pelo agrupamento *Arenario-Cerastietum ramosissimi* dominado por cariofiláceas.



Figura 4.23
Nave de Sto. António.

O meio arbustivo compreende sobretudo as giestas – a giesteira branca (*Cystisus multiflores*) e a giesta negral (*Cystisus striatus*). Estas formações geralmente diferem, não só na densidade e altura, presença ou ausência de afloramentos rochosos no seu seio, mas também pela presença ou ausência de espécies que determinam padrões identificáveis. Assim, as cistáceas predominam nas áreas mais baixas, xistentas ou aluvionares, enquanto as giestas são mais expressivas em granito.

4.6. O Covão d' Ametade

O Vale do Zêzere tem a típica forma em U (Figura 4.24) característica dos vales glaciários. No máximo da glaciação o gelo enchia o vale, atingindo em alguns locais uma espessura superior a 300 metros. Era a partir das vertentes e topos localizados a Ocidente que se alimentava de gelo o glaciar do Zêzere (Figura 4.25).



Figura 4.24
Vale glaciário do Zêzere visto de sudoeste.

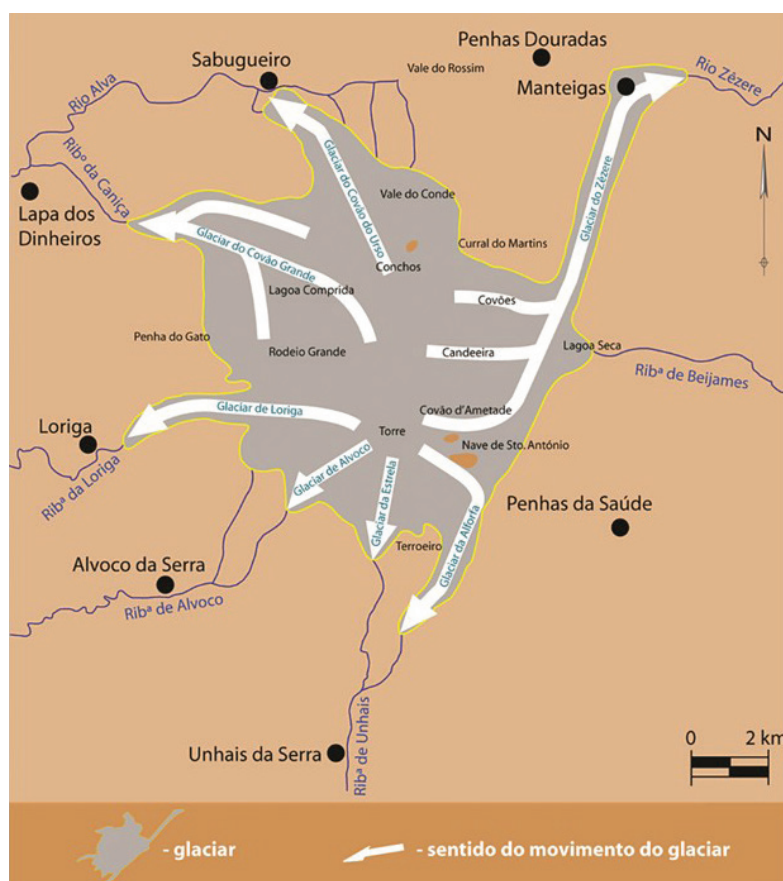


Figura 4.25
Calote glaciário da Serra da Estrela (acima dos 1650 m) e escoamento radial para os vales (adaptado de Ferreira & Vieira, 1999).

Para determinar o volume do vale glaciário (Figura 4.26), consideram-se duas zonas, *zona 1* e *zona 2*, sendo o volume de cada uma das zonas aproximado pela média dos volumes de dois prismas triangulares. O volume total do vale é estimado pela soma dos volumes obtidos para a *zona 1* e para a *zona 2*.

A partir das cartas topográficas, definem-se perfis unindo os pontos A a B, C a D, e E a F, os quais permitem definir as bases de 4 prismas triangulares: dois prismas de altura $H_1 = 3\,275\text{ m}$, o primeiro com base igual ao triângulo [AA'B] e o segundo com base igual ao triângulo [CC'D]; e dois prismas de altura $H_2 = 2\,950\text{ m}$, um cuja base é o triângulo [CC'D] e outro tendo por base o triângulo [EE'F].

Consideremos a *zona 1*. Dado que o triângulo equilátero [AA'B] tem altura $h_1 = 300\text{ m}$ e base [AB] com comprimento igual a $1\,000\text{ m}$, o prisma de base [AA'B] e altura $H_1 = 3\,275\text{ m}$ tem volume V_1 dado por:

$$V_1 = \frac{1\,000 \times 300}{2} \times 3\,275 = 491\,250\,000\text{ m}^3$$

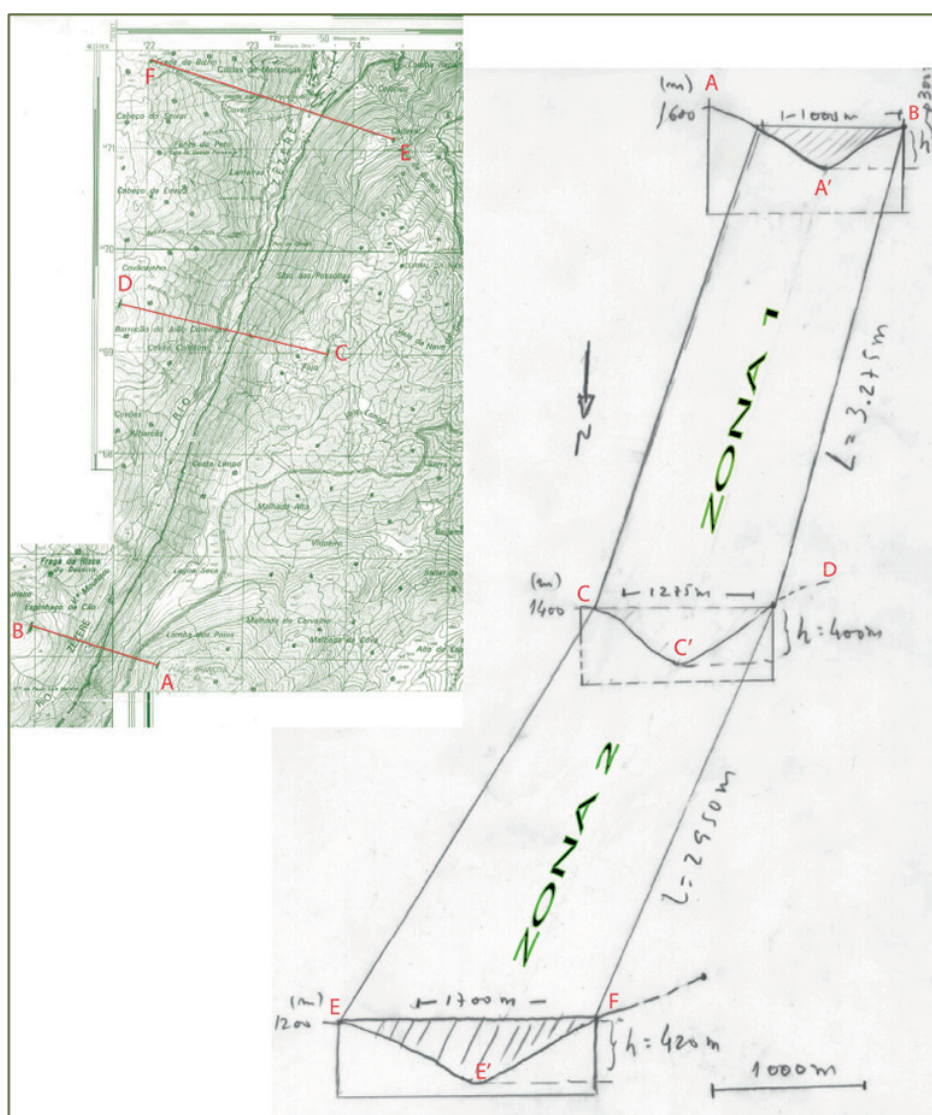


Figura 4.26

Mapa topográfico adaptado das cartas topográficas n.º 223 e n.º 224, à escala 1/25 000, IgeoE. Cálculo do volume de uma porção do Vale do Zêzere (zona provável de passagem do glaciário).

O triângulo equilátero $[CC'D]$ de base $[CD]$, tem comprimento igual a 1 275 m e altura $h_2 = 400$ m. O volume V_2 do prisma com base $[CC'D]$ e altura $H_1 = 3 275$ m é dado por:

$$V_2 = \frac{1\,275 \times 400}{2} \times 3\,275 = 835\,125\,000 \text{ m}^3$$

Assim, o valor médio dos volumes V_1 e V_2 é igual a

$$V_{12} = \frac{491\,250\,000 \times 835\,125\,000}{2} = 663\,187\,500 \text{ m}^3$$

sendo uma aproximação para o volume da *zona 1* do vale.

Consideremos a *zona 2* e o prisma com base igual ao prisma anterior, ou seja, o triângulo $[CC'D]$, mas com altura $H_2 = 2\,950$ m. O volume deste prisma V_3 é então obtido por

$$V_3 = \frac{1\,275 \times 400}{2} \times 2\,950 = 752\,250\,000 \text{ m}^3$$

Para o cálculo do volume V_4 do prisma, cuja base é o triângulo $[EE'F]$ com altura $h_3 = 420$ m, com comprimento da base $[EF]$ igual a 1700 m e cuja altura é $H_2 = 2\,950$ m. Temos assim

$$V_4 = \frac{1\,700 \times 420}{2} \times 2\,950 = 1\,053\,150\,000 \text{ m}^3$$

O valor médio dos volumes V_3 e V_4 ,

$$V_{34} = \frac{752\,250\,000 \times 1\,053\,150\,000}{2} = 902\,700\,000 \text{ m}^3$$

é então uma aproximação para o volume da *zona 2*.

Obtém-se, assim, uma aproximação do volume do glaciar do vale do Zêzere calculando a soma dos volumes V_{12} e V_{34} ,

$$\text{Volume Vale}_1 \approx V_{12} + V_{34} = 491\,250\,000 \text{ m}^3$$

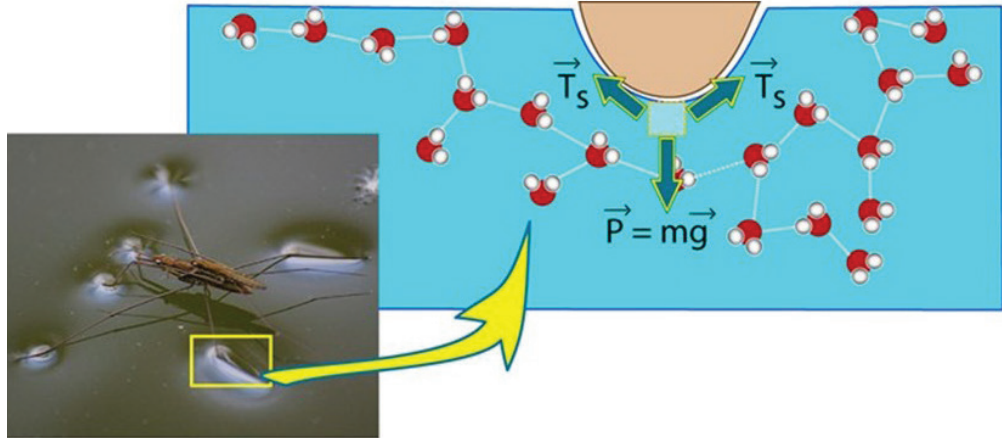
Note-se que o mesmo resultado poderia ser obtido se considerássemos os volumes das *zonas 1* e *2* aproximados, respetivamente, pelos volumes dos prismas triangulares com bases de áreas iguais às médias das áreas dos triângulos $[AA'B]$ e $[CC'D]$, no primeiro caso, e dos triângulos $[CC'D]$ e $[EE'F]$, no segundo caso.

Como termo de comparação com o volume calculado do glaciar do Zêzere ($1,6 \times 10^3$ milhões de m^3), note-se que o consumo de água estimado em Portugal Continental, no ano de 2022 foi de $8,2 \times 10^3$ milhões de m^3 (Martins et al., 2022), ou seja quase 5 vezes superior.

A superfície livre de um líquido caracteriza-se por ter forças de ligação entre as partículas tangentes à superfície. Estas forças são designadas por tensão superficial e são responsáveis pela superfície plana e pela forma dos bordos dos líquidos quando se encontram num recipiente ou quando formam um volume de pequena altura numa superfície (Figura 4.27).

Figura 4.27

Tensão superficial (T_s): a força exercida pelo apêndice articulado na superfície da água (P) causa uma deformação da superfície sem, contudo, a romper. Aceleração da gravidade (g) (adaptado de Chang & Goldsby, 2013).



A tensão superficial na água é suficiente para suportar o peso de um pequeno objeto com elevada densidade, por exemplo, uma agulha (realizar a experiência sugerida). Por esta razão se pode perceber como há pequenos insetos que vivem na superfície da água, como os “alfaiates” (insetos hemípteros), cujo peso é sustentado por seis patas que não imergem na água, deformando a superfície em torno das áreas de contacto.

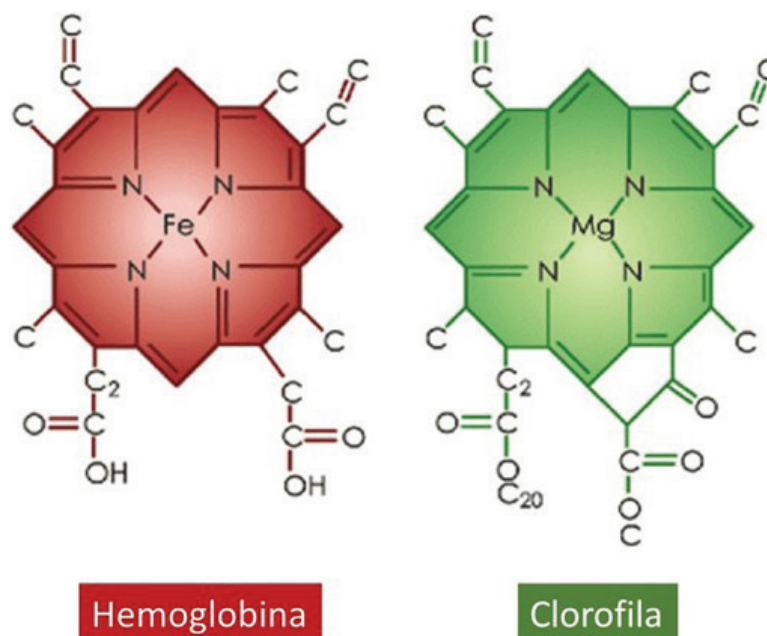
Os detergentes são usados para diminuir a tensão superficial da água, formando vesículas contendo gordura, que se dissolvem na água – emulsão das gorduras. Todavia, o uso extensivo de detergentes aumenta o grau de poluição das águas. Este pode ser determinado pela análise de comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Nestas comunidades existem organismos (tais como larvas de insetos, crustáceos, moluscos, entre outros) com diferentes níveis de sensibilidade à poluição. O conhecimento que existe sobre a tolerância de vários *taxa* a diferentes graus de poluição permite a determinação dos chamados Índices Bióticos, que nos dão informações valiosas sobre a qualidade das águas dos rios.

No Covão d’Ametade, o rio Zêzere “acabado de nascer” é bordejado por uma galeria ripícola de bétulas (*Betula alba* L.), que no nosso país também são conhecidas por vidoeiros ou bidoeiros (Figura 4.28). Estas folhosas autóctones, que no outono enchem este local de cores quentes e na primavera e no verão dão uma aprazível sombra verde, são facilmente identificadas pelo seu ritidoma característico.



Figura 4.28
Bosque ripícola de
bétulas no Covão
d' Ametade.

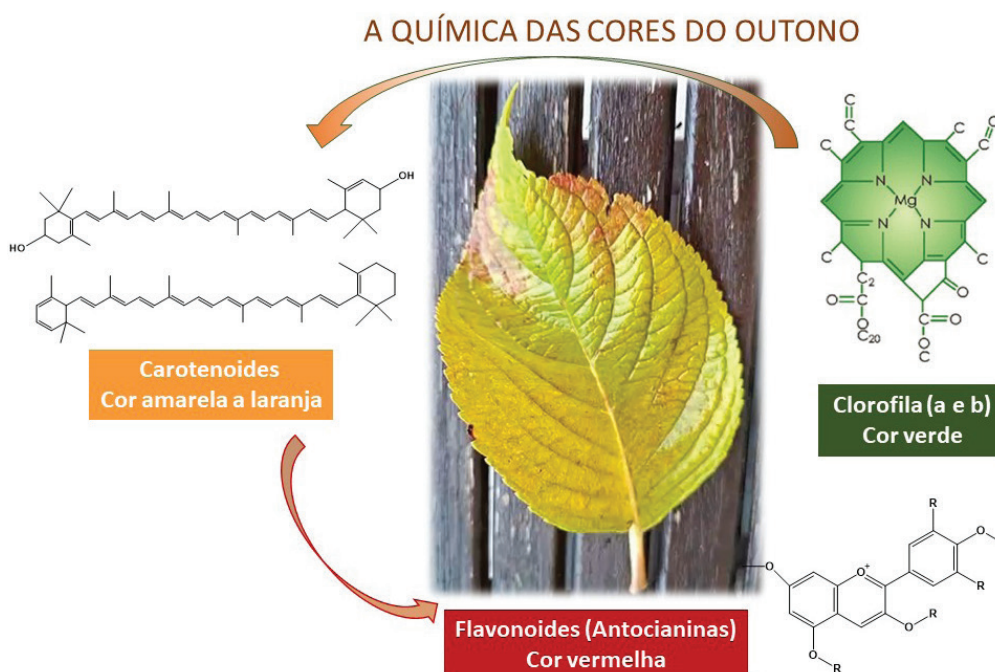
Nas plantas caducifólias, as tonalidades verdes presentes nas folhas, sobretudo na primavera, são devido à presença das clorofilas que dão a cor esverdeada por causa da baixa absorção de luz na região do espectro eletromagnético correspondente a esta cor e são identificadas como clorofilas a e b. Estas moléculas pertencem ao grupo de pigmentos fotossintéticos presente nos cloroplastos das plantas, algas e certas bactérias. As clorofilas conseguem transformar a energia da luz solar em energia química através do processo de fotossíntese. Neste processo, a energia absorvida pela clorofila transforma o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O) em hidratos de carbono ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$, n representa a quantidade proporcional de carbono, hidrogénio e oxigénio) e oxigénio (O_2). A molécula da clorofila apresenta um anel central que tem um ião de magnésio (Mg^{2+}) coordenado por quatro átomos de azoto, que induzem estabilidade ao ião central e confere a cor verde. Esta mesma coordenação tetraédrica é encontrada na molécula da hemoglobina presente no sangue. Neste caso, o ião central é o ião ferroso (Fe^{2+}) e a cor é vermelha (Figura 4.29).

**Figura 4.29**

Coordenação tetraédrica nas moléculas de hemoglobina e clorofila, respetivamente, com o catião central de Fe e Mg.

No outono, a estação do ano que sucede o verão e precede o inverno, a natureza oferece uma matiz de cores diferentes nas plantas. Esta paleta de cores é especialmente marcante nas folhas das árvores de folha caduca, que podem apresentar diferentes tons de verde, laranja, amarelo, castanho. A que se devem estas cores de outono?

A redução da luz solar diária ao longo dos dias cada vez mais curtos e a gradual diminuição da temperatura ambiente vai afetar a molécula da clorofila que se transforma noutras moléculas que são responsáveis por outros tons da natureza (Figura 4.30).

**Figura 4.30**

A química das cores das folhas das plantas: clorofila (a e b), xantófilas e carotenoides.

Nestas novas moléculas, o magnésio já não está presente, devido à abertura do anel da estrutura tetraédrica. Novas classes de moléculas de cadeias longas de hidratos de carbono, com ou sem oxigénio originam novas cores nas folhas. A cor amarela é devidas aos carotenóides, que apresentam cadeias longas com ligações insaturadas. Por sua vez, a cor vermelha resulta da presença dos flavonóides (maioritariamente antocianinas), que possuem estruturas contendo anéis aromáticos.

4.7. A fonte Paulo Luís Martins

Uma outra abordagem para determinar o volume aproximado do gelo outrora existente no vale do Zêzere, passa por considerar outros sólidos geométricos não polidricos, em vez de prismas triangulares. Partindo das secções verticais das cartas topográficas, definimos as faces superior e inferior daqueles sólidos (bases paralelas) iguais à região plana, delimitada inferiormente por uma parábola (de interpolação em três pontos) e superiormente por um segmento de reta – região que aproxima uma dada secção vertical do vale – e ligando-se essas faces por arestas.

O procedimento é análogo ao anteriormente apresentado (Paragem 6), diferindo no cálculo das áreas das bases dos sólidos considerados, – não sendo considerados triângulos, mas regiões planas cujas áreas são determinadas com recurso a integrais (Figura 4.26).

Consideremos os perfis topográficos unindo os pontos A a B , C a D , e E a F , que permitem definir as bases de quatro sólidos cilíndricos. Designemos por:

- A_1 – região plana delimitada pela parábola p_1 que passa nos pontos A , A' e B , e pelo segmento de reta que une os pontos A e B ;
- A_2 – região delimitada pela parábola p_2 que passa em C , C' e D , e pelo segmento de reta que une os pontos C e D ;
- A_3 – região delimitada pela parábola p_3 que passa em E , E' e F , e pelo segmento de reta que une os pontos E e F .

Considerem-se agora dois sólidos cilíndricos de altura $H_1 = 3\,275$ m, o primeiro com base A_1 e o segundo com base A_2 ; e dois sólidos de altura $H_2 = 2\,950$ m, um também com base A_2 e outro com base A_3 .

Usando a definição de polinómio interpolador de grau dois em três pontos e resolvendo o sistema de equações lineares correspondente para a determinação dos coeficientes desse polinómio, obtemos as seguintes expressões para p_1 , p_2 e p_3 :

$$p_1(x) = \frac{3}{2\,500} x^2, \quad p_2(x) = \frac{64}{65\,025} x^2, \quad \text{e } p_3(x) = \frac{21}{36\,125} x^2.$$

Por exemplo, a parábola $p_1(x) = \frac{3}{2\,500}x^2$ passa pelos pontos (0, 0), (-500, 300) e (500, 300), que identificamos com A, A e B, respetivamente.

Para determinar analiticamente as áreas das regiões A_1 , A_2 e A_3 usando integrais, temos:

$$\text{Área } A_1 = 1\,000 \times 300 - 2 \int_{-500}^{500} p_1 \, dx = 200\,000 \, \text{m}^2$$

ou seja, a área de A_1 é dada pela diferença entre a área do retângulo com comprimento de 1 000 m e altura de 300 m, e a área da região compreendida entre a base deste retângulo e a parábola p_1 .

Analogamente, calculamos analiticamente as áreas de A_2 e A_3 através dos integrais:

$$\text{Área } A_2 = 1\,275 \times 400 - 2 \int_{-1275/2}^{1275/2} p_2 \, dx = 340\,000 \, \text{m}^2$$

e

$$\text{Área } A_{31} = 1\,700 \times 420 - 2 \int_{-850}^{850} p_{31} \, dx = 476\,000 \, \text{m}^2$$

Considerando a decomposição do vale em duas zonas, a *zona 1* e a *zona 2*, o volume da *zona 1* pode ser aproximado pela média dos volumes

$$\tilde{V}_1 = \text{Área } A_1 \times 3\,275 = 655\,000\,000 \, \text{m}^3$$

e que é igual a

$$\tilde{V}_{12} = 884\,250\,000 \, \text{m}^3$$

Do mesmo modo, o volume da *zona 2* pode ser aproximado pela média dos volumes

$$\tilde{V}_3 = \text{Área } A_2 \times 2\,950 = 1\,003\,000\,000 \, \text{m}^3$$

e

$$\tilde{V}_4 = \text{Área } A_3 \times 2\,950 = 1\,404\,200\,000 \, \text{m}^3$$

que toma o valor

$$\tilde{V}_{34} = 1\,203\,600\,000 \, \text{m}^3$$

Assim, o volume final pretendido será aproximado pela soma dos volumes $\tilde{V}_{12}$ e $\tilde{V}_{34}$,

$$\text{Volume Vale}_2 \approx \tilde{V}_{12} + \tilde{V}_{34} = 2\,087\,850\,000 \, \text{m}^3$$

O método apresentado equivale a considerar como aproximação dos volumes das *zonas 1* e *2*, respetivamente, os volumes dos sólidos cujas bases têm áreas iguais a:

$$\frac{\text{Área } A_1 + \text{Área } A_2}{2} \quad \text{e} \quad \frac{\text{Área } A_2 + \text{Área } A_3}{2}$$

Neste caso obteríamos o mesmo resultado para $\tilde{V}_{12}$ e $\tilde{V}_{34}$, e portanto, também para o volume final do vale do Zêzere.

Da análise dos resultados obtidos pelos dois métodos, podemos entender a primeira aproximação do volume do glaciário,

$$\text{Volume Vale}_1 \approx 1\,565\,887\,500\,\text{m}^3$$

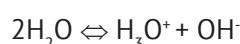
uma aproximação por defeito e a segunda aproximação,

$$\text{Volume Vale}_2 \approx 2\,087\,850\,000\,\text{m}^3$$

uma aproximação por excesso.

A nascente de carácter permanente da Fonte Paulo Luís Martins encontra-se a 20 m acima da estrada nacional (EN 338). A emergência dá-se em granito e ocorre na interseção de falhas e diaclasamento locais com a falha da Vilarica-Manteigas. A água que aqui emerge é sódica de elevado índice de sílica, hipossalina e apresentando resíduo seco na ordem dos 23 mg/L (Ferreira & Vieira, 1999). O pH e a condutividade elétrica medidos em junho de 2008 apresentaram valores, respetivamente, de 5,65 e de 21 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O facto de esta água ser pouco mineralizada resulta da natureza do substrato e do pouco tempo de residência, isto é, o tempo de interação água-rocha que decorre desde a sua infiltração até à sua emergência é reduzido. A zona de recarga do aquífero que gera esta nascente encontra-se nos setores mais altos (a ESE) que drenam no sentido da vertente. A infiltração da precipitação dá-se fundamentalmente através das fraturas e outras discontinuidades presentes no maciço granítico. Num aquífero de meios fissurados, a maioria da sua água circula e emerge na rede de fraturação que o constitui.

No seu estado líquido, a água, por muito pura que seja, não é só constituída por moléculas de H_2O , ocorrendo constantemente a reação de dissociação da água:



Os iões H_3O^+ e OH^- estão presentes em muito baixa concentração, da ordem de $1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$. Portanto, o equilíbrio desta reação está deslocado para as moléculas de água. De modo a tornar compreensível as concentrações destes iões, utiliza-se uma medida mais prática, a que se chama pH. O pH de uma solução é definido como o simétrico do logaritmo decimal da concentração em hidrogeniões (em mol/L): $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. Analogamente, define-se o pOH como sendo $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$.

As soluções ácidas e básicas a 25°C podem ser identificadas através dos seus valores de pH:

soluções ácidas $[\text{H}^+] > 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, $\text{pH} < 7,00$

soluções neutras $[\text{H}^+] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, $\text{pH} = 7,00$

soluções básicas $[\text{H}^+] < 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, $\text{pH} > 7,00$

A água pura, sendo uma solução neutra, tem $\text{pH} = \text{pOH} = 7$, logo a concentração dos íons H_3O^+ e OH^- é de $1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$.

A facilidade com que muitos compostos se dissolvem na água deve-se à sua elevada constante dielétrica (78,303 a 25°C) que, por sua vez, está relacionada com a natureza polar e com a estrutura eletrônica da molécula H_2O .

Apesar de ser um excelente solvente para sais e substâncias capazes de formar com ela ligações, a água, ao contrário do que vulgarmente se pensa, é um mau condutor de corrente elétrica quando comparado, por exemplo, com os metais. Porém, a sua baixa condutividade elétrica pode ser suficiente para causar efeitos sensíveis no Homem.

Mas a água é, também, essencial para as famosas compotas de abóbora da Serra da Estrela.

Compota de Abóbora com Nozes

1,5 kg de abóbora em cubos médios
1 kg de açúcar
3 unidades de cravo-da-índia
2 unidades de canela em pau
250 g de nozes



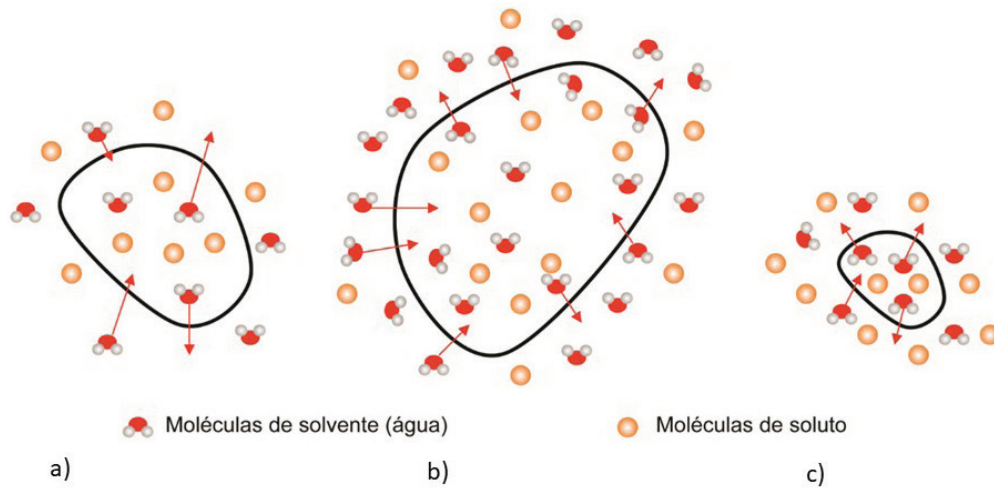
Coloque a abóbora, o açúcar, o cravo e a canela numa panela. Feche-a e leve ao lume brando até levantar fervura.

Coloque as nozes descascadas e partidas e volte a tapar a panela. Deixe a panela tapada até arrefecer. Abra depois de fria. O ideal é deixar repousar por 12 horas.

Bom Apetite!

O açúcar não serve apenas para adoçar, mas é também um conservante porque elimina as bactérias que causam o botulismo.

Quando duas soluções de concentrações diferentes estão separadas por uma membrana semipermeável, as moléculas do solvente deslocam-se através da membrana no sentido da solução mais concentrada – hipertónica, para a menos concentrada – hipotónica, até à obtenção de duas soluções com a mesma concentração - isotónicas (Figura 4.31). Este processo designa-se por osmose definindo-se a pressão osmótica de uma solução como a pressão necessária para fazer parar a osmose.

**Figura 4.31**

Uma célula dentro de:
a) uma solução isotônica, fica inalterada; b) uma solução hipotônica, expande-se (turgescência); c) uma solução hipertônica, contrai-se (plasmólise).

No caso da compota, quando uma célula bacteriana se encontra numa solução com elevada concentração de açúcar (hipertônica), a água intracelular tende a sair da célula (meio hipotônico) para a solução mais concentrada, por osmose. Este processo, conhecido como *plasmólise*, leva a célula a encolher e, eventualmente, a morrer.

E a água que corre desta fonte em cascata torna viçosa e conspícua a vegetação rupícola (Figura 4.32), sobretudo representada por comunidades de briófitas (musgos e afins) e pteridófitas (fetos).

**Figura 4.32**

Vegetação rupícola na fonte Paulo Luís Martins.

A vida heterotrófica está aqui representada por organismos minúsculos que dificilmente vemos a olho nu. Para além de escassos e “inofensivos” microrganismos (bactérias e protozoários), neste particular biótopo é possível encontrar alguma diversidade de invertebrados de grupos provavelmente menos conhecidos: nemátodes, rotíferos, gastótricos, tardígrados, entre outros.

Continuando a descer a encosta, podemos encontrar entre as folhosas que ladeiam a estrada, a tramazeira (*Sorbus aucuparia*), árvore de tamanho médio da família das rosáceas. Entre maio e julho são visíveis os seus corimbos de flores brancas de cinco pétalas, bastante odoríferas. Estas árvores características da Serra da Estrela preferem solos siliciosos, pedregosos e com relativa humidade e são heliófitas ou semi-heliófitas. Sendo de crescimento lento, raramente florescem antes dos 12 anos de idade.

E as águas da Serra que brotam dos úberes graníticos, são matizes de cor e de vida...

*Talvez esteja nevando agora
Talvez a cerejeira esteja em flor
Amoras abundantes estão crescendo
E há água potável fresca*
(Konstantin Biebl)

Referências bibliográficas

- Aguiar, C. (2021). *Sistemática das Plantas Vasculares*. Edições Lisboa Capital Verde Europeia 2020 - Botânica em Português 3. Imprensa Nacional Casa da Moeda (INCM) Câmara Nacional de Lisboa. 183 PP++, ISBN: 978-972-272884-3
- Aires-Barros, L., & Sequeira Braga, M. A. (1995). *Fonte do Ídolo (Braga), Diagnóstico de Estado de Conservação. Proposta de intervenção*, Instituto Português do Património Arquitectónico.
- Aires-Barros, L., Sequeira Braga, M. L., Pamplona, J., Lima, A., & Alves, C. (1998). Fonte do Ídolo (Braga), Diagnóstico do estado de conservação, *Actas do V Congresso Nacional de Geologia*, 84, 190-193.
- Alves, C. A. (1997). *Estudo da deterioração de materiais graníticos aplicados em monumentos da cidade de Braga (Norte de Portugal) – Implicações na Conservação do Património Construído*, Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Alves, C. A. S. (2006). Contribuição para o estudo da deterioração do afloramento rochoso na Fonte do Ídolo, *Monumentos*, 24, 197-201, Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN).
- Alves, C., Silva, P., Lemos, F. S., Lima, A., Pamplona, J., Aires-Barros, L., & Sequeira Braga, M. A. (2007). The Idol's Fountain (Braga, NW Portugal), A water/rock monument. *Proceedings of the 7th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*.
- Andresen, T., & Moura Pinheiro, P. (2017, abril 10). *Visita Guiada – Santuário do Bom Jesus do Monte, Braga – Portugal* (No. 2), [RTP2 – temporada 7,]. RTP Play.
- Antunes, I. M. H. R., & Gonçalves, L. M. B. (2018). The “Sete Fontes” groundwater system (Braga, NW Portugal): historical milestones and urban assessment. *Sustainable Water Resources Management*, 5(1), 235-248. <https://doi.org/10.1007/s40899-018-0286-9>
- Benavente, D., de Jongh, M., & Cañaveras, J. C. (2021). Weathering Processes and Mechanisms Caused by Capillary Waters and Pigeon Droppings on Porous Limestones. *Minerals*, 11(1), 18. <https://doi.org/10.3390/min11010018>
- Bezzeghoud, M. A., Silva, M., Dias, R. & Mirão J. (Eds), (2007). *Riscos Naturais e Tecnológicos e sua Prevenção*. CGE, Universidade de Évora, ISBN: 78-989-95091-4-6.
- Bloomfield, L. A. (2015). *How Things Work – The Physics of Everyday Life* (6th ed.), John Wiley & Sons., ISBN: 978-1-119-01384-6.
- Boyer, C. B. (1974). *História da Matemática* (4th ed.), Edgard Blucher Ltda.
- Brum Ferreira, A. (1980). Surfaces d'aplanissement et tectonique récente dans le Nord de la Beira (Portugal). *Rev. Géol. Dynam. Géogr. Phys.*, 22(1), 51–62.
- Campelo, A. (2002). *Artes da Espera. A pesca da lampreia na foz do Cávado*. Trabalhos de Antropologia e de Etnologia, 43, 3-4: 97- 124
- Carapeto A., Francisco A., Pereira P., Porto M. – eds. (2020). *Lista Vermelha da Flora Vascular de Portugal Continental*. Sociedade Portuguesa de Botânica, Associação Portuguesa de Ciência da Vegetação – PHYTOS e Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (coord.). Coleção «Botânica em Português», Volume 7. Lisboa: Imprensa Nacional, 374 pp.
- Carapeto, A., Pereira, P., Porto, M. – coord. cient. Sociedade Portuguesa de Botânica (2021). *Guia da flora de Portugal Continental*, 1.ª ed. Imprensa Nacional, Lisboa 455 p. ISBN 978-972-27-2880-5

- Carranza, S., Arnold, E. N., & Amat, F. (2004). DNA phylogeny of *Lacerta* (Iberolacerta) and other lacertine lizards (Reptilia: Lacertidae): did competition cause long-term mountain restriction? *Systematics and Biodiversity*, 2, 57-77.
- Carvalho, J. M., Chaminé, H. I., Afonso, M. J., Espinha Marques, J., Medeiros, A., Garcia, S., Gomes, A., Teixeira, J., & Fonseca, P. E. (2005). Productivity and water costs in fissured-aquifers from the Iberian crystalline basement (Portugal): hydrogeological constraints. In J. A. López-Geta, A. Pulido-Bosch, J. C. Baquero, & E. Úbeda (Eds.), *Water, mining and environment Book Homage to Professor Rafael Fernández Rubio. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid* (pp. 193-207).
- CCVE – Centro de Ciência Viva Estremoz, (2020). <https://www.ccvestremoz.com/>
- CE – Council of Europe (1979). *ETS 104 - Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats*. <https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=104>
- Chang, R., & Goldsby, K. A. A. (2013). *Química* (11.ª edição) McGraw-Hill Education.
- Chukanov, N. V., Scholz, R., Zubkova, N. V., Pekov, I. V., Belakovskiy, D. I., Van, K. V., Lagoeiro, L., Graça, L. M., Krambrock, K., Oliveira, L. C. A., Menezes Filho, L. A. D., & Pushcharovsky, D. Y. (2014). Reddingite-group mineral from the Cigana mine, Conselheiro Pena, Minas Gerais, Brazil. *American Mineralogist*, 1-816.
- CISE - Centro de Interpretação da Serra da Estrela, (2012). *Parque Natural da Serra da Estrela*. [Www.cise.pt](http://www.cise.pt); Executado por Ideias Soberbas. <https://www.cise.pt/>
- Correia Neves, J. M., Nunes, J. E., & Sahama, T. G. (1974). High Hafnium Members of the Zircon-Hafnion Series from the Granite Pegmatites of Zambezia, Mozambique. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 48(1), 73-80.
- Costa, R. F. G. (2012). *Caraterização Hidrogeoquímica do Sistema de Captação das Sete Fontes: Origem da Mineralização e Qualidade da Água*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Crato, N., Santos, C. P., & Tirapicos, L. (2006). *A espiral dourada: coelhos de Fibonacci, pentagramas, cifras e outros mistérios matemáticos d'O Código Da Vinci* (3rd ed), Gradiva, 157 pp., Lisboa, ISBN 989-616-116-X.
- Darwin, C. (2009). *A origem das Espécies* (tradução de J. Dá Mesquita Paul; 2.ª edição), Lello Editores, Portugal, (Original work published 1859)
- Decreto n.º 16/2011, 1.ª Série, n.º 101 (2011). Classificação de diferentes monumentos nacionais.
- Decreto Regulamentar 6/2005, (2005). Reclassifica a área de Paisagem Protegida do Litoral de Esposende, passando a designar-se por Parque Natural do Litoral Norte.
- Decreto-Lei 357/87, n.º 19/1993, Série I-A de 1993-01-23 (1987). Regime geral dos arquivos e do património arquivístico.
- Decreto-Lei 565/99, I Série-A N.º 295 (Anexo I) (1999). Regula a introdução na natureza de espécies não indígenas da flora e da fauna.
- Decreto-Lei n.º 140/99, (1999). Preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens.
- Dias, G. (1987). *Mineralogia e Petrologia dos granitos Hercínicos associados a mineralizações Filonianas de Sn-W (Minho Portugal)*, Dissertação de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Dias, G., & Boullier, A. (1985). Évolution tectonique, métamorphique e plutonique d'un sector de la chaîne hercynienne ibérique (Ponte de Lima, Nord du Portugal). *Bull. Soc. Géol. France*, 1(3), 423-434.

- Diretiva 2000/60/CE, (2000). Quadro de ação comunitária no domínio da política da água.
- Diretiva 92/43/CEE, (1992). Preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens.
- Domyan, E. T., & Shapiro, M. D. (2017). Pigeonetics takes flight: Evolution, development, and genetics of intraspecific variation. *Developmental Biology*, 427(2), 241-250. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.11.008>
- Edgar, C. (2016). *Zimbro* [Procuero + Saúde]. <https://www.procuromaissaude.com/2016/11/zimbro.html>
- Eiró, A. M., & Ferreira, C. M. (Eds.). (2005). *À luz de Einstein: 1905-2005*. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Ernst, B. (1991). *O espelho mágico de M.C. Escher*, Benedik Taschen Verlag.
- Espírito Santo, J., & Forjaz, M. A. (2022). *Uma hipótese matemática sobre as janelas do gaveto do Convento dos Congregados em Braga riscadas por André Soares*, resultados não publicados.
- FCTUNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa (2021). Projecto FCTVIVA. <https://www.viva.fct.unl.pt/aves/columba-livia-domestica>.
- Fernandes, F. (2013). Estudo da suscetibilidade à ocorrência de cheias na sub-bacia do Rio Este (Braga, NW Portugal), Projeto de Estágio da Licenciatura em Ciências do Ambiente, Universidade do Minho.
- Ferreira, N., Dias, G., Meireles, C., Braga, A., Francisco, S., Santos, A. (2000), Folha 05-D-Braga, 2.ª Edição – Instituto Geológico e Mineiro, 68 pp.
- Ferreira N. & Vieira G. (1999). Guia geológico e geomorfológico do Parque Natural da Serra da Estrela. Locais de interesse geológico e geomorfológico, 112 pp.; 1 mapa. Parque Natural da Serra da Estrela. Edição Instituto da Conservação da Natureza/Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Feynman, R. (1991). *Uma tarde com o Sr Feynman*. Gradiva, Portugal.
- Flora-On: Flora de Portugal Interactiva. (2023). Sociedade Portuguesa de Botânica. <https://www.flora-on.pt>
- Galvão, L. (2008, maio 4). *O “ouro branco” dos rios*. Diário de Notícias. <https://www.dn.pt/arquivo/2008/o-ouro-branco-dos-rios-998958.html>
- Gomes, P., Botelho, A., & Soares Carvalho, G. (2002). *Sistemas dunares do litoral de Esposende*. Ciência Viva e Universidade do Minho., 112 pp.
- Granja, H. M., & Carvalho, G. S. (2003). Mudanças ambientais na zona costeira do noroeste de Portugal desde o Plistocénico. Holocénico até à actualidade, Ciências da Terra (Special issue): H73-H75.
- Grout, F. F. (1945). Scale models of structures related to batholiths. *Am. J. Sci.*, 243 A, 260-284.
- Guerreiro, T. (2021, outubro 17). O sistema hidráulico subterrâneo de Braga que poucos conhecem Nas Sete Fontes, jornal – O Minho. <https://ominho.pt/as-galerias-hidraulicas-subteraneas-de-braga-que-poucos-conhecem/>
- Honrado, J., Pereira, R., Araújo, R., Santos, G., Matos, J., Alves, P., Nepomuceno Alves, H., Sousa Pinto, I., & Barreto Caldas, F. (2002). Classification and Mapping of Terrestrial and Inter-Tidal Vegetation in the Atlantic Coast of Northern Portugal. Littoral 2002, The Changing Coast. EUROCOAST/EUCC, Porto – Portugal. Ed. EUROCOAST – Portugal.

- ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2000). *Plano Setorial RN 2000*. <http://www2.icnf.pt/Portal/icnf>
- Jansen, J. (2002). *Geobotanical guide of the Serra da Estrela - Parque Natural da Serra da Estrela* (Instituto de Conservação da Natureza).
- Jones, M. E. H., Button, D. J., Barrett, P. M., & Porro, L. M. (2019). Digital dissection of the head of the rock dove (*Columba livia*) using contrast enhanced computed tomography. *Zoological Letters*, 5(17). <https://doi.org/10.1186/s40851-019-0129-z>
- Leite de Vasconcelos, J. (1905). *Religiões da Lusitânia* (Vol. II). Imprensa Nacional.
- Lemos, F. S. (2006). Fonte do Ídolo, Braga. Contexto histórico, monumento e arqueologia. *Monumentos*, 24, 186-197. ed. DGEMN.
- Lemos, F. S. (2008). Antes de Bracara Augusta, *Forum*, 42-43, 203-239.
- Lemos, F. S. (2014). Arqueologia e história do vale das Sete Fontes. *Mínia*, 13(III), 57-63.
- Li, Y., & Schellhorn, H. E. (2007). New Developments and Novel Therapeutic Perspectives for Vitamin C1, *Journal of Nutrition, Critical Review*, 2171-2184. <https://doi.org/10.1093/jn/137.10.2171>
- Libbrecht, K. (2005). The physics of snow crystals. *Reports on Progress in Physics*, 68(4), 855-895.
- Lima, A. S. (1994). *Hidrogeologia de regiões graníticas (Braga NW Portugal)*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Maia, M. (2021). *Contribuição para o desenvolvimento de uma abordagem inovadora na gestão do risco de inundações na cidade de Braga*, Projeto de Estágio da Licenciatura em Geologia, Universidade do Minho.
- Mandelbrot, B. (1998). *Objectos Fractais* (2nd ed.), Gradiva., 301 PP.
- Marchante, E., Freitas, H., & Marchante, H. (2008). *Guia prático para a identificação de plantas invasoras de Portugal Continental*, Imprensa da Universidade de Coimbra., 183 PP
- Marques, J. (1980). D. Fernando da Guerra e o abastecimento de água à cidade de Braga no 2.º quartel do século XV. *Mínia*, 3(2), 127-138.
- Martins, A., Rosa, J., & Guerreiro, S. (2022). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2022)*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
- Martins, M., Meireles, J., Fontes, L., Ribeiro, M., Magalhães, F., & Braga, C. (2011). Água e o património cultural da região de Braga, *Forum*, 46, 5-36.
- Martins, M., Meireles, J., Fontes, L., Ribeiro, M., Magalhães, F., & Braga, C. (2012). The water in the city of Braga from Roman Times to the Modern Age. In *Water shapes: strategie di valorizzazione del patrimonio culturale legato all'acqua all'acqua*, Palombi Editori., pp. 65-80.
- Mendes, B., & Oliveira, J. F. (2004). *Qualidade da água para consumo humano*, Lidel, Edições Técnicas, 624 pp.
- Miranda, C., Ladendorff, N., & Knöbl, T. (2014). Percepção da população sobre a participação dos pombos (*Columba livia domestica*) na transmissão de zoonoses. *Atas de Saúde Ambiental – ASA*, 2(1), 23-28.
- Monteiro, M. H. (Ed.). (2001). *Rosa do Mundo – 2001 Poemas para o Futuro* (3rd ed.). Assírio & Alvim (editores).

- Morais, A. (2015). Poio do Judeu [CLOUDSIDEA | World Press], In *Museu Virtual de manteigas*.
- MPL – Município de Ponte de Lima (2020). *Lagoas de Bertandos e S. Pedro d'Arcos*. <https://lagoas.cmpontedelima.pt/>
- Oliveira, E. P., & Silva, L. M. (2014). *Olhares sobre André Soares*, vol. 2, https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/63152/1/AndreSoares_capelaSenhoraAparecida.pdf
- Oliveira, J. M., Maia, M. O., & Baumes, R. (2003). Caracterização aromática de vinhos das castas Loureiro e Alvarinho: Evolução durante a conservação. *6.º Encontro de Química dos Alimentos*, 1-4.
- Pamplona, J., Leal Gomes, C. L., & Dias, P. (2006). Interferência entre a deformação regional varisca e a instalação de granitóides – implicações estruturais na implantação dos campos de aplito-pegmatitos (Minho, NW Portugal). *VII Congresso Nacional de Geologia, III*, 1189-1192.
- Pamplona, J., Forjaz, M. A., Almeida, M., Neves, I. C., Mina, I., & Ferreira, P. (2009). Ciência com Vistas – Uma Vis(i)ta Multidisciplinar - Guia de Campo de Professor (Pamplona, J. et al. eds.). *Projeto Sentidos da Ciência* – Escola de Ciências, Universidade do Minho, ISBN 978-989-20-1494-4.
- PBS-Eons (2021, Feb. 24). *The Genes We Lost Along the Way*. In, <https://www.pbs.org/video/the-genes-we-lost-along-the-way-zg49tv/>
- Pilegaard, K., Ramussen, L., & Gydesen, G. (1979). Atmospheric Background Deposition of Heavy Metals in Denmark Monitored by Epiphytic Cryptogams, *Journal of Applied Ecology*, 16, 843-853.
- Pinho, J., Santos, C., & Sampaio, G. (2020). *Árvores Indígenas em Portugal Continental. Guia de utilização* (I. P. Edição 2020 – Dia Internacional das Florestas), Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- Portaria n.º 576/2011, n.º 110, 2.ª série (2011). ZEP – Zona Especial de Proteção.
- Ramalho, C (2013, Abril 7) Herbario da Unniversidade de Coimbra – Flora Portuguesa; Famílias – Compostas. The Wayback Machine – https://web.archive.org/web/20130407165247/http://www.uc.pt:80/herbario_digital/Flora_PT/Familias/compostas
- Ribeiro, M. C. F., & Martins, M. (2012). *Contributo para o estudo do abastecimento de água à cidade de Braga na Idade Moderna: o livro da Cidade de Braga (1737). Caminhos da água: paisagens e usos na longa duração* (pp. 179-222). Centro de Investigação Transdisciplinar “Cultura, Espaço e Memória” (CITCEM), <https://hdl.handle.net/1822/19871>
- Ribeiro, V. P. (2004). *Cartografia Automática de Riscos Naturais Aplicada ao Território Abrangido pelo PDM de Braga*, Seminário de Investigação em Riscos Naturais, Departamento Geografia, Universidade do Minho.
- Rodrigues, M. L. A. (2012). *Hidrodinâmica do Sistema de Captação das Setes Fontes: Contributo para o Ordenamento do Território do Município de Braga*, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho.
- Rodríguez-Colmenero A (2006) La “Fonte Do Ídolo” (Braga), Santuario Rupestre de uma Ciudad Romana (texto inédito), Forum 42-43, pp. 210-213.
- Sande Silva J., coordenação editorial (2007) *Guia de Campo. As árvores e os arbustos de Portugal continental*. Público, Comunicação Social, SA. e Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento. 462 pp.

Sari, B., Karatepe, B., & Kara, M. (2008). Parasites of Domestic (*Columba livia domestica*) and (*Columba livia livia*) Wild Pigeons in Nigde,Turkey. *Bull Vet Inst Pulawy*, 52, 551-554.

Seaward, M. R. D. (1993). Lichens and sulphur dioxide air pollution: field studies. *Environmental Reviews*, 1, 73-91.

Serafim, T. (2018, May 31). *Há um projecto que quer salvar a enguia-europeia da extinção*. PÚBLICO. <https://www.publico.pt/2018/05/31/ciencia/noticia/ha-um-projecto-que-quer-salvar-a-enguia-europeia-da-extincao-1832744>

Silva, P. (2006). Projecto de Musealização da Fonte do Ídolo: um novo monumento para a cidade. *Monumentos Ed. DGEMN*, 24, 201-203.

SIPA – Sistema de Informação ara o Património Arquitetónico (2021) <http://www.monumentos.gov.pt/>

Smith, R. C. (1973) André Soares, Lisboa, Livros Horizonte.

Spennemann, D. H. R., & Watson, M. J. (2017). Dietary habits of urban pigeons (*Columba livia*) and implications of excreta pH – a review. *European Journal of Ecology*, 3(1), 27-41. <https://doi.org/10.1515/eje-2017-0004>

Teixeira, H. (2012). *Sistemas de abastecimento e drenagem de água a Bracara Augusta: aquedutos, canalizações e cloacas*. [Relatório de estágio/Arqueologia. Universidade do Minho, Braga].

USGS – U.S. Geological Survey's – Water Science School (2019) <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/o-ciclo-dagua-water-cycle-portuguese>

Vasconcelos, G., Lourenço, P. B., Alves, C. A. S. & Pamplona, J. (2009) Compressive Behavior of Granite: Experimental Approach, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21(9): [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561)

Vieira, J. M. P., Duarte, A. A. L. S., & Ramisio, P. J. (2018). Sete Fontes: a Challenge to Promote the Heritage Legacy and Facing Water Sources Scarcity in the city of Braga-Portugal. *Trends in Civil Engineering and Its Architecture*, 2(1). <https://doi.org/10.32474/tceia.2018.02.000129>

Vilar, C. (2006). *O De Crepusculis de Pedro Nunes*, Centro de Matemática da Universidade do Minho, Braga. 334 pp.

WMO – World Meteorological Organization (2011). *Guide to Climatological Practices* (Vol. 100). World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=5668#.Y3kIIOzP3Q0

Glossário

A

Abaxial – que está fora do eixo (do corpo)

Acantáceas – plantas herbáceas ou arbustivas da família Acanthaceae, representadas em Portugal por uma espécie do género *Acanthus*, vulgarmente conhecida por erva-gigante

Ácido carboxílico – ácido que contém o grupo funcional -COOH

Ácido diprótico – ácido que se pode ionizar produzindo dois protões por molécula

Acreção – aumento em tamanho ou quantidade como resultado da acumulação gradual de algo; (Astronomia) hipótese referente ao nascimento e crescimento de planetas por agregação de poeira estelar e corpos menores (e.g., asteróides) atraídos gravitacionalmente e incorporados na massa do planeta em desenvolvimento; (Geologia) processo de aglomeração ou aglutinação horizontal de massas continentais menores a um continente, geralmente nas margens ativas, devido à deriva de placas tectónicas

Alcalóide – substância orgânica azotada, com propriedades alcalinas e estrutura geralmente heterocíclica (exemplos: imperialina, galantamina e mescalina)

Aldeído – composto com o grupo funcional carbonilo e de fórmula geral RCHO, em que R pode ser um átomo H, ou um grupo alquilo ou arilo

Aerênquima – tecido parenquimatoso constituído por células túrgidas ou grandes espaços intercelulares, que formam cavidades no interior das plantas, por onde circula ar

Alóctone – terreno geológico transportado, em regra a grande distância, para ambientes deposicionais ou tectónicos não coincidentes com o seu local de origem

Alotrópica – diferentes formas em que o mesmo elemento químico se pode apresentar (exemplos: carbono, oxigénio, enxofre, entre outros)

Aluvião – depósito recente de sedimentos clásticos inconsolidados (cascalho, areia e/ou silte-argila) que se situa ao longo dos sistemas fluviais e nas desembocaduras dos cursos de água (planícies aluvionares e deltas)

Amoitar – meter em moita; ocultar

Anádromo – peixe (ou outro animal aquático) que se desenvolve até ao estado adulto no mar, subindo os rios para a desova (exemplo: o salmão)

Anatídeos – aves aquáticas palmípedes da família Anatidae que inclui patos, marrecos, etc., e cujo género-tipo é *Anas*

Anfípodes – grande grupo de crustáceos geralmente de pequenas dimensões, lateralmente comprimidos e com dois tipos de apêndices locomotores (exemplo: a pulga-do-mar ou da areia)

Angiospérmicas – espermatófitas com gineceu ou pistilo constituído por estigma e ovário dentro do qual se desenvolvem os óvulos; sementes encerradas em pericárpio fechado

Anteras – parte terminal dos estames de uma flor (órgãos reprodutores masculinos ou androceu) que contém os sacos polínicos com os grãos de pólen

Antese – período de desenvolvimento das peças florais em que a flor se mostra apta para a polinização; momento de abertura de uma flor

Antiforme – dobra com convexidade virada para cima ($f''(x) < 0$)

Aquífero – formação ou corpo geológico que contém água podendo cedê-la em quantidades economicamente aproveitáveis

Aquífero livre – aquífero que não é limitado superiormente por uma camada impermeável. O limite superior é constituído por uma superfície saturada onde a água se encontra à pressão atmosférica

Arcose – rocha sedimentar detrítica constituída por quartzo, feldspatos (>25%), alguns clastos, matriz (<15%) constituída por minerais de argila e micas e cimento silicioso ou carbonatado

Arenário – que se desenvolve em terrenos arenosos

Asteráceas – plantas com inflorescência em capítulo, também conhecidas por compostas, pertencem à família Asteraceae (=Compositae) que inclui milhares de espécies espontâneas ou cultivadas

Autóctone – organismo ou indivíduo que habita o local onde nasceu; natural de; aborígene; indígena

B

Baixa-mar – nível mínimo de uma maré vazante

Basidiósporos – esporos produzidos na estrutura reprodutora complexa de fungos

Bêntico ou bentónico – relacionado com o substrato ou fundo de oceanos e de ecossistemas dulciaquícolas; organismo que habita e/ou se alimenta no substrato onde se arrasta ou permanece agarrado (fixo)

Biomimética – área da ciência que tem por objetivo o estudo das estruturas biológicas e das suas funções, procurando aprender com a Natureza, suas estratégias e soluções, e utilizar esse conhecimento em diferentes domínios da ciência.

Biótopo – habitat de uma dada biocenose; região que apresenta regularidade nas condições ambientais e nas populações animais e vegetais que nela habitam

Bolsada – corpo filoniano, não tabular, com geometria irregular

Bouça – terreno delimitado em que se criam pinheiros, eucaliptos, carvalhos e mato; terreno inculto (*regionalismo*)

Bráctea – estrutura foliácea associada às inflorescências das angiospérmicas, situa-se na base da “flor” e protege-a quando esta está fechada

Briófitas – plantas avasculares criptogâmicas, com rizóides, caulóides, filóides e arquídeos que produzem esporos; também designadas muscíneas compreendem essencialmente os musgos e hepáticas (Do gr. *brýon*, «musgo» + *phytón*, «planta»)

C

Cálice – conjunto de sépalas (folhas modificadas), apêndice estéril com função de proteção

Capítulo – inflorescência típica das compostas que possui as flores inseridas num receptáculo discóide ou arredondado protegido por brácteas

Cariofiláceas – plantas herbáceas dicotiledóneas, espontâneas e de cultura, pertencentes à família dos cravos (*Caryophyllaceae*)

Carqueja – em Portugal é o nome vulgar de uma planta espontânea e muito usada como acendalha ou combustível; leguminosa subarborescente, sem folhas, da família *Fabaceae* (= *Leguminosae*)

Catádromo – peixe (ou outro animal aquático) que migra da água doce para o mar na época de reprodução (exemplo: a enguia)

Capacidade calorífica – quantidade de calor necessária para elevar de um grau Celsius a temperatura de uma dada quantidade de substância

Calor específico – quantidade de energia calorífica necessária para elevar de um grau Celsius a temperatura de um grama da substância

Carta sinótica – meteorologia sinótica é a parte da meteorologia que estuda uma grande porção horizontal da atmosfera terrestre, abrangendo a análise de imagens de satélite e mapas, possibilitando a observação de fenómenos climáticos e meteorológicos de grande escala (como depressões, ciclones e anticiclones)

Caulino – depósito mineral de cor branca, ou quase branca, que contém minerais de argila, sendo o mineral mais representativo a caulinite (argila resultante da alteração dos feldspatos alcalinos e micas). Este tipo de depósito tem importância económica, nomeadamente pela sua utilização como matéria prima para a indústria cerâmica

Cervunais – prados de gramíneas onde predomina o cervum (*Nardus stricta*), planta herbácea, espontânea nas regiões altas do centro de Portugal, também conhecida por nardo

Charneca – terreno inculto e árido onde há apenas vegetação xerófila rasteira, essencialmente constituída por Ericáceas

Ciclóstomos – vertebrados pisciformes, desprovidos de maxilas móveis, também denominados ágnatos e agnatóstomos (exemplo: a lampreia)

Cirrípedes – *taxon* de crustáceos aberrantes, cujos adultos sésseis se alimentam por filtração e possuem placas calcárias que os protegem (exemplos: os percebes e as cracas)

Cistáceas – plantas subarborescentes herbáceas da família Cistaceae, que se enchem de flores actinomorfas (de simetria radiada) na altura da floração (exemplos: a esteva e o sargaço)

Coníferas – *taxon* de gimnospérmicas que inclui árvores e arbustos com estruturas reprodutoras designadas por cones ou pinhas (de forma cónica), com folhas geralmente pequenas e em forma de agulha que, na maioria dos casos, se conservam verdes todo o ano (vegetação perene).

Coraciiformes – ordem de Aves geralmente muito coloridas e semelhantes aos passeriformes

Clasto – fragmento de rocha, mineral ou fóssil produzido a partir da desintegração mecânica ou química de uma massa rochosa

Colagénio – proteína de importância fundamental na constituição da matriz extracelular do tecido conjuntivo, sendo responsável por grande parte das suas propriedades físicas

Conglomerado – rocha sedimentar detrítica consolidada e formada por clastos (> 2 mm e rolados) heterométricos de outras rochas, podendo ser ou não poligénica

Corimbo – modalidade de inflorescência em que os pedúnculos florais, nascendo a diversos níveis da haste, se elevam todos à mesma altura

Crepúsculo – luz intermédia entre o dia e a noite que ocorre, em cada lugar, antes do nascimento do sol (é o *crepúsculo matutino*, também dito, *dilúculo*) ou depois do ocaso (é o *crepúsculo vespertino*)

Crioclastia – processo de desagregação das rochas por ação do gelo

Crustáceos – *taxon* de artrópodes com exoesqueleto quitinoso mais ou menos endurecido com carbonato de cálcio e que possuem dois pares de antenas (apêndices articulados, cefálicos), (exemplos: a lagosta e o camarão)

D

Depressão – depressão de um ponto da semiesfera inferior, relativamente a um horizonte, é a medida angular do arco do círculo máximo, que contém o eixo zénite-nadir e aquele ponto, compreendido entre o ponto e o horizonte

Diaclases – estruturas planares que resultam da rutura das rochas, características de um comportamento frágil ou semi-frágil, nas quais não se evidencia movimento ou movimento apreciável entre os blocos rochosos que dividem

Diapirismo – processo físico em que corpos fluidos com morfologias subesféricas (em forma de gota invertida) ascendem no interior de corpos mais densos, obedecendo à lei de Stokes

Dicotiledóneas – plantas angiospérmicas com embrião de dois ou mais cotilédones, raiz apumada e, em regra, folhas lateralínervas

Disjunção esferoidal – Divisão das rochas em corpos geométricos mais ou menos esferoidais em consequência de fenómenos de consolidação magmática, de meteorização, entre outros. A disjunção esferoidal, também designada disjunção em bolas, pode observar-se em rochas magmáticas, nomeadamente em dioritos, granodioritos e granitos

Dolerito – rocha magmática hipabissal, melanocrata, de textura fanerítica (dimensão do grão <1 mm) – por vezes ofítica, de composição química máfica. Apresenta como minerais essenciais a plagioclase (cálcica), a hornblenda, a piroxena e a olivina e como minerais acessórios – a magnetite, a ilmenite, a apatite e a calcopirite

Duna barcane – elevação em crescente-lunar com a convexidade mais suave virada para o vento

Dureza da água – a dureza total de uma água também designada por grau hidrotimétrico, reflete a presença nessa água de sais de cálcio e magnésio, sendo os catiões de cálcio (Ca^{2+}) e de magnésio (Mg^{2+}) os principais iões levados em consideração na sua medição

E

Eclítica – órbita do Sol, no seu movimento anual, em volta da Terra, num plano, com inclinação $23^{\circ}28'$, sobre o plano do equador

Ecossistema lótico – ecossistema de águas continentais correntes, como por exemplo rios, cursos de água e nascentes

Ecótono – região de transição entre duas comunidades ecológicas adjacentes possui, para além de organismos característicos, organismos de cada uma das comunidades adjacentes

Ectotérmico – animal que depende de uma fonte de calor exterior para regular a temperatura corporal, vulgar e incorretamente conhecidos por “animais de sangue frio” (exemplos: peixes, anfíbios e répteis)

Edáfico – relativo à constituição físico-química dos solos e sua importância para a alimentação das plantas

Edémico – organismo ou indivíduo nativo e naturalmente exclusivo de uma dada região geográfica

Eflorescências salinas – sais minerais que ocorrem na superfície das rochas aplicadas em edifícios, podendo ter origem diversa (e.g., cimento e urina)

Emulsão – sistema constituído por dois líquidos essencialmente não miscíveis, um dos quais (fase dispersa) está subdividido em pequeníssimas gotas no seio do outro (fase contínua)

Encrave – rocha ou agregado mineralógico com forma e dimensão variadas, envolvido por uma rocha magmática durante a sua cristalização e arrefecimento, da qual difere composicionalmente e/ou texturalmente

Entropia – Medida direta do grau de desordem de um sistema

Epifauna – fauna bentónica que vive à superfície do substrato ou sedimento marinho, ou à superfície de outros organismos ou objetos sendo característica da zona intertidal

Epissienitização – processo magmático tardio em que um granito já cristalizado é afetado pela intensa circulação de fluidos nas fraturas. Durante este processo geoquímico, o quartzo e a biotite são substituídos por feldspatos e dá-se a precipitação do ferro, responsável pelo tom de avermelhado a rosado da rocha

Especiação – formação de novas espécies de seres vivos (novas populações) por ocorrência de processos de diversificação genética e multiplicação numa população original

F

Fator climático – fator que condiciona o tipo de clima e influencia os elementos meteorológicos (exemplos: altitude, latitude, continentalidade, maritimidade, massas de ar, correntes marítimas, relevo, vegetação e urbanização)

Fanerítica – termo textural que designa uma rocha de granularidade de fina-média a grosseira (exemplo: granito) – minerais identificáveis em amostra de mão

Feral – animal que retornou à condição selvagem (exemplo: pombo)

Filito – rocha metamórfica de granularidade muito fina, foliada, constituída essencialmente por micas (moscovite), clorite e quartzo

Foliação – descontinuidade mecânica das rochas gerada durante um episódio de deformação (e.g., por orientação preferencial de planos de fratura – clivagem de fratura; por orientação preferencial de minerais lamelares – xistosidade)

Formação geológica – é um conjunto de rochas (unidade litoestratigráfica) que apresenta características próprias, relativamente à sua composição e posição estratigráfica

Formação de Malpica do Tejo – formação geológica do Câmbrio, pertencente ao grupo da Beiras, constituída por grauvaques e conglomerados

Fraturação Alpina – fraturação relativa ao período da orogenia Alpina

Frente de onda – conjunto de todos os pontos contíguos na mesma fase de vibração

G

Gálbulo – infrutescência (ou fruto, para alguns autores) subesférica, pequena, em regra lenhosa, com escamas peltadas, como nos ciprestes

Geóide – forma geométrica da Terra

Género-tipo – *taxon* utilizado como tipo ou padrão nomenclatural para aplicação do nome científico do *taxon* de categoria superior. Um tipo é um elemento no qual a descrição associada à publicação original do dado nome se baseou, ou é considerada como se tendo baseado. De acordo com os Códigos de Nomenclatura Biológica o tipo de um *taxon* do grupo-família é um género, o tipo de um *taxon* do grupo-género é uma espécie e o tipo de um *taxon* do grupo-espécie é um espécime.

Giestas – plantas leguminosas subarborescentes da família Fabaceae (=Leguminosae), também conhecidas por giesteiras e giesteiros, espontâneas e frequentes nos matos de Portugal.

Gimnospérmicas – plantas espermatófitas desprovidas de estigmas com óvulos não encerrados em ovário fechado (Do gr. *gymnós*, «nu» + *spérma*, «semente»)

Granoblástica – textura na qual os cristais ocorrem equidimensionais e bem suturados

Granodiorito – rocha magmática intrusiva ou plutónica, mesocrata, de textura fanerítica e de composição química intermédia. Apresenta como minerais essenciais a plagioclase (oligoclase), o feldspato potássico, o quartzo, a biotite e a hornblenda e como minerais acessórios – a magnetite, a ilmenite, a apatite e o zircão

Grauvaque – rocha sedimentar detrítica, arenítica, constituída por grãos angulosos a subangulosos de quartzo e feldspato e pequenos fragmentos da rocha mãe. Apresenta ainda minerais máficos que lhe confere uma cor esverdeada a cinzenta e a matriz tem a granularidade das argilas (<4 µm)

H

Halófito – vegetação ou planta que vive em habitats salinos

Heliófito – vegetação ou planta que necessita de luz solar, sendo pouco ou nada tolerante a condições de sombra vivendo de preferência ao sol

Hemípteros – insetos com armadura bucal picadora-sugadora, geralmente de metamorfose incompleta, com hemiólitos ou com quatro asas membranosas (Do gr. *hemí*, «meio» + *pterón*, «asa»)

Hidroclastismo – rocha submetida a ciclos de humedecimento e secagem, que a desagregam. Esta desagregação é induzida pela água e gera uma escamação superficial, por vezes aproveitando planos de fracturação existentes na rocha

Hifas – filamentos de células que formam o micélio dos fungos e o microbionte dos líquenes

Higrófitas – vegetação ou planta que vive normalmente na água ou em habitats húmidos ou encharcados

Higroscópico – capacidade de absorver vapor de água do ar

Hipabissal – rocha ígnea formada a pequena ou média profundidade

I

Ichnofósseis – vestígios da presença e atividade de animais preservadas nas rochas sedimentares e metamórficas (exemplo: marcas de locomoção – pegadas, habitação – galerias)

Invernada – inverno rigoroso e prolongado; invernada

Isópodes – grupo de crustáceos que se caracterizam essencialmente pela posse de patas semelhantes entre si; este grupo compreende algumas formas terrestres (exemplo: o bicho-da-conta)

L

Lacertídeos – répteis sáurios, de membros relativamente robustos e dedos com extremidades estreitas da família Lacertidae

Leucogranitos – granitos (de cor clara) de origem crustal, peraluminosos e moscovíticos

Limícola – que vive no lodo (Do lat. *limu-*, «lodo» + *colère*, «viver»)

M

Matagal – bosque extenso e cerrado; extensão coberta de mato

Meandriforme – curso de água que apresenta aspeto sinuoso

Medas – montão cónico de feixes de cereais, palha, colmo, caruma, sargaço...

Meiofauna – fauna intersticial até 1 mm de comprimento

Melanoidinas – família de compostos químicos formada quando o açúcar e os aminoácidos se combinam (através da reação de Maillard) a uma temperatura em torno de 100°C

Meteorização – mecanismo físico-mecânico e químico que conduz à alteração das rochas

Microfauna – animais de tamanho muito reduzido, praticamente invisíveis a olho nu (tamanho inferior a 0,2 mm). Os protozoários e os nemátodes são os principais representantes da microfauna do solo

Moreia – depósitos de blocos e matacões (poios) mal calibrados, transportados e libertados pelos glaciares no decurso do seu movimento. Em função do seu posicionamento as moreias designam-se por frontais, laterais e de fundo

Monzogranito – subtipo dentro da classificação geral dos diferentes tipos de granito. Rochas são caracteristicamente félsicas ($\text{SiO}_2 > 73\%$, e $\text{FeO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2 < 2,4\%$), fracamente peraluminosas ($\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 0,98-1,11$) e que contêm a ilmenite, a esfena, a apatite e o zircão como minerais acessórios. Embora o intervalo de composição seja pequeno, define uma tendência de diferenciação essencialmente controlada pela fracionamento da biotite e da plagioclase

Mustelídeos – mamíferos carnívoros de pequeno e médio porte da família Mustelidae (exemplo: a lontra)

O

Ofítica – termo textural que designa uma rede, constituída por plagioclases entrecruzadas, preenchida, ou quase, por material vítreo e piroxenas

Orogenia – complexo processo de formação das cadeias montanhosas com intensa deformação das massas rochosas com espessamento e encurtamento crustal; metamorfismo; intrusão de grandes plutões graníticos; vulcanismo

Orófito – planta própria das montanhas altas

Orogenia Varisca (Hercínica) – orogenia que decorreu na Europa e que se estendeu pelo Carbonífero e o Pérmico (350–290 Ma)

Orogenia Alpina – orogenia que se iniciou há cerca de 215 milhões de anos (e que ainda decorre) responsável pela génese das cadeias montanhosas dos Alpes e dos Pirinéus

P

Panícula – inflorescência em forma de cacho (rácimo, racemo) invertido – os ramos ou pedicelos das flores que se inserem em diferentes níveis no eixo comum ou ráquis, vão decrescendo em tamanho da base para o ápice, razão por que a panícula assume forma piramidal

Pascigo – sítio onde o gado pasta; pastagem

Peraluminosas – rochas ígneas em que a proporção molecular de óxido de alumínio é superior à dos óxidos de potássio e dos óxidos de sódio combinados

Perianto – conjunto das peças florais que constituem o involúcro da flor, e que pode estar diferenciado em cálice e corola

Periglacial – relativo a processos, condições, áreas, climas, formas de relevo que se encontram na periferia de um antigo glaciar ou de glaciares, ou lâminas de gelo atuais influenciados pela temperatura do gelo

Polinómio interpolador – dada uma função real de variável real f , o polinómio interpolador de grau n verifica $p(x_i) = f(x_i)$, $1 \leq i \leq n$, para x_i pertencente ao domínio de f

Porfíroide – aparência das rochas ígneas onde é visível uma clara e diferenciação no tamanho dos cristais que as compõem. Estas apresentam cristais de grandes dimensões e de forma bem definida (fenocristais) no seio de uma matriz com textura vítrea, afanítica (em que não se observam grãos) ou fanerítica (em que se observam os grãos)

Preamar ou Preia-mar – nível máximo de uma maré cheia

Pressão atmosférica – pressão exercida pela atmosfera da Terra

Pressão e temperatura padrão normais (PTPN) – as condições 25°C (ou 298 K) e 1 atm

Protólito – rocha que foi submetida a um episódio metamórfico ou metassomático, antes de sofrer um episódio de recristalização e consequente alteração mineralógica e textural

Q

Quartzito – rocha metamórfica granoblástica com mais de 75% de quartzo, cujo protólito é um arenito quartzoso ou, menos comum, um tufo ou riólito silicioso

R

Ranunculáceas – plantas dicotiledóneas com flores vistosas, herbáceas (raramente lenhosas), representadas em Portugal por vários géneros e bastantes espécies da família Ranunculaceae

Regressão marinha – rebaixamento do nível do mar relativamente ao continente, como consequência de levantamento tectónico (*up-lift*) ou de períodos glaciares

Ripícola – vegetação que se desenvolve nas galerias ribeirinhas, cursos de água, lagos ou albufeiras

Ritidoma – casca seca e morta das árvores e dos arbustos, tipicamente fendida e mais ou menos rugosa, que constitui uma camada protetora

Rizomatoso – que possui ou produz rizoma; caule alongado, subterrâneo, com folhas reduzidas a escamas

Rizosfera – zona do solo que envolve as raízes das plantas que interagem de modo dinâmico com microrganismos deste micro-habitat

Rocha máfica – rocha ígnea básica, melanocrata, rica (60-90%) em minerais ferro-magnesianos (anfíbolos, piroxenas, biotite e olivinas) e comparativamente pobre em sílica

Ruderal – comunidades vegetais que se desenvolvem em ambientes fortemente perturbados pela ação humana

Rupícola – rupestre; vegetação que se desenvolve sobre substrato rochoso, ou seja, sobre afloramentos de rocha fragmentada ou não

S

Sapal – terreno alagadiço; brejo; paul

Sargaço – (i) algas feofíceas que bóiam no mar, por vezes dão à costa onde são apanhadas para adubo – moliço, argaço, algaço, bodelha – designações associadas às Fucáceas, nome vulgar da família Fucaceae; (ii) arbusto de folhas estreitas um pouco viscosas, frequente em Portugal nas colinas secas e nos pinhais, onde fazem parte da caruma (regionalismo), sendo designadas por Cistáceas, nome vulgar da família Cistaceae

Scolithus – icnofósseis tubulares ou vermiformes que se encontram nos quartzitos do Paleozóico (Câmbrico e Ordovícico). Cavidades, normalmente de 0.2-1.0 cm de diâmetro, deixadas por vermes marinhos e, posteriormente, preenchidas por quartzo

Sinantrópica – espécies animais e vegetais que se instalam nos povoamentos humanos beneficiando das condições ecológicas criadas pela atividade humana no processo de urbanização

Siltito – rocha sedimentar detrítica formada essencialmente por silte (granulometria: 0.002 – 0.0625 mm)

Sublimação – transição direta do estado sólido ao estado gasoso, sem passar pelo estado líquido

Supergénica – que ocorre à superfície, por exemplo, a neoformação de minerais

T

Teleósteos – peixes com esqueleto fortemente ossificado e cujas escamas são ciclóides ou ctenóides (do gr. téléios, «completo» +ostéon, «osso»)

Tirso – inflorescência em forma de cacho com a parte média mais larga, em virtude dos pedúnculos desta zona serem os mais compridos

Tojo – planta arbustiva, com diferentes tipos de espinhos (de finos a robustos) e algumas das folhas reduzidas, frequente em Portugal (muitas vezes cultivada) e muito usada para estrumes, camas do gado, etc.; nome vulgar de várias espécies do género *Ulex* (Fabaceae), a maioria das quais da Península Ibérica

Tor – acumulação de blocos de geometria prismática (frequentemente com as arestas arredondadas) *in situ*, respeitando os sistemas de diaclases das rochas

Transgressão marinha – elevação do nível do mar relativamente ao continente, como consequência da subsidência da bacia de sedimentação ou de períodos interglaciares

Transumância – deslocação periódica de gado ovino acompanhado pelos pastores, no verão, dos vales e planícies (onde os pastos desapareceram) para as altas pastagens das montanhas (transumância ascendente), e no começo do inverno, destas para as zonas baixas (transumância descendente), onde os pastos reapareceram

Turfa – rocha sedimentar carbonizada, com elevado teor de humidade, combustível quando seca, habitualmente fibrosa e rica em restos vegetais e que constitui a matéria-prima principal para a formação de carvões

U

Up-lift – levantamento geológico por ação da tectónica compressiva

UTC – Tempo Universal Coordenado (principal padrão da hora)

V

Variáveis meteorológicas – a temperatura do ar, a troca de radiação térmica com o meio envolvente, a velocidade do vento e a humidade atmosférica

Várzea – planície cultivada nas margens de rio; campina; chã

Veiga – planície fértil, várzea; terra de cultura de centeio ou milho seródio (regionalismo)

Veios de segregação metamórfica – veios segregados, em condições de fusão parcial das rochas, por colheita de material quartzoso e hiperaluminoso

Viscosidade cinemática – grandeza definida pela razão entre a viscosidade dinâmica e a densidade absoluta do fluido (massa específica)

Viscosidade dinâmica – grandeza que representa a existência de esforços tangenciais nos líquidos em movimento e é proporcional à força, à área da superfície e ao gradiente da velocidade relativa

Vórtice – movimento de rotação de um fluido em torno de um eixo, em que as linhas de corrente são circulares ou espirais

Z

Zonação – distribuição delimitada de uma população, que atinge um maior número de indivíduos no substrato que lhe é mais favorável, podendo formar uma autêntica cintura paralela ao nível do mar e com uma altura característica

Zoonose – doenças infecciosas transmitidas de animais para pessoas, que podem ser causadas por bactérias, parasitas, fungos ou vírus

Ciências com Vistas, também se pode ler *Visitas com Ciência*, pretende tornar possível que um certo (científico) olhar paire e aterre em espaços naturais, transfigurando-os e, assim, revelando-os como fonte de conhecimentos e aprendizagens de cariz multidisciplinar. Neste sentido, foram selecionadas algumas paragens, quer urbanas (Ponte de Lima e Braga), quer ao longo das serras (Espinho-Sameiro, Arga e Estrela) e da linha do mar (Litoral de Esposende e da Amorosa), de modo a que a Natureza se vá desvendando, às diferentes Ciências, em ângulos, ora (quase) geometricamente iguais, ora complementares.



UMinho Editora



Universidade do Minho

ISBN 978-989-9074-74-3



9 789899 074743 >