Biologia e Geologia

Componente de Biologia

11.º ano

11

Ministério da Educação

Este livro foi aprovado pelo Ministério da Educação para utilização obrigatória nas escolas

ONLINE +OFFLINE +DOWNLOAD

Manual Digital na app **EV Smart Book** e em **www.escolavirtual.cv**

escola virtual
um serviço Porto Editora

Explora o manual digital do teu livro

Exercícios Interativos
Para resolução com *feedback* imediato.

Vídeos e interatividades
Explicam a matéria de forma motivadora.

Jogos
Exploram os conceitos curriculares de forma lúdica.

Áudios
Dão vida aos textos e ajudam a reforçar as competências linguísticas.

QuizEV
Desafiam-te a mostrares o que sabes. Podes, também, jogar com os teus amigos.

www.escolavirtual.cv

Biologia e Geologia

Componente de Biologia

11.º ano

Manual Revisto

O presente manual foi revisto e validado pela Universidade de Cabo Verde.

Explora o teu manual digital

https://escolavirtual.cv

Acesso e condições de utilização em
www.escolavirtual.cv

Ministério da Educação

Podes também aceder ao teu livro através da **app EV Smart Book**

DISPONÍVEL NO Google Play

Descarregar na App Store

Conhece o teu manual

O manual está organizado de modo que consigas ter sucesso e aprender de forma autónoma. Está dividido em duas componentes – Biologia e Geologia – organizadas em temas. Cada tema contribuirá para desenvolveres saberes, capacidades, atitudes e valores, que te permitirão atingir os objetivos da disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano.

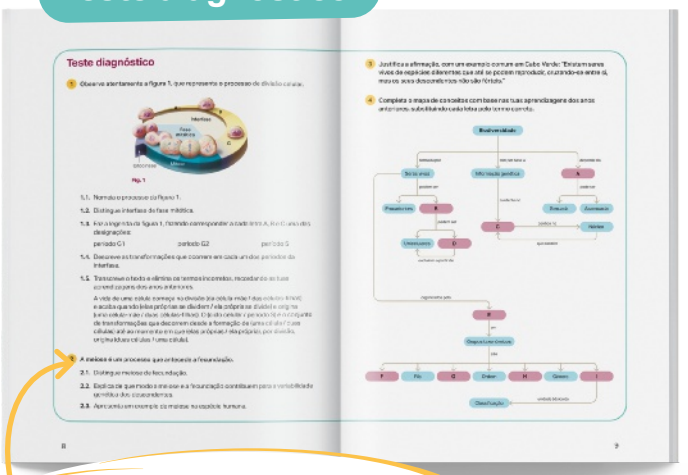
Cada componente inicia com…

Separador de Biologia

Legenda da fotografia relacionada com a componente de Biologia

Personalidade cabo-verdiana que investiga na área da Biologia

Teste diagnóstico



Questões sobre as aprendizagens dos anos anteriores

Cada tema é composto por subtemas

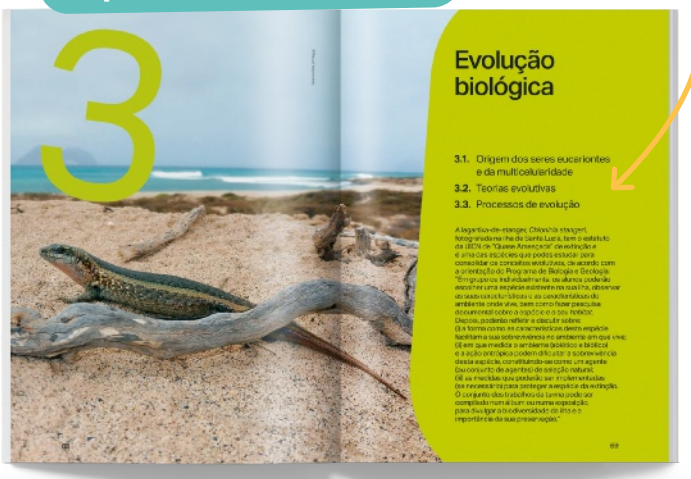
Separador do tema

Subtemas

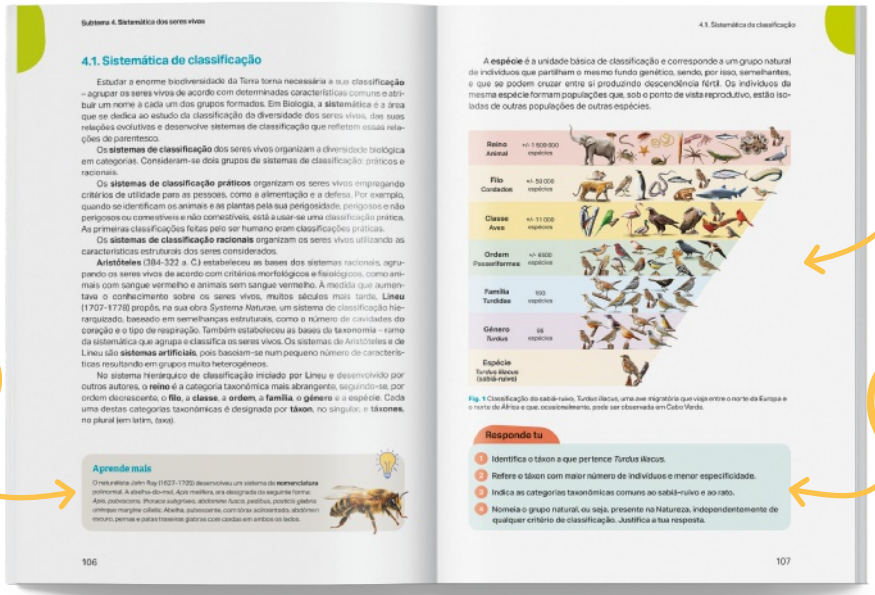
Objetivos do tema

Conteúdos do subtema

Separador do subtema



Desenvolvimento de conteúdos



4.1. Sistemática de classificação

Estudar a enorme biodiversidade da Terra torna necessária a sua **classificação** – agrupar os seres vivos de acordo com determinadas características comuns e atribuir um nome à cada um dos grupos formados. Em Biologia, a **sistemática** é a área que se dedica ao estudo da classificação da diversidade dos seres vivos, dos seus relações evolutivas e desenvolve sistemas de classificação que refletem essas relações de parentesco.

Os **sistemas de classificação** dos seres vivos organizam a diversidade biológica em categorias. Consideram-se dois grupos de sistemas de classificação: práticos e racionais.

Os **sistemas de classificação práticos** organizam os seres vivos empregando critérios de utilidade para as pessoas, como a alimentação e a defesa. Por exemplo, quando se identificam os animais e as plantas pela sua perigosidade, perigosos e não perigosos ou comestíveis e não comestíveis, está a usar-se uma classificação prática. As primeiras classificações feitas pelo ser humano eram classificações práticas.

Os **sistemas de classificação racionais** organizam os seres vivos utilizando as características estruturais dos seres considerados.

Aristóteles (384-322 a. C.) estabeleceu as bases dos sistemas racionais, agrupando os seres vivos de acordo com critérios morfológicos e fisiológicos, como animais com sangue vermelho e animais sem sangue vermelho. À medida que aumentava o conhecimento sobre os seres vivos, muitos séculos mais tarde, **Lineu** (1707-1778) propôs, na sua obra *Systema Naturae*, um sistema de classificação hierarquizado, baseado em semelhanças estruturais, como o número de cavidades do coração e o tipo de respiração. Também estabeleceu as bases da taxonomia – ramo da sistemática que agrupa e classifica os seres vivos. Os sistemas de Aristóteles e de Lineu são **sistemas artificiais**, pois baseiam-se num pequeno número de características resultando em grupos muito heterogéneos.

No sistema hierárquico de classificação iniciado por Lineu e desenvolvido por outros autores, o **reino** é a categoria taxonómica mais abrangente, seguindo-se, por ordem decrescente, o **filo**, a **classe**, a **ordem**, a **família**, o **género** e a **espécie**. Cada uma destas categorias taxonómicas é designada por **táxon**, no singular, e **táxones**, no plural (em latim, *taxa*).

Aprende mais

O naturalista John Ray (1627-1705) desenvolveu um sistema de **nomenclatura** *binominal*. A abelha-do-mel, *Apis mellifera*, era designada da seguinte forma:
Apis, pubescens, thorace subgriseo, abdominis fusca, pedibus, postici glabris utrinque margine ciliatis: Abelha, pubescente, com tórax acinzentado, abdomen escuro, pernas e patas traseiras glabras com cerdas em ambos os lados.

106

4.1. Sistemática da classificação

A **espécie** é a unidade básica de classificação e corresponde a um grupo natural de indivíduos que partilham o mesmo fundo genético, sendo, por isso, semelhantes, e que se podem cruzar entre si produzindo descendência fértil. Os indivíduos da mesma espécie formam populações que, sob o ponto de vista reprodutivo, estão isoladas de outras populações de outras espécies.

Reino Animal	+/- 1 500 000 espécies	
Filo Cordados	+/- 50 000 espécies	
Classe Aves	+/- 11 000 espécies	
Ordem Passeriformes	+/- 6500 espécies	
Família Turdidae	160 espécies	
Género Turdus	66 espécies	
Espécie *Turdus iliacus* (sabiá-ruivo)		

Fig. 1 Classificação do sabiá-ruivo, *Turdus iliacus*, uma ave migratória que viaja entre o norte da Europa e o norte de África e que, ocasionalmente, pode ser observada em Cabo Verde.

Responde tu

1. Identifica o táxon a que pertence *Turdus iliacus*.
2. Refere o táxon com maior número de indivíduos e menor especificidade.
3. Indica as categorias taxonómicas comuns ao sabiá-ruivo e ao rato.
4. Nomeia o grupo natural, ou seja, presente na Natureza, independentemente de qualquer critério de classificação. Justifica a tua resposta.

107

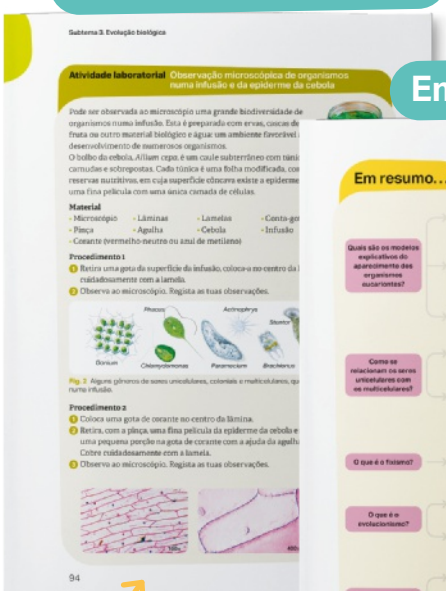
Imagens infográficas

Aprende mais **com informação adicional sobre o conteúdo**

Responde tu **com questões de verificação das aprendizagens**

Ao longo do teu manual…

Atividade laboratorial



Subtema 3. Evolução biológica

Atividade laboratorial Observação microscópica de organismos numa infusão e da epiderme da cebola

Pode ser observada ao microscópio uma grande biodiversidade de organismos numa infusão. Esta é preparada com ervas, cascas de fruta ou outro material biológico e água: um ambiente favorável ao desenvolvimento de numerosos organismos.

O bolbo da cebola, *Allium cepa*, é um caule subterrâneo com túnicas de sobrepostas. Cada túnica é uma folha modificada, com reservas nutritivas, em cuja superfície côncava existe a epiderme, uma fina película com uma única camada de células.

Material

- Microscópio
- Lâminas
- Lamelas
- Conta-gotas
- Pinça
- Agulha
- Cebola
- Infusão
- Corante (vermelho-neutro ou azul de metileno)

Procedimento 1

1. Retira uma gota da superfície da infusão, coloca-a no centro da lâmina e cobre cuidadosamente com a lamela.
2. Observa ao microscópio. Regista as tuas observações.

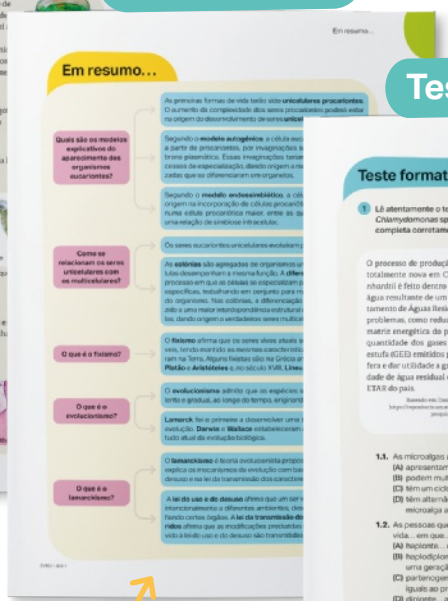
Fig. 2 Alguns géneros de seres unicelulares, coloniais e multicelulares, que podem existir numa infusão.

Procedimento 2

1. Coloca uma gota de corante no centro da lâmina.
2. Retira, com a pinça, uma fina película da epiderme da cebola e coloca uma pequena porção na gota de corante com a ajuda da agulha. Cobre cuidadosamente com a lamela.
3. Observa ao microscópio. Regista as tuas observações.

94

Em resumo…



Em resumo…

Quais são os modelos explicativos do aparecimento dos organismos eucariontes?

As primeiras formas de vida terão sido **unicelulares procariontes**. O aumento de complexidade dos seres procariontes poderá estar na origem do desenvolvimento de seres unicelulares eucariontes.

Segundo o **modelo autogénico**, a célula eucariótica terá surgido a partir de procariontes, por invaginações da membrana plasmática. Essas invaginações teriam dado origem a compartimentos celulares de especialização, dando origem a membrana nuclear, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, vacúolos, entre outras.

Segundo o **modelo endossimbiótico**, a célula eucariótica terá tido origem na incorporação de células procariontes aeróbias por uma célula procariótica maior, entre as quais se terá estabelecido uma relação de simbiose intracelular.

Como se relacionam os seres unicelulares com os multicelulares?

Os seres eucariontes unicelulares evoluíram para seres multicelulares.

As **colónias** são agregados de organismos unicelulares que não desempenham a mesma função. A **diferenciação celular** é o processo em que as células se especializam para funções específicas, trabalhando em conjunto para o bom funcionamento do organismo. Nas colónias, a diferenciação celular não existe, pois não há uma maior interdependência estrutural e funcional entre as células, dando origem a verdadeiros seres multicelulares.

O que é o fixismo?

O **fixismo** afirma que os seres vivos atuais são iguais aos que existiram no passado, tendo mantido as mesmas características ao longo do tempo. Alguns destes pensadores foram os filósofos gregos **Platão** e **Aristóteles** e, no século XVIII, **Lineu**.

O que é o evolucionismo?

O **evolucionismo** admite que as espécies atuais resultam de um processo lento e gradual, ao longo do tempo, originando-se umas às outras.

Lamarck, foi o primeiro a desenvolver uma teoria evolucionista. **Darwin** e **Wallace** estabeleceram as bases do que é hoje tudo aquilo que sabemos sobre a evolução biológica.

O que é o lamarckismo?

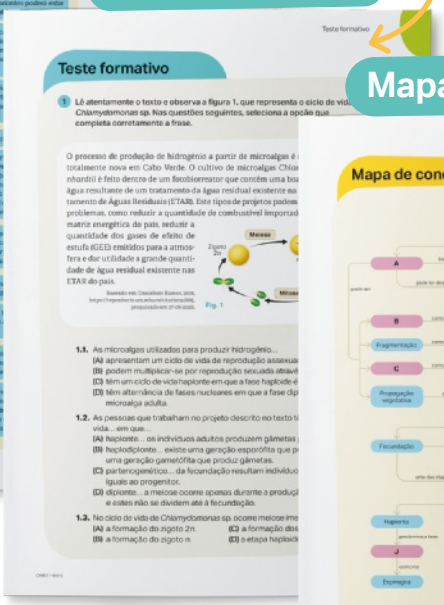
O **lamarckismo** é uma teoria evolucionista proposta por Lamarck que explica os mecanismos da evolução com base no uso e no desuso e na lei da transmissão dos caracteres adquiridos.

A lei do uso e do desuso afirma que um ser vivo, ao utilizar intencionalmente e diferentes ambientes, desenvolve certas partes (sendo certas órgãos. **A lei da transmissão dos caracteres adquiridos** afirma que as modificações produzidas ao longo da vida são transmitidas aos descendentes.

Em resumo…

Questões sobre os conteúdos aprendidos

Teste formativo



Teste formativo

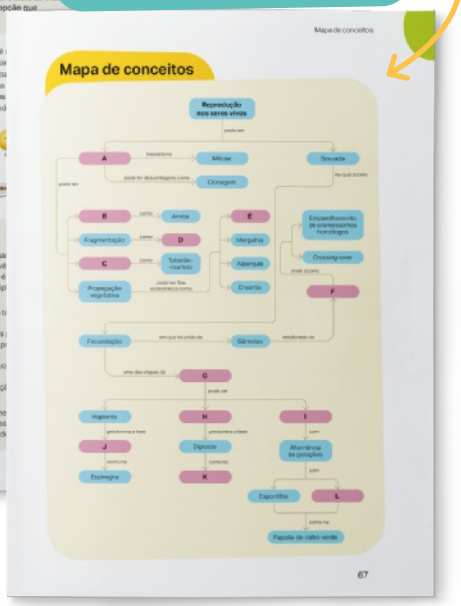
1. Lê atentamente o texto e observa a figura 1, que representa o ciclo de vida da alga *Chlamydomonas* sp. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.

1.1. As microalgas utilizadas para produzir hidrogénio…
(A) apresentam um ciclo de vida de reprodução assexuada.
(B) podem multiplicar-se por reprodução sexuada através de gâmetas.
(C) têm um ciclo de vida haplonte em que a fase haplóide é mais longa.
(D) têm alternância de fases nucleares em que a fase diplóide é mais longa.

1.2. As pessoas que trabalham no projeto descrito no texto têm a certeza de que a alga…
(A) haplonte… os indivíduos adultos produzem gâmetas.
(B) haplodiplonte… existe uma geração esporófita que produz esporos e uma geração gametófita que produz gâmetas.
(C) partenogenético… da fecundação resultam indivíduos geneticamente iguais ao progenitor.
(D) diplonte… a meiose ocorre apenas durante a produção de gâmetas e estes não se dividem até à fecundação.

1.3. No ciclo de vida de *Chlamydomonas* sp. ocorre meiose imediatamente…
(A) a formação do zigoto 2n.
(B) a formação do zigoto n.
(C) a formação dos gâmetas.
(D) a etapa haplóide.

Mapa de conceitos



Mapa de conceitos

Mapa de conceitos

Reprodução nos seres vivos

67

Diagrama para completar com conceitos-chave da matéria

Consolidação dos conhecimentos de forma prática

Síntese dos conteúdos aprendidos

Índice

Biologia

Teste diagnóstico 8

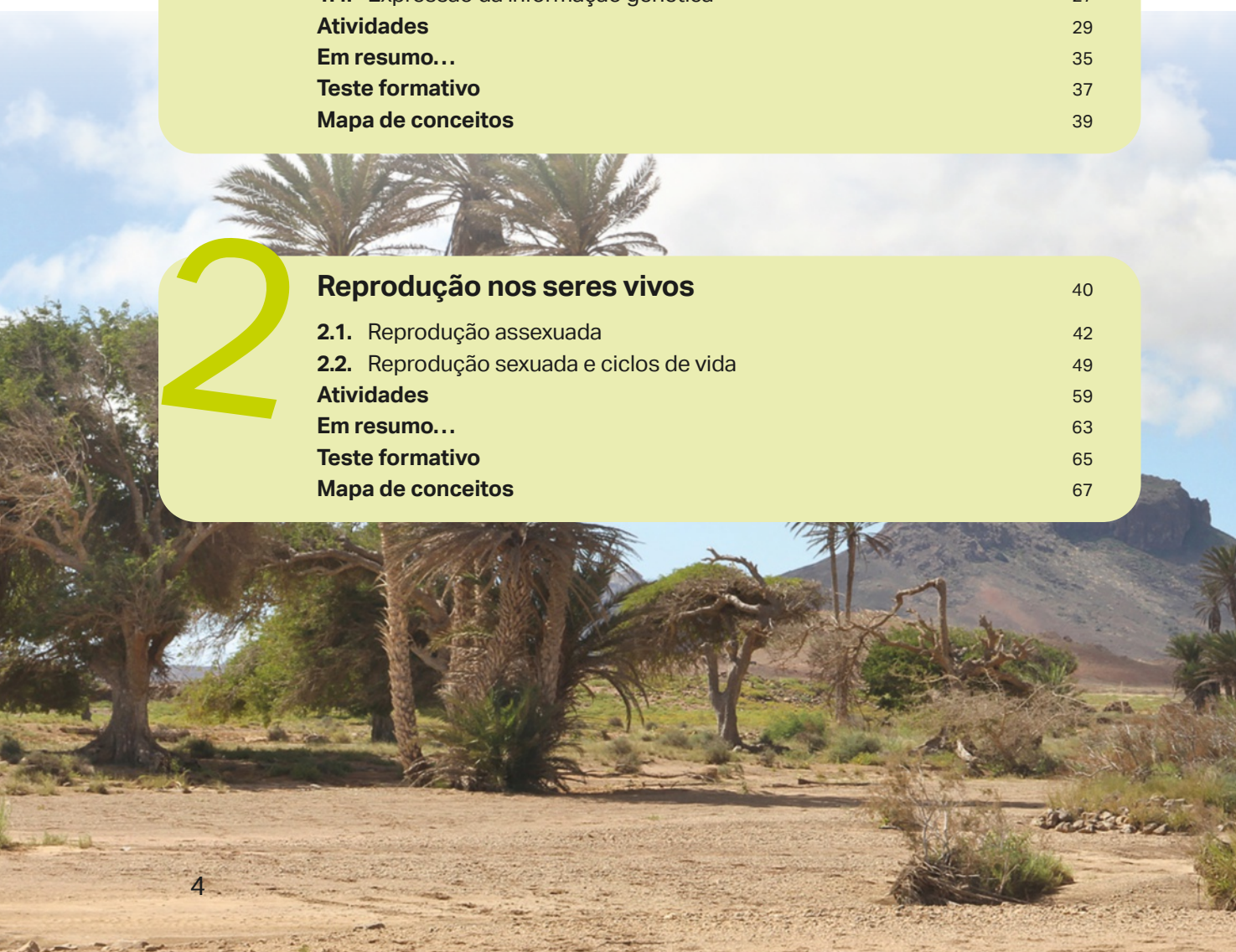
TEMA II: Do ADN à biodiversidade 10

1 **Informação genética e sua expressão** 12

1.1. Ácidos nucleicos 14
1.2. Replicação do DNA 20
1.3. Síntese de proteínas 21
1.4. Expressão da informação genética 27
Atividades 29
Em resumo... 35
Teste formativo 37
Mapa de conceitos 39

2 **Reprodução nos seres vivos** 40

2.1. Reprodução assexuada 42
2.2. Reprodução sexuada e ciclos de vida 49
Atividades 59
Em resumo... 63
Teste formativo 65
Mapa de conceitos 67



Índice

3 **Evolução biológica** 68

3.1. Origem dos seres eucariontes e da multicelularidade 70
3.2. Teorias evolutivas 73
3.3. Processos de evolução 78
Atividades 94
Em resumo… 97
Teste formativo 100
Mapa de conceitos 103

4 **Sistemática dos seres vivos** 104

4.1. Sistemática de classificação 106
4.2. Sistemática de classificação de Whittaker modificado 111
4.3. Novas perspetivas na classificação 113
Atividades 114
Em resumo… 119
Teste formativo 121
Mapa de conceitos 123
Conservação da biodiversidade 124

Fonte: Por Ximonic, Simo Räsänen – Obra do próprio, GFDL

A tamareira, *Phoenix atlantis*, é uma espécie endémica de Cabo Verde e está catalogada como em perigo na lista vermelha da UICN (União Internacional para Conservação da Natureza). A fotografia é de um oásis na ilha da Boa Vista.

Biologia

Tema II
Do ADN à biodiversidade

A Biologia estuda a biodiversidade, ou seja, todas as formas de vida existentes na Terra e que estão em constante evolução. As ilhas do arquipélago de Cabo Verde são uma das provas desta evolução, apresentando uma grande variedade de seres vivos únicos no mundo. O aumento da literacia científica em Biologia contribui para formar pessoas informadas, proativas e interventivas, capazes de contribuírem para a concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, nomeadamente os ODS 14 e 15: proteger a vida marinha e terrestre.

Isildo Gomes, licenciado em Biologia, Botânico e especialista em Gestão de Recursos Naturais, é investigador no Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário (INIDA) e professor convidado na Universidade de Cabo Verde. Acumulou experiências na recolha, tratamento e análise de dados botânicos e integrou as equipas que implementaram vários projetos no domínio da biodiversidade vegetal. É autor e coautor de vários livros. Fez parte da equipa responsável pela candidatura da Cidade Velha a Património da Humanidade. Foi condecorado pelo Presidente da República em 2024, como reconhecimento pelo seu desempenho no domínio do ambiente durante 3 décadas.

Teste diagnóstico

1 **Observa atentamente a figura 1, que representa o processo de divisão celular.**

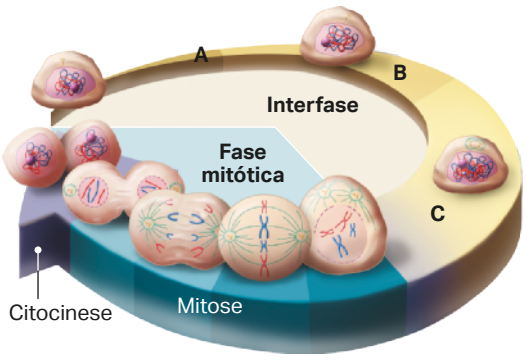


Fig. 1

1.1. Nomeia o processo da figura 1.

1.2. Distingue interfase de fase mitótica.

1.3. Faz a legenda da figura 1, fazendo corresponder a cada letra A, B e C uma das designações:

período G1 período G2 período S

1.4. Descreve as transformações que ocorrem em cada um dos períodos da interfase.

1.5. Transcreve o texto e elimina os termos incorretos, recordando as tuas aprendizagens dos anos anteriores.

A vida de uma célula começa na divisão (da célula-mãe / das células-filhas) e acaba quando (elas próprias se dividem / ela própria se divide) e origina (uma célula-mãe / duas células-filhas). O (ciclo celular / período S) é o conjunto de transformações que decorrem desde a formação de (uma célula / duas células) até ao momento em que (elas próprias / ela própria), por divisão, origina (duas células / uma célula).

2 **A meiose é um processo que antecede a fecundação.**

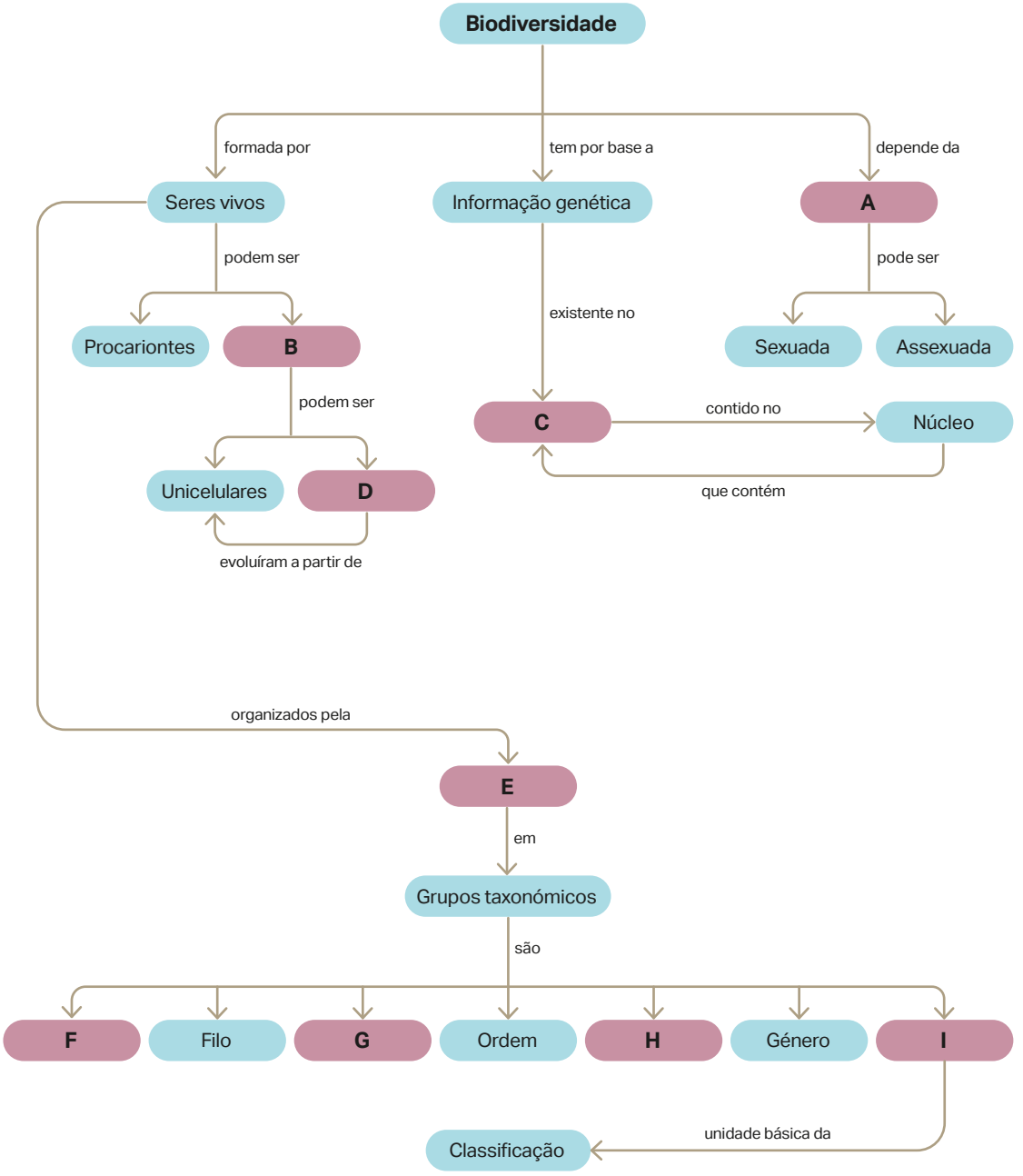
2.1. Distingue meiose de fecundação.

2.2. Explica de que modo a meiose e a fecundação contribuem para a variabilidade genética dos descendentes.

2.3. Apresenta um exemplo de meiose na espécie humana.

3 Justifica a afirmação, com um exemplo comum em Cabo Verde: "Existem seres vivos de espécies diferentes que até se podem reproduzir, cruzando-se entre si, mas os seus descendentes não são férteis."

4 Completa o mapa de conceitos com base nas tuas aprendizagens dos anos anteriores, substituindo cada letra pelo termo correto.



Tema II

Do ADN à biodiversidade

Subtema 1
Informação genética e sua expressão

Subtema 2
Reprodução nos seres vivos

Subtema 3
Evolução biológica

Subtema 4
Sistemática dos seres vivos

Fonte: Por Krzysztof Ziarnek, Kenraiz - Obra do próprio, CC BY-SA 4.0

O ADN, ácido desoxirribonucleico, ou, em inglês, DNA, *deoxyribonucleic acid*, é a base da biodiversidade e contém a informação genética que determina as características de cada organismo. A variedade de genes dentro de uma espécie é um motor da evolução e é fundamental para a biodiversidade, permitindo que as espécies se adaptem a diferentes ambientes e resistam a mudanças ambientais. Quando uma espécie desaparece pode colocar em risco outras espécies, o ambiente e mesmo a própria sobrevivência da espécie humana.

O cravo-brabo, *Erysimum caboverdeanum*, é uma espécie endémica, ou seja, apenas existe na ilha do Fogo e em mais nenhum outro lugar do mundo. Está classificada pela UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza, como criticamente em perigo: está a um passo da extinção, causada pelas pessoas que a usam como planta medicinal devido às suas propriedades antioxidantes.

A consulta de profissionais de saúde é a atitude correta em caso de sintomas de doença e só estes poderão aconselhar produtos farmacêuticos com as propriedades e nas doses adequadas ao consumo humano. No entanto, atendendo a algumas características da população cabo-verdiana, os e as cientistas estudaram diversas plantas existentes em Cabo Verde e concluíram que o eucalipto, espécie introduzida, tem propriedades medicinais antioxidantes muito superiores às do cravo-brabo. Com este conhecimento, cada pessoa informada tem o poder de decidir utilizar um produto farmacêutico ou o eucalipto e não colher mais cravos-brabos, protegendo esta espécie da extinção.

Fonte: Por James Steakley – Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

No final do Tema II, serás capaz de:

- Compreender que a Biologia contribui para uma literacia científica sólida que nos auxilia a compreender o mundo em que vivemos, a identificar os seus problemas e a entender as possíveis soluções de uma forma fundamentada, sem procurar refúgio nas ideias feitas e nos preconceitos.

1

© Pedro Moita

Agrobacterium tumefaciens

Informação genética e sua expressão

1.1. Ácidos nucleicos

1.2. Replicação do DNA

1.3. Síntese de proteínas

1.4. Expressão da informação genética

O tomateiro, *Solanum lycopersicum*, é amplamente cultivado em Cabo Verde pelo seu fruto, o tomate, mas enfrenta atualmente algumas dificuldades devido à salinização dos solos. O gene *HAL5* confere resistência à salinidade, pelo que foi isolado pelos cientistas e introduzido em bactérias da espécie *Agrobacterium tumefaciens* (também conhecida por *Rhizobium radiobacter*), como as das colónias na fotografia da placa de Petri. Seguidamente, estas bactérias foram cultivadas em laboratório juntamente com células de tomateiro para as quais transferiram uma cópia deste gene. Após a regeneração de plantas a partir das células transformadas, obtiveram-se plantas de tomateiro capazes de sobreviver em solos com níveis mais elevados de sais.

1.1. Ácidos nucleicos

Todos os seres vivos são formados por células. As células são constituídas por um conjunto organizado de biomoléculas produzidas por elas próprias, das quais se destacam as proteínas, pela sua importância no ciclo celular.

O **ciclo celular** é o conjunto de transformações que decorrem desde a formação de uma célula até ao momento em que ela própria, por divisão, origina duas células. O ciclo celular, para além de permitir o **crescimento** dos organismos multicelulares, é muito importante na **manutenção** e **reparação** da sua integridade física, ou seja, na regeneração de tecidos, repondo células que vão morrendo ou que foram destruídas.

As proteínas são constituídas por sequências específicas de aminoácidos que, para serem organizados em determinada ordem, precisam de instruções, ou seja, um programa com informação genética. O programa genético está localizado no **material genético** que são os ácidos nucleicos – moléculas que armazenam e mobilizam a informação genética, determinando a estrutura de cada proteína.

Os ácidos nucleicos são o **DNA**, ácido desoxirribonucleico, e o **RNA**, ácido ribonucleico. Nas células procarióticas, encontram-se no nucleoide e, nas células eucarióticas, localizam-se, principalmente, no núcleo.

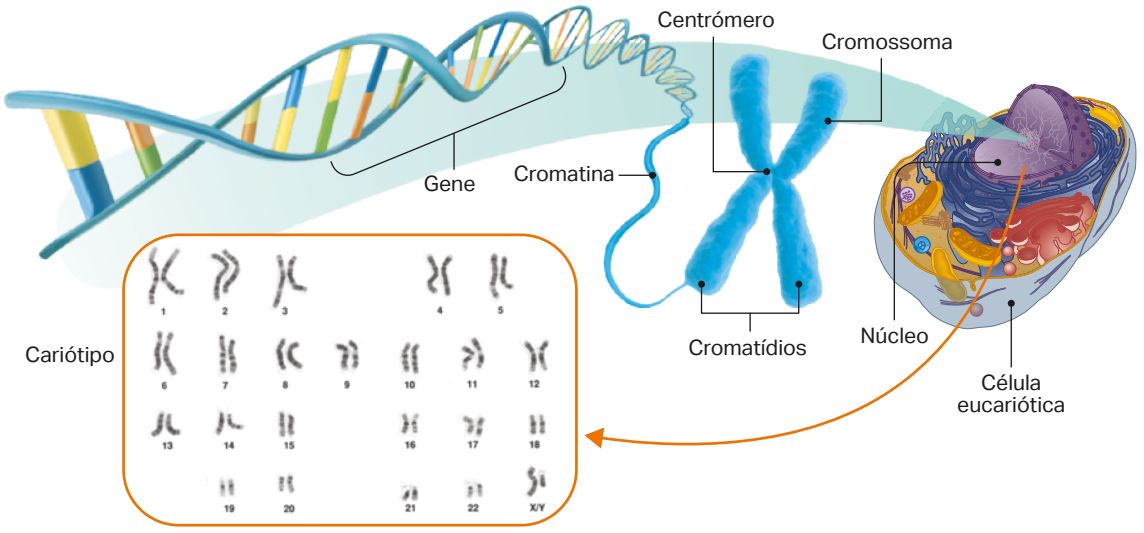


Fig. 1 Organização e localização do material genético numa célula eucariótica animal.

Núcleo

O **núcleo** é a estrutura celular com as funções de proteção, organização, replicação e expressão do material genético. É delimitado pelo **invólucro nuclear** – membrana dupla com numerosos poros nucleares. Os **poros nucleares** são os locais onde as membranas nucleares interna e externa contactam uma com a outra, fazendo uma abertura que permite o movimento de moléculas para dentro e para fora do núcleo. O espaço entre as duas membranas do invólucro nuclear tem continuidade com o lúmen do **RER** – retículo endoplasmático rugoso, organelo membranar constituído por túbulos e vesículas com ribossomas, o que lhe confere um aspeto granuloso.

No interior do núcleo estão os cromossomas e uma rede filamentosa de proteínas chamada matriz nuclear. Cada **cromossoma** é constituído por DNA e por proteínas que enrolam e compactam o cromossoma. O conjunto formado pelo DNA e pelas proteínas é denominado **cromatina**. Os filamentos de cromatina estão, na maior parte do ciclo celular, dispersos, mas, quando a célula entra em divisão, os filamentos condensam. Na fase de condensação, cada cromossoma é formado por **dois cromatídios**, que resultam de uma duplicação do filamento de cromatina, e que ocorreu anteriormente. Assim, cada um dos cromatídios é formado por uma molécula de DNA com proteínas associadas. Os cromatídios de um cromossoma estão unidos por uma estrutura proteica, o **centrómero**. O **cariótipo** é o conjunto de cromossomas de cada uma das células de um organismo.

Outra função importante do núcleo é a síntese de **ribossomas** – estruturas celulares formadas por RNA e que participam na produção de proteínas. O **nucléolo** é uma estrutura densa do núcleo onde está a ser sintetizado RNA a partir das instruções fornecidas pelo DNA.

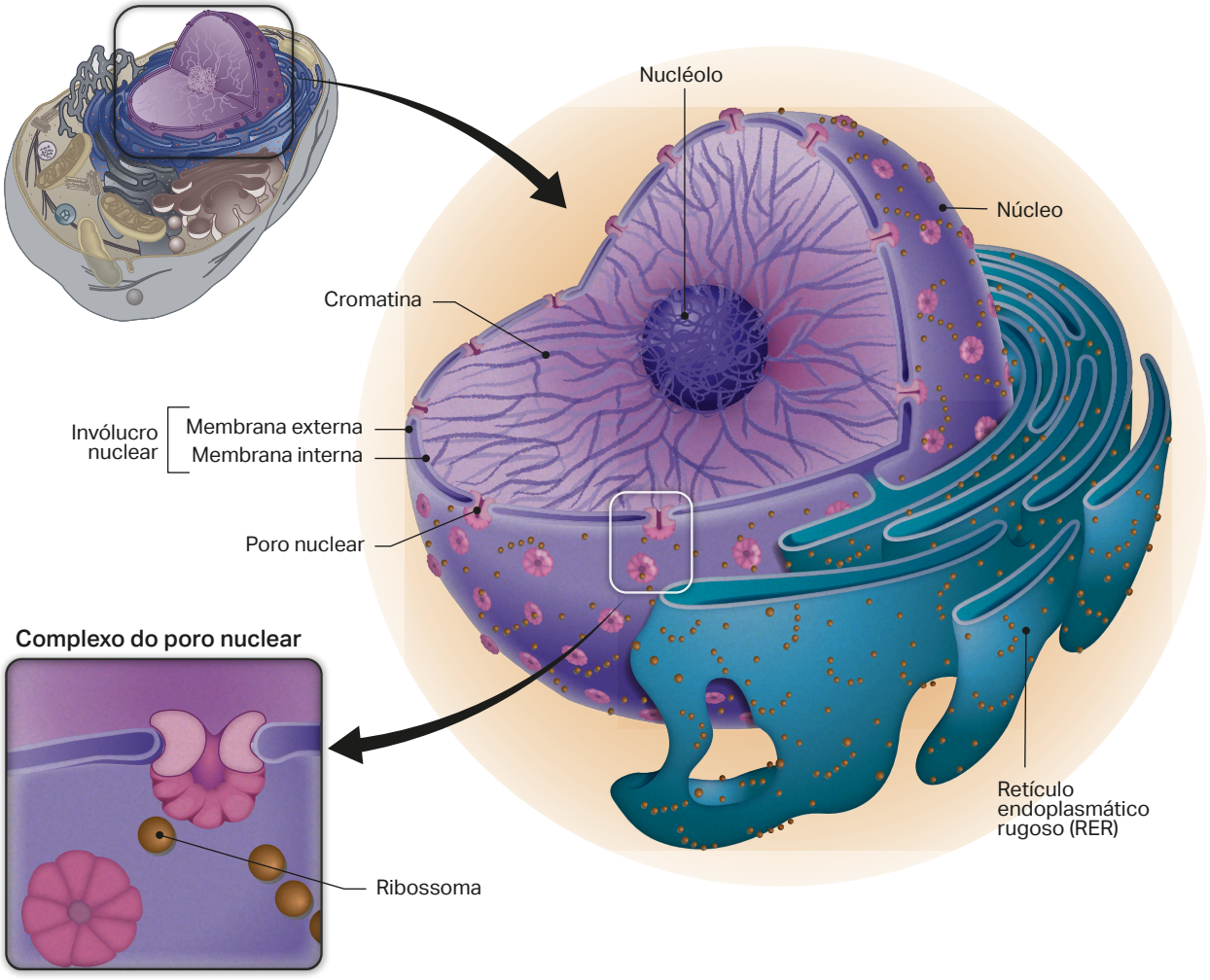


Fig. 2 Estrutura do núcleo e ligação com o retículo endoplasmático rugoso.

DNA

A molécula de DNA é uma dupla hélice formada por uma **cadeia polinucleotídica** dupla de nucleótidos. Os **nucleótidos** são os monómeros dos ácidos nucleicos. A **composição química do DNA** é a seguinte: base nitrogenada, grupo fosfato e desoxirribose. A sequência de nucleótidos numa cadeia de DNA é muito importante, pois é nessa sequência que está codificada a informação genética que determina as características de cada organismo.

As **bases nitrogenadas** podem ser classificadas em purinas e pirimidinas. As purinas têm anel duplo e são a **adenina** e a **guanina**. As pirimidinas têm anel simples e são a **citosina** e a **timina**. O **grupo fosfato** confere à molécula de DNA as características ácidas. A **desoxirribose** é uma pentose – açúcar com cinco átomos de carbono.

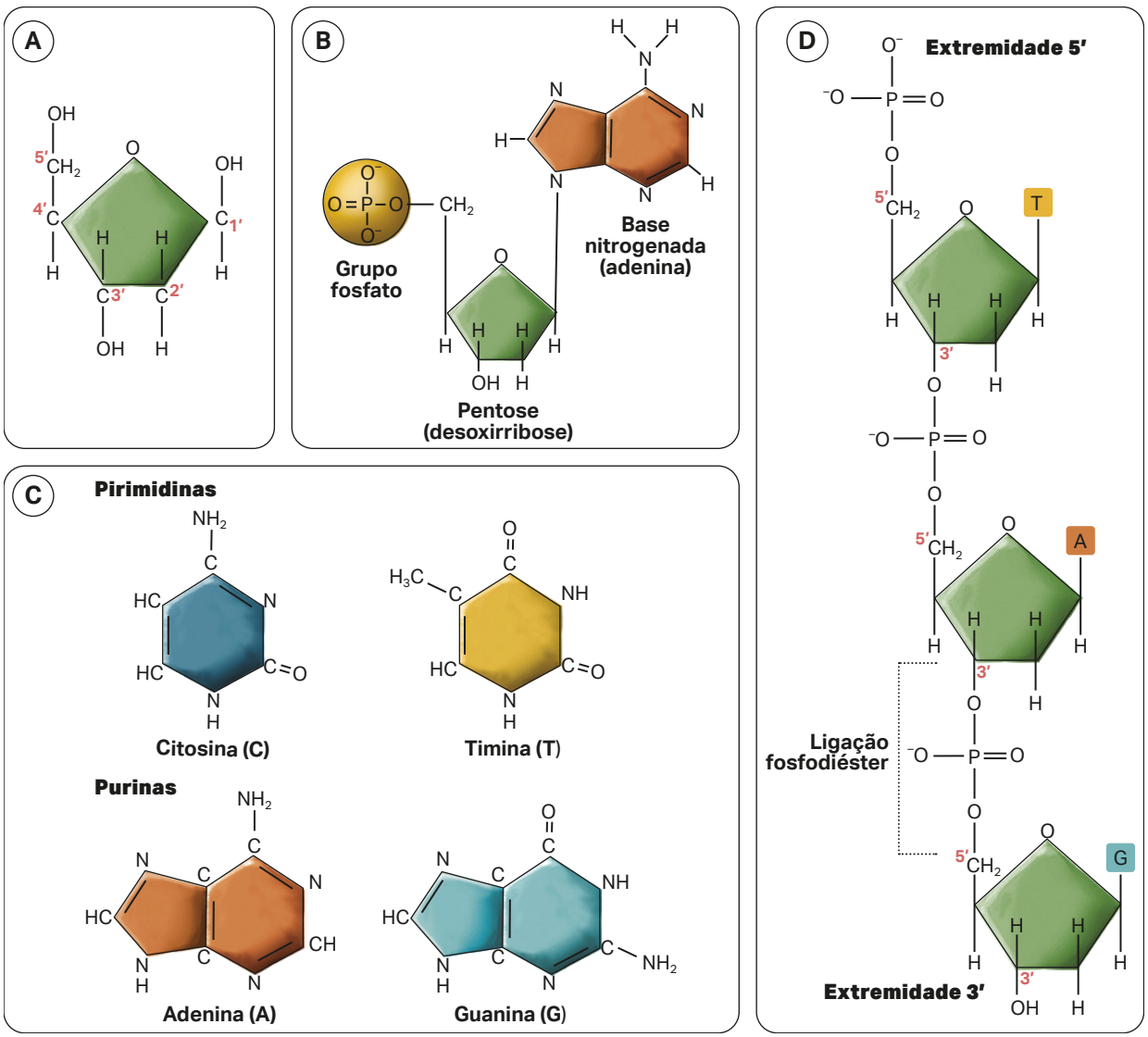


Fig. 3 Composição química do DNA: A – Desoxirribose com os carbonos numerados, 1' a 5';
B – Nucleótido de adenina; C – Bases nitrogenadas; D – Sequência de três nucleótidos ligados: 5' T-A-G 3'.

Os nucleótidos estão unidos uns aos outros por ligações fosfodiéster entre o grupo fosfato de um nucleótido e o carbono 3 da desoxirribose do nucleótido anterior da cadeia. Deste modo, é possível definir uma orientação da cadeia em função das extremidades da desoxirribose que ficam livres, cuja notação simplificada é 5′ para o carbono 5 e 3′ para o carbono 3.

Após a descoberta da composição química do DNA, diversos cientistas trabalharam na compreensão da sua estrutura e, em 1953, foi apresentado um modelo da estrutura do DNA.

Segundo o **modelo da dupla hélice**, a molécula do DNA assemelha-se a uma escada de corda com enrolamento helicoidal. As duas cadeias laterais da hélice são formadas por grupos fosfato que alternam com moléculas de pentose e o interior da hélice é formado por pares de bases nitrogenadas ligados entre si por ligações de hidrogénio e que fazem a ligação entre as duas cadeias. Cada uma das cadeias do DNA está disposta em sentido oposto ao da outra, isto é, tem **orientação antiparalela**: à extremidade 3′ livre de uma cadeia corresponde a extremidade 5′ livre da outra cadeia. Existe especificidade de ligações entre as bases: à citosina de um nucleótido de uma cadeia liga-se sempre a guanina do nucleótido da outra cadeia, e à adenina liga-se sempre a timina – **complementaridade de bases**.

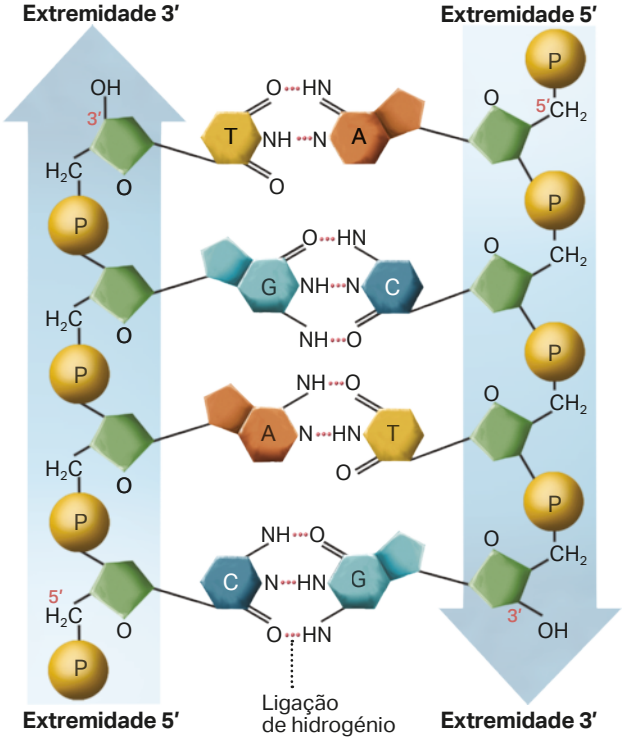


Fig. 4 Ligações de hidrogénio entre bases complementares do DNA.

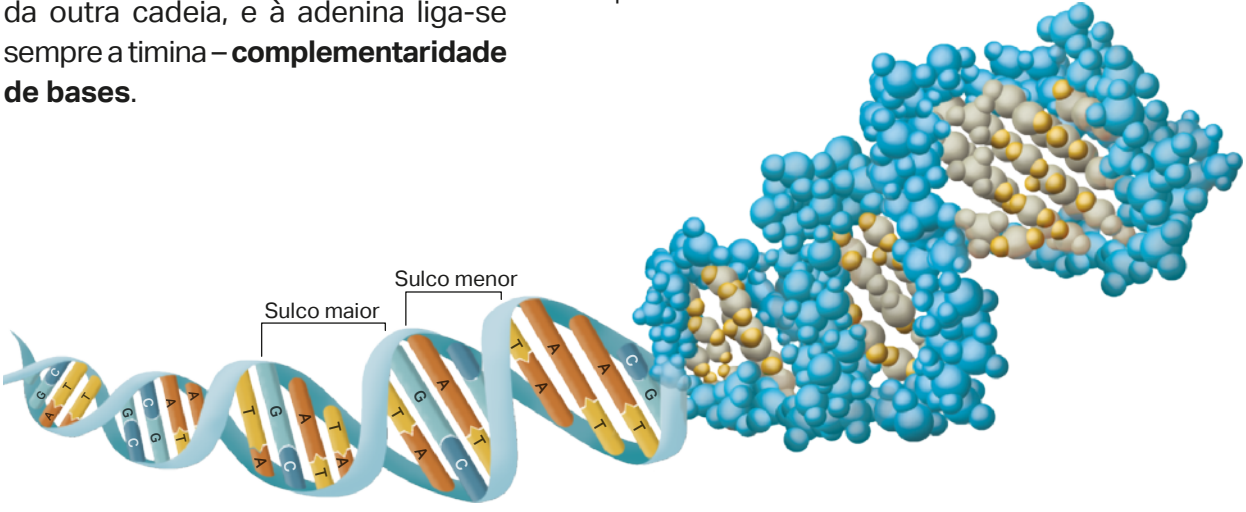


Fig. 5 Modelo da dupla hélice do DNA. O empilhamento das bases nitrogenadas origina sulcos que são importantes para a ligação de proteínas e outras moléculas ao DNA responsáveis pelo controlo da expressão dos genes.

RNA

A molécula de RNA é, geralmente, formada por uma **cadeia polinucleotídica** simples de nucleótidos. A **composição química do RNA** é: base nitrogenada, grupo fosfato e ribose. As **bases nitrogenadas** são a **adenina**, a **guanina**, a **citosina** e o **uracilo**. O **grupo fosfato** confere à molécula de RNA as características ácidas. A **ribose** é uma pentose.

Apesar de o RNA ser uma cadeia simples, por vezes, pode dobrar-se através de ligações de hidrogénio entre bases complementares: citosina com guanina e adenina com uracilo.

O RNA é sintetizado no núcleo a partir do DNA, ou seja, o DNA é usado como molde para fazer RNA. Em seguida, as moléculas de RNA migram do núcleo para o citoplasma, transportando a informação genética. Consideram-se três tipos de RNA: **RNA mensageiro**, **mRNA**; **RNA de transferência**, **tRNA**; **RNA ribossómico**, **rRNA**.

mRNA

O **RNA mensageiro**, mRNA, é formado por uma cadeia polinucleotídica simples. O mRNA é um intermediário responsável pelo transporte de informação genética do DNA até aos ribossomas. Os ribossomas estão livres no citoplasma ou associados a membranas do retículo endoplasmático rugoso e fazem a leitura da informação para a síntese de proteínas.

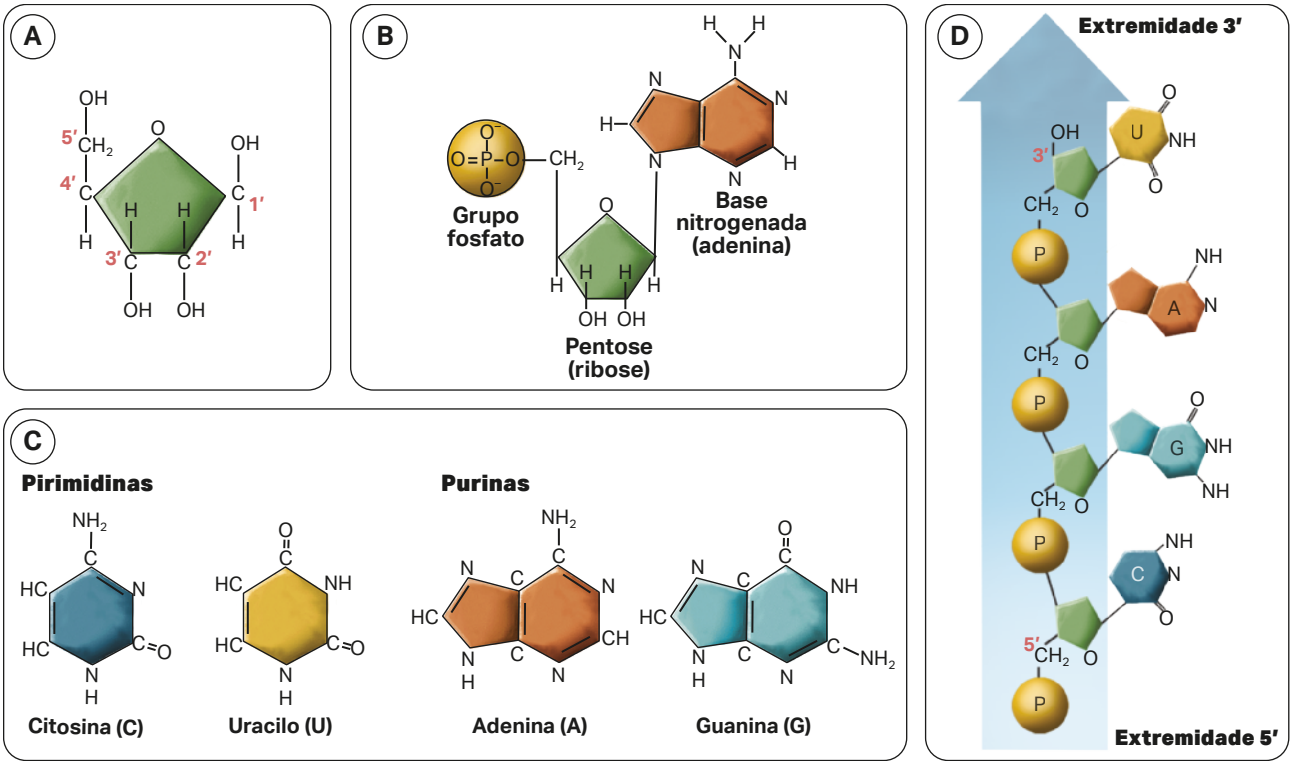


Fig. 6 Composição química do RNA: A – Ribose com os carbonos numerados, 1′ a 5′; B – Nucleótido de adenina; C – Bases nitrogenadas; D – Sequência de quatro nucleótidos ligados numa molécula de mRNA: 5′ C-G-A-U 3′.

tRNA

O **RNA de transferência**, tRNA, é uma molécula de cadeia polinucleotídica simples que, em determinadas zonas, estabelece ligações por complementaridade entre nucleótidos, formando uma cadeia dupla. Deste modo, o tRNA apresenta estrutura tridimensional mais complexa, com um local de ligação a um determinado aminoácido na extremidade 3', e um **anti-codão** – sequência de três nucleótidos onde o mRNA se pode ligar.

rRNA

O **RNA ribossómico**, rRNA, também designado por RNA ribossomal, é o tipo de RNA mais abundante na célula. As moléculas de RNA ribossómico associam-se a proteínas, formando os ribossomas. Os ribossomas são constituídos por duas subunidades de tamanhos diferentes. Durante a síntese proteica, a subunidade menor liga-se ao mRNA e a subunidade maior liga-se ao tRNA.

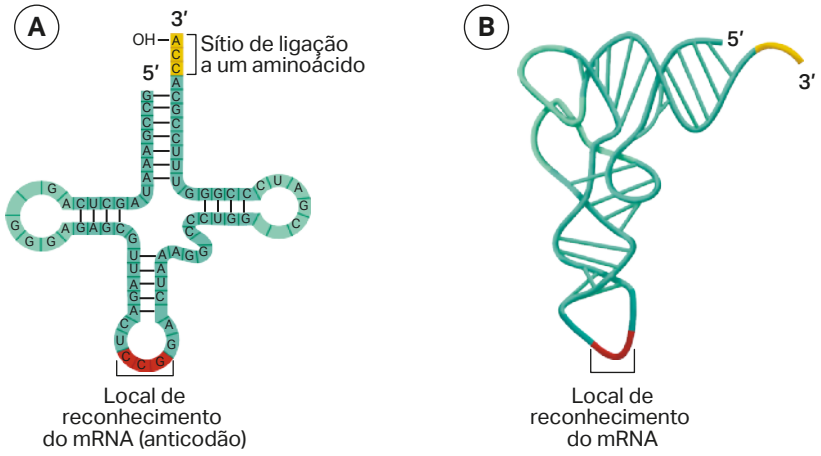


Fig. 7 Estrutura do RNA de transferência, tRNA: A – Modelo bidimensional (a vermelho está representado o local de ligação ao mRNA e a amarelo, o local de ligação a um aminoácido); B – Modelo tridimensional.

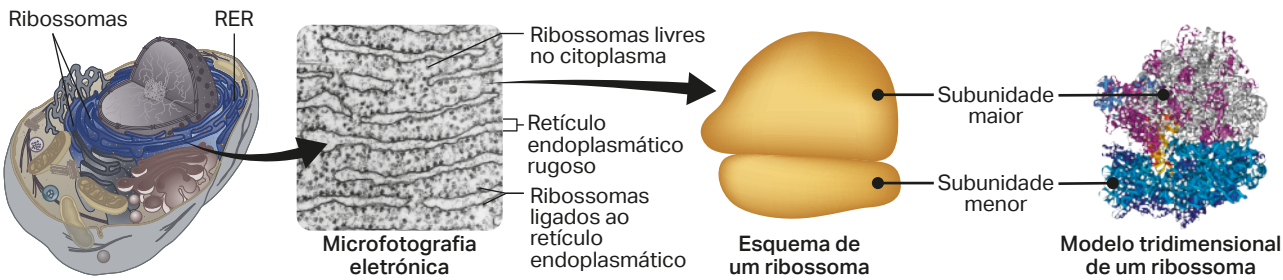


Fig. 8 Localização e estrutura dos ribossomas.

Responde tu

1 **Elabora uma tabela com as principais diferenças entre o RNA e o DNA.**

1.2. Replicação do DNA

A **replicação do DNA** é o processo pelo qual uma molécula de DNA é duplicada, criando duas cópias idênticas. Este processo, fundamental para a continuidade da informação genética, é essencial para o ciclo celular e, portanto, para o crescimento, manutenção e reparação do organismo. O DNA tem a capacidade de se replicar, assegurando a transmissão da informação genética – **replicação semiconservativa**. Segundo este modelo, cada uma das novas cadeias formadas é uma réplica de uma das cadeias originais. Isto significa que as novas moléculas de DNA são idênticas ao DNA original, sendo cada uma portadora de uma cadeia antiga e de uma cadeia nova.

Durante a replicação, as duas cadeias do DNA original separam-se uma da outra, em locais específicos ao longo da molécula, por ação de enzimas, havendo rutura das ligações de hidrogénio entre as bases das cadeias complementares. Em seguida, cada uma das cadeias originais serve de molde à formação de uma cadeia com bases complementares. Através da intervenção de uma enzima, a **DNA polimerase**, e de acordo com a complementaridade de bases, formam-se duas novas cadeias polinucleotídicas com **bases complementares** das cadeias originais, em que cada uma delas é antiparalela em relação à que lhe serviu de molde, ou seja, correm em direções opostas, uma de 5′ para 3′ e a outra de 3′ para 5′.

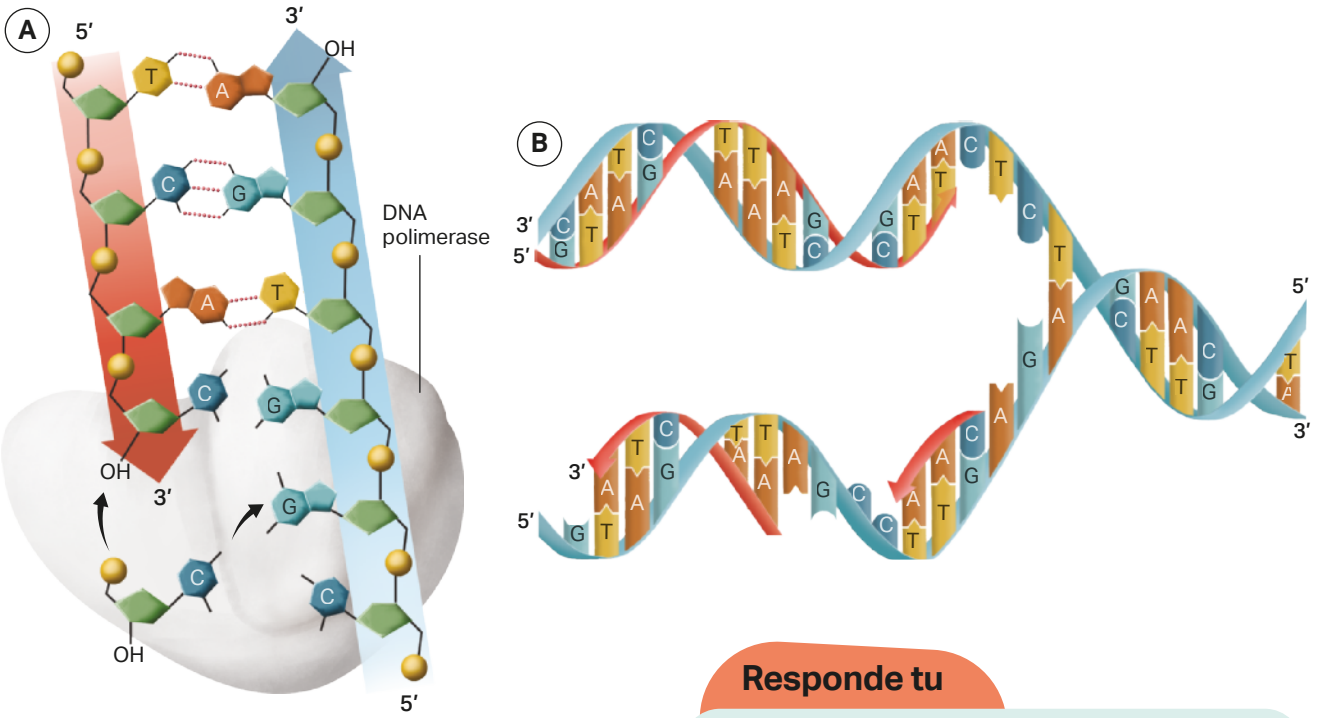


Fig. 9 Modelo de replicação semiconservativa do DNA: A – Formação de uma nova cadeia de DNA através de ligações de hidrogénio entre as bases complementares e ligações fosfodiéster entre o grupo fosfato de um nucleótido e o carbono 3 do nucleótido seguinte; B – Formação de duas novas cadeias complementares das cadeias do DNA original.

Responde tu

1. Refere o tipo de replicação do DNA.
2. Explica a complementaridade de bases.
3. Descreve a função da DNA polimerase.

1.3. Síntese de proteínas

A informação genética armazenada no DNA está organizada em genes. Um **gene** é uma sequência específica de nucleótidos. Os genes são unidades de informação responsáveis pelas características manifestadas por cada organismo, nomeadamente as proteínas que o constituem, e cada proteína é formada por uma sequência específica de aminoácidos. Assim, a sequência de bases nitrogenadas no DNA determina a sequência de aminoácidos na proteína.

Existe, geralmente, um **fluxo unidirecional** entre a informação dos ácidos nucleicos e as proteínas. Neste fluxo, a informação armazenada no DNA sob a forma de uma sequência polinucleotídica é copiada para o mRNA que transporta a mensagem contida no gene do núcleo para o citoplasma. Em seguida, os ribossomas fazem a leitura da mensagem, descodificando-a numa sequência de aminoácidos que constituem uma determinada proteína. A síntese de proteínas envolve dois processos: a transcrição e a tradução da informação contida no DNA.

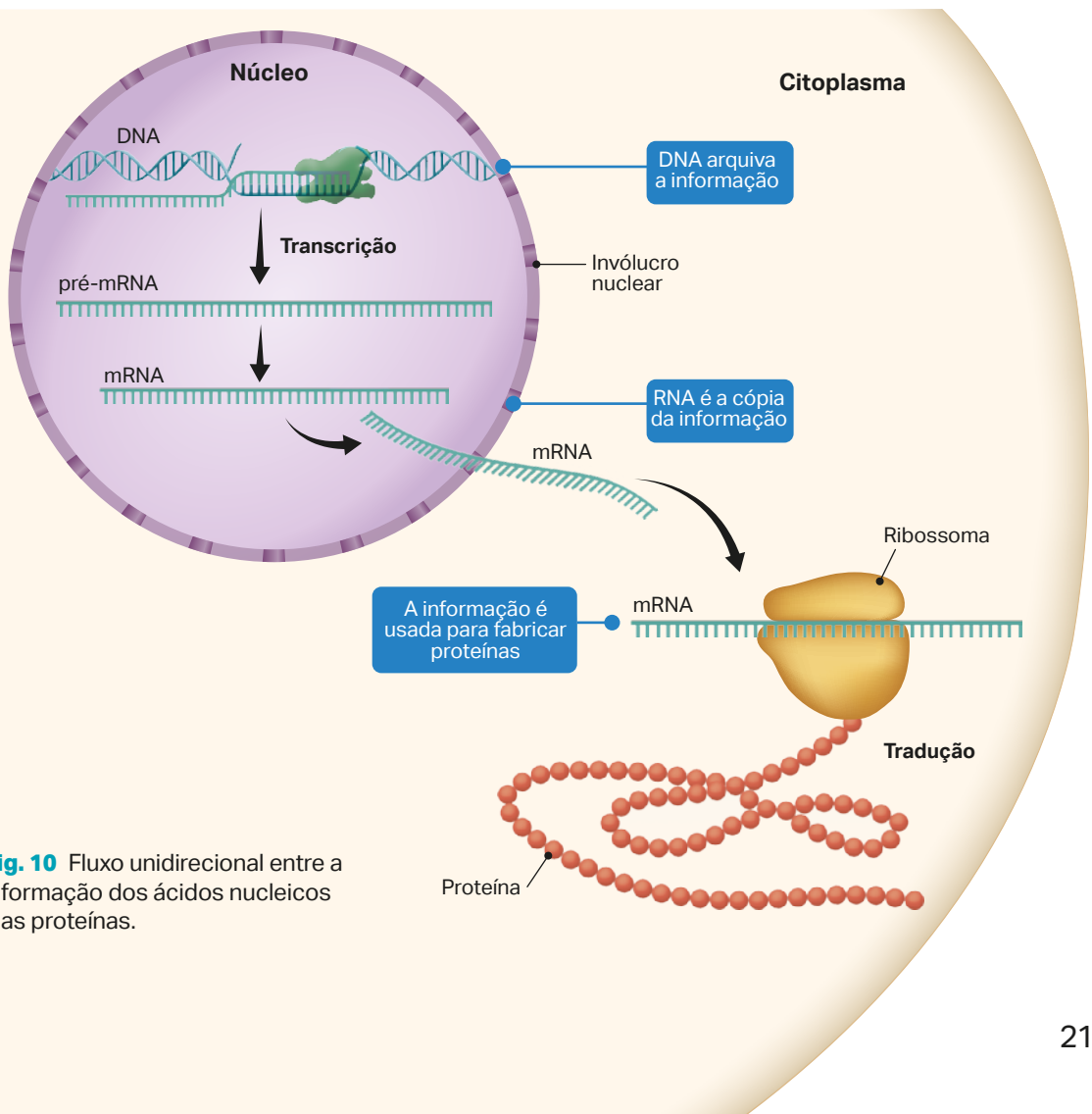


Fig. 10 Fluxo unidirecional entre a informação dos ácidos nucleicos e as proteínas.

Código genético

As unidades básicas dos ácidos nucleicos e das proteínas são monómeros: nucleótidos e aminoácidos, respetivamente. No DNA existem quatro nucleótidos diferentes e nas proteínas existem cerca de vinte aminoácidos diferentes. A grande diversidade de organismos reflete a diversidade de proteínas que resulta do número de aminoácidos que constitui cada uma, bem como da sequência em que os aminoácidos se encontram na cadeia peptídica.

O trabalho de numerosos cientistas permitiu concluir que combinações de sequências de três nucleótidos do DNA são responsáveis pela codificação de diferentes aminoácidos. Cada uma destas combinações designa-se por **codogene** ou tripleto e representa a mais pequena unidade de informação genética necessária para a codificação de um aminoácido. Atendendo a que existem diferentes sequências de codogenes, essas sequências vão permitir codificar a ordenação de séries de aminoácidos que caracterizam diferentes proteínas.

Cada codogene é complementar de um **codão** – grupo de três nucleótidos do mRNA que codifica um aminoácido particular. Atendendo a que o mRNA tem quatro nucleótidos – A, U, C, G –, e cada codão tem três nucleótidos, existem 4 × 4 × 4 = 64 possibilidades de combinações, o que é mais do que suficiente para codificar os aminoácidos que se conhecem.

O **código genético** é a relação entre os codões do mRNA e os aminoácidos que eles codificam. O código genético é um quadro de correspondência entre os 64 codões possíveis e os 20 aminoácidos das proteínas. No código genético, vários codões codificam o mesmo aminoácido, e apenas 61 codões codificam aminoácidos. Os três restantes são chamados codões *stop*, que funcionam como sinais para a terminação da síntese proteica.

Características do código genético

O código genético é universal
Em todos os organismos, um determinado codão tem o mesmo significado, com poucas exceções.

O código genético é redundante
Há mais do que um codão a codificar o mesmo aminoácido, ou seja, vários codões são sinónimos.

O código genético não é ambíguo
A cada codão corresponde um e um só aminoácido, ou seja, um determinado codão não codifica dois aminoácidos.

No código genético, o terceiro nucleótido de cada codão é menos específico do que os dois primeiros
Há aminoácidos que podem ser codificados por diferentes codões, por exemplo, a prolina: CCC, CCU, CCA ou CCG.

No código genético, o codão AUG tem dupla função
O codão AUG é o codão de iniciação da síntese de proteínas e, simultaneamente, codifica o aminoácido metionina.

No código genético, os codões UAA, UAG e UGA são codões de finalização
Cada codão UAA, UAG e UGA designa-se por codão de terminação, codão *stop* ou codão de finalização da síntese de proteínas.

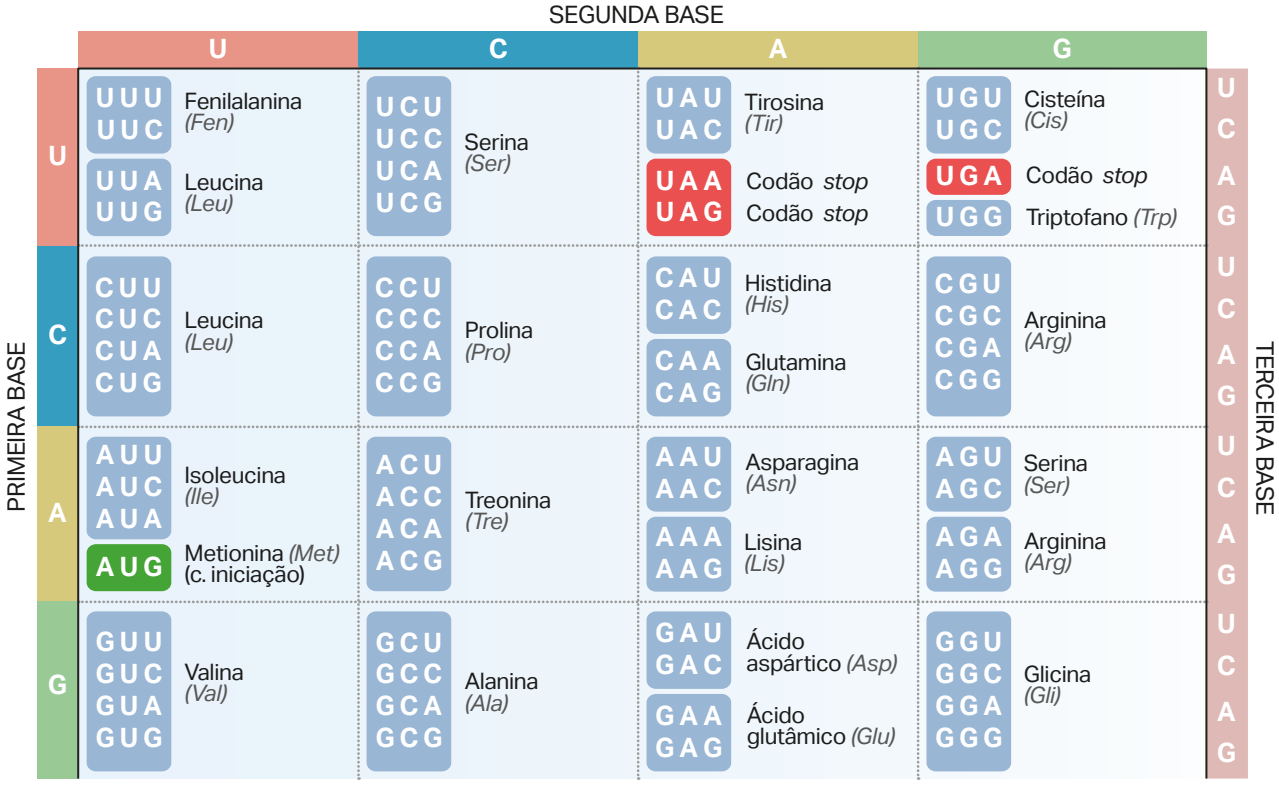


Fig. 11 Código genético. A primeira base do mRNA está na extremidade 5' do codão e a terceira base do mRNA está na extremidade 3' do codão.

Responde tu

1 **Refere:**

1.1. os codões que finalizam a síntese de proteínas;

1.2. o codão que inicia a síntese de proteínas;

1.3. a instrução dada pelo codão UGG.

2 **Justifica a afirmação com um exemplo do código genético: "O terceiro nucleótido de cada codão é menos específico do que os dois primeiros."**

3 **Copia e completa a tabela, praticando a descodificação do código genético.**

Glicina	Alanina	Leucina	Valina	Isoleucina	Prolina	Fenilala-nina	Serina	Treonina	Cisteína
Gli	Ala	Leu	Val	Ile	Pro	Fen	Ser	Tre	Cis
GGU GGC GGA GGG									

Tirosina	Aspara-gina	Glutamina	Aspartato	Glutamato	Arginina	Lisina	Histidina	Triptofano	Metionina
Tir	Asn	Gln	Asp	Glu	Arg	Lis	His	Tri	Met
UAU UAC									

Transcrição

A primeira etapa do fluxo da informação genética corresponde à síntese de mRNA a partir de uma cadeia de DNA que lhe serve de molde. Este processo tem o nome de **transcrição**, pois a informação do DNA é transcrita, por complementaridade de bases, para o RNA mensageiro. Na transcrição, apenas uma das duas cadeias do DNA é utilizada como molde. Nos eucariontes, este processo ocorre no interior do núcleo e nos procariontes, no nucleoide.

A transcrição de um determinado gene inicia-se com o reconhecimento e ligação da RNA polimerase. A **RNA polimerase** é uma enzima que se fixa no DNA, desenrola-o e, de acordo com a sequência de bases nitrogenadas da cadeia-molde, faz a ligação de ribonucleóticos do RNA: A, U, G e C. A transcrição ocorre em três etapas: iniciação, alongamento e terminação.

Na **iniciação**, a RNA polimerase fixa-se a um determinado segmento específico do DNA, um gene chamado promotor. Esta ligação inicia o desenrolamento da cadeia dupla de DNA, ficando expostas as bases das duas cadeias. No **alongamento**, a RNA polimerase liga os ribonucleótidos complementares à cadeia-molde do DNA, sendo formada uma cadeia de mRNA. Na **terminação**, a RNA polimerase fixa-se a uma sequência de finalização específica, terminando a transcrição e separando-se os três componentes: DNA, mRNA e RNA polimerase.

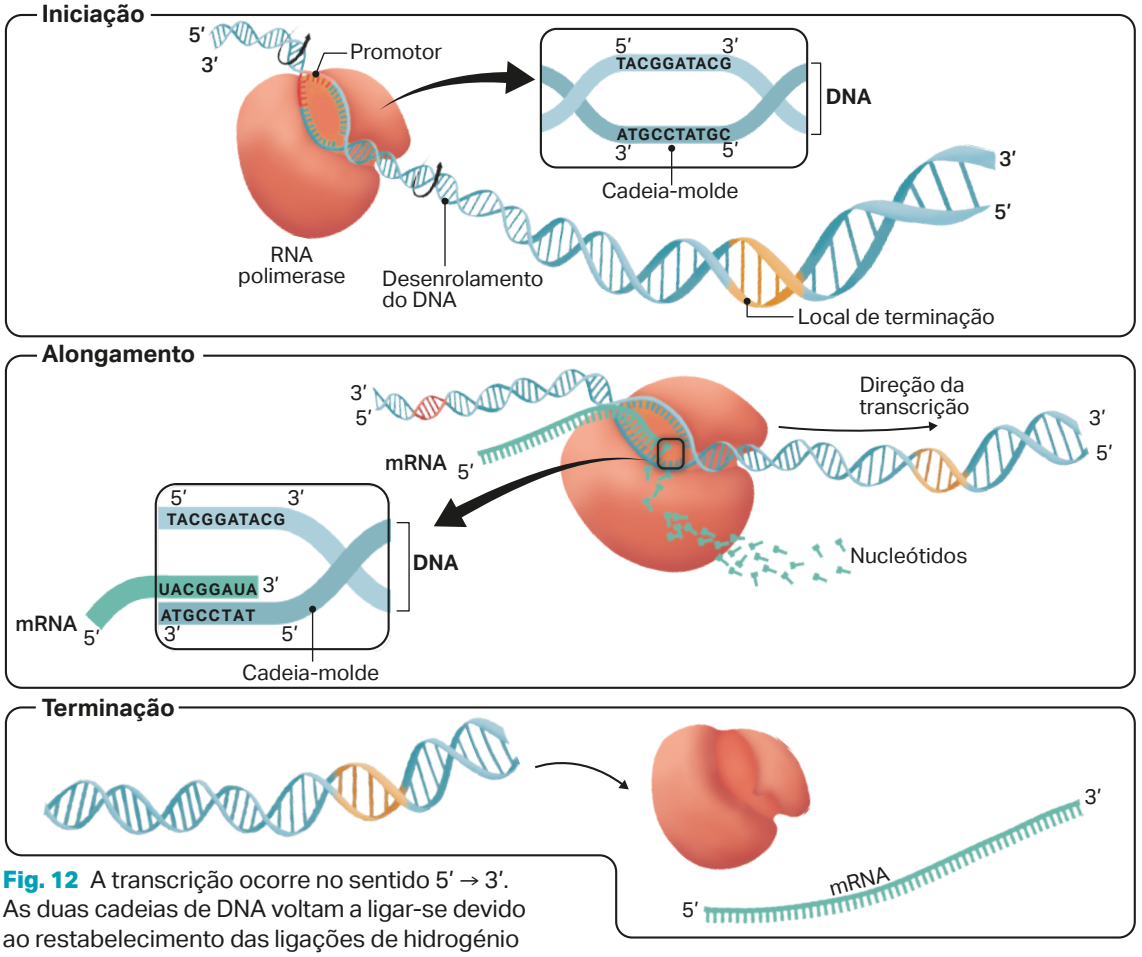


Fig. 12 A transcrição ocorre no sentido 5′ → 3′. As duas cadeias de DNA voltam a ligar-se devido ao restabelecimento das ligações de hidrogénio entre as bases.

Processamento

Nos organismos procariontes, a molécula de mRNA transcrita é usada diretamente para codificar uma proteína, ou seja, o RNA transcrito é o RNA traduzido. Nos organismos eucariontes, o RNA transcrito é transformado antes de sair do núcleo num mecanismo chamado processamento.

No **processamento**, são removidas várias secções do RNA inicialmente transcrito, por ação de enzimas. Este é chamado RNA pré-mensageiro – pré-mRNA. As porções removidas designam-se por **intrões** e as porções não removidas designam-se por **exões**. Os exões ligam-se entre si e formam o mRNA maturado, processado ou funcional. Deste modo, nas células eucarióticas, a informação necessária para a síntese de proteínas não está disposta de modo contínuo, mas sim fragmentado.

No final do processamento, o mRNA é constituído apenas pelas sequências que codificam os aminoácidos de uma proteína específica. Este mRNA processado sai do núcleo pelos poros nucleares, para o citoplasma, ligando-se aos ribossomas, onde vai ocorrer a tradução da mensagem, ou seja, a síntese de proteínas. Esta particularidade também significa que um mesmo gene pode dar origem a diferentes pré-mRNA, e consequentemente, a proteínas, consoante os intrões que são removidos.

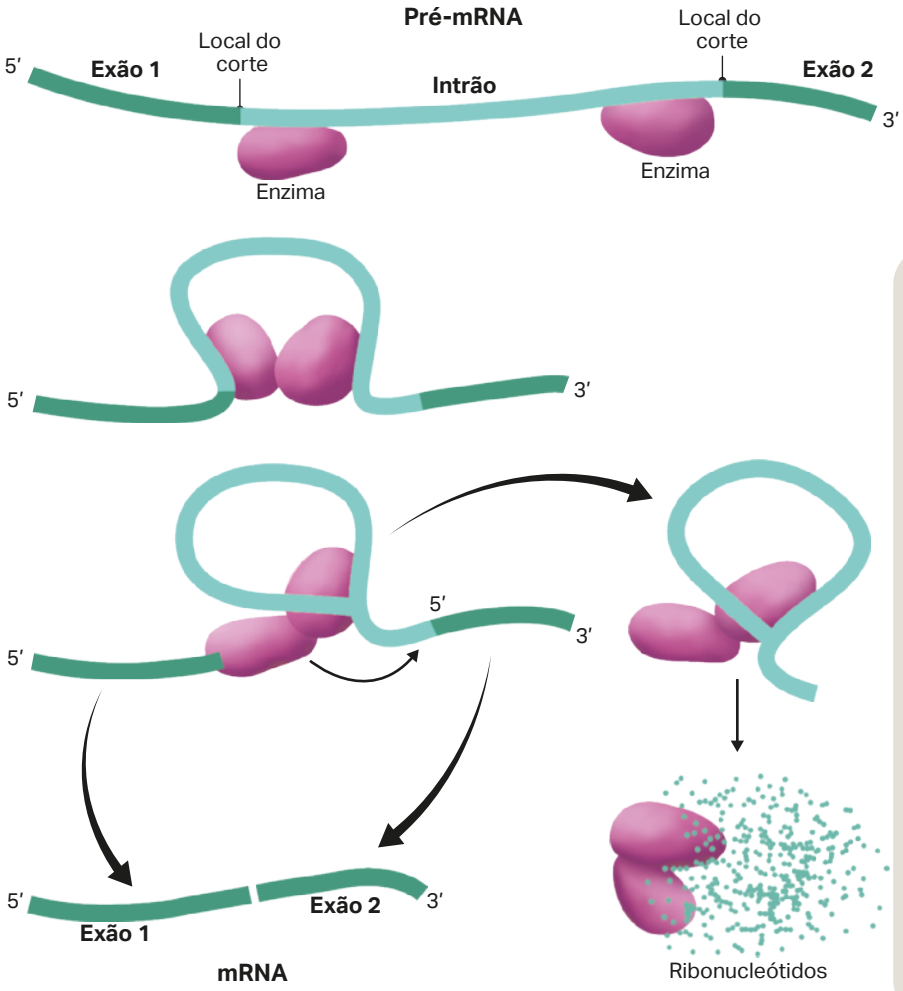


Fig. 13 Processamento do RNA mensageiro.

Aprende mais

O termo **intrão** deriva de "região intragénica", isto é, região dentro de um gene. Tanto se refere à sequência do DNA num gene como à sua correspondência no RNA transcrito. Até agora, nos cerca de 26 mil genes do genoma humano existem 207 344 intrões. Em média, existem cerca de 8 intrões em cada gene.

Tradução

A **tradução** é o processo em que a informação genética contida no mRNA é descodificada ou traduzida numa sequência de aminoácidos que vai formar uma proteína. A tradução ocorre em três etapas: iniciação, alongamento e finalização.

Na **iniciação**, a subunidade menor do ribossoma liga-se ao mRNA no codão de iniciação, AUG; o anti-codão do tRNA, transportando o aminoácido metionina, liga-se ao codão de iniciação; a subunidade maior liga-se à menor, ficando o ribossoma funcional. No **alongamento**, o anti-codão de um novo tRNA, com um segundo aminoácido, liga-se ao segundo codão; estabelece-se uma primeira ligação peptídica entre o aminoácido por ele transportado e a metionina; o ribossoma avança três bases e o processo repete-se ao longo do mRNA. Na **finalização** termina a síntese de proteínas quando o ribossoma atinge um codão de finalização – UAA, UAG ou UGA; este codão liga-se a um fator de libertação em vez de se ligar a um tRNA; a cadeia polipeptídica solta-se e separam-se todos os outros intervenientes da tradução.

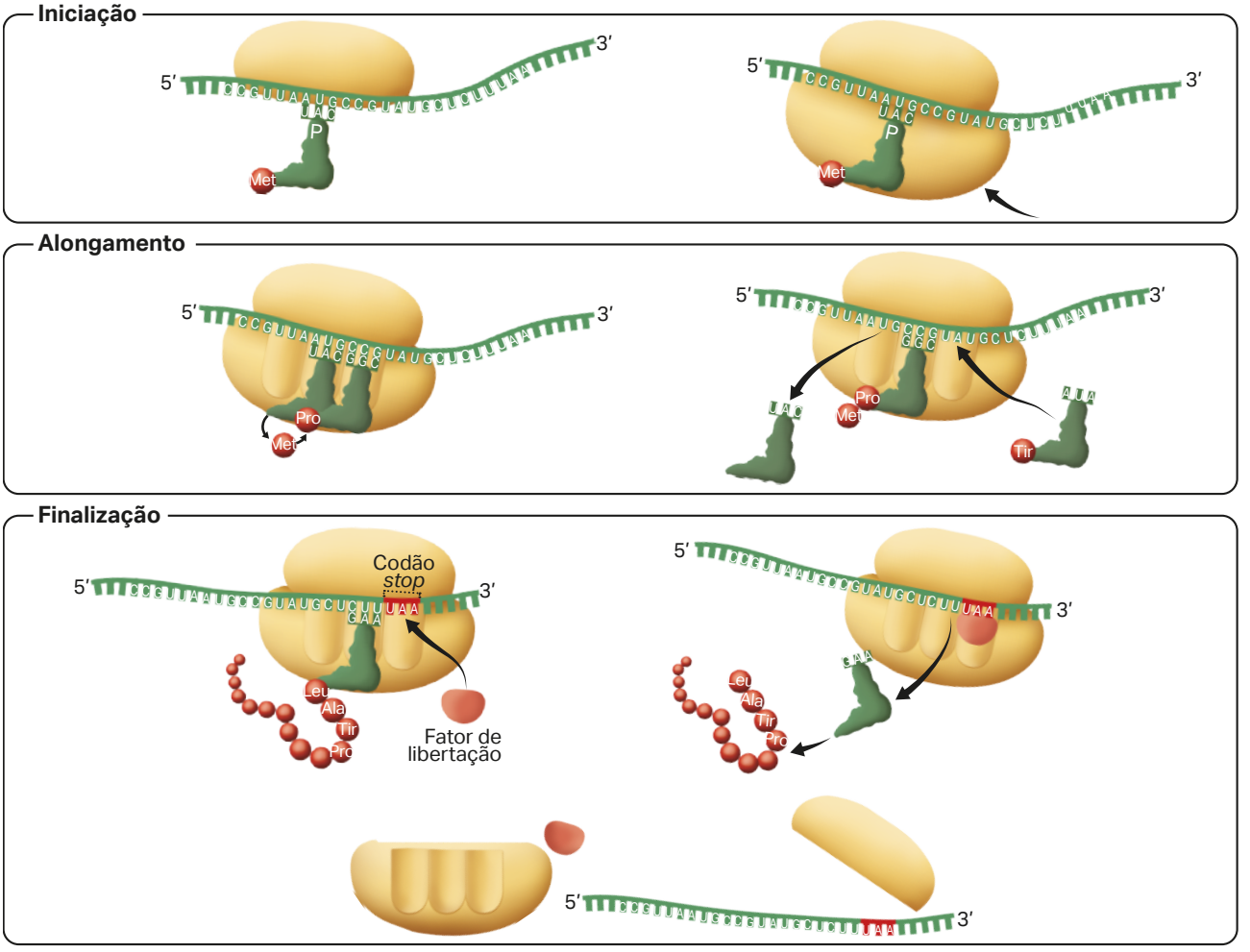


Fig. 14 A tradução ocorre no sentido 5′ → 3′. Recorda que a ligação peptídica entre aminoácidos é anabólica e, portanto, gasta ATP.

1.4. Expressão da informação genética

A informação armazenada no DNA está organizada em genes – **informação genética**. O **gene** é a unidade da informação genética. O **genoma** é o conjunto de genes de uma célula. Cada organismo possui um conjunto de genes que vai determinar as suas características. O **genótipo** é a constituição genética de um organismo para uma determinada característica. O **fenótipo** é a característica morfológica e/ou fisiológica que o organismo manifesta. O fenótipo depende do genótipo, ou seja, corresponde ao modo como o genótipo se expressa no organismo.

As características do fenótipo de um organismo dependem da diversidade de genes que compõem o seu genoma. Cada gene codifica uma proteína específica e as características das diferentes proteínas sintetizadas na célula determinam as características da própria célula e do seu **metabolismo celular** – conjunto de reações químicas que ocorrem na célula. Nestas reações intervém um grande número e variedade de proteínas que desempenham diversas funções em diferentes locais da célula. Um dos tipos de proteínas mais importantes para o metabolismo são as enzimas que têm de ser constantemente produzidas. As proteínas têm sequências de aminoácidos que funcionam como marcadores e são reconhecidas por recetores específicos existentes nas membranas das estruturas celulares para onde as proteínas são exportadas: invólucro nuclear, citoplasma, organelos ou membrana plasmática, por exemplo.

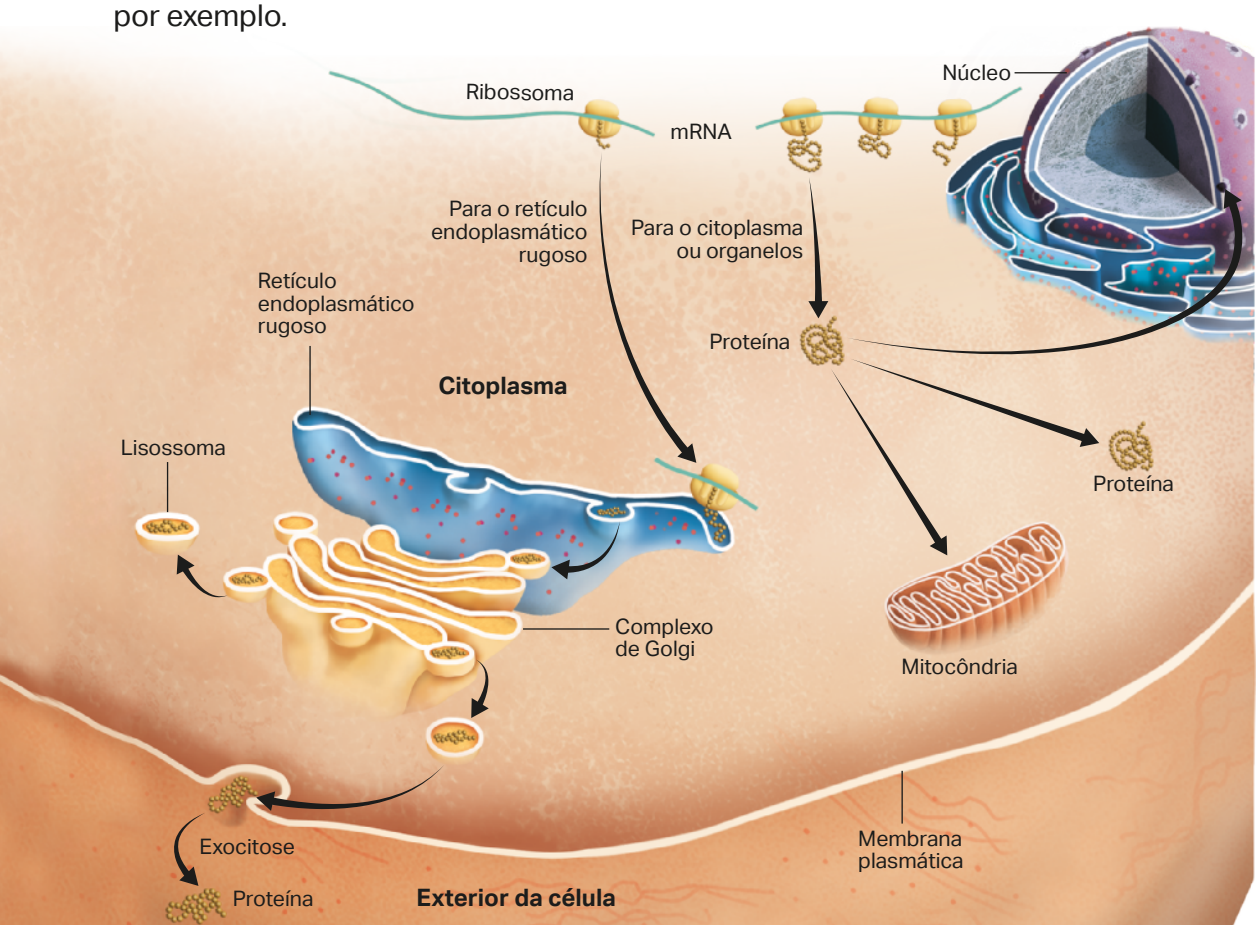


Fig. 15 Local de produção e alguns locais de atuação de proteínas.

A **expressão génica** é o processo pelo qual a informação genética é utilizada para formar proteínas. Num organismo multicelular, apesar de todas as células conterem o mesmo genoma, nem todos os genes são expressos nas diferentes células que o constituem. Deste modo, um organismo pode usar o mesmo gene para produzir proteínas diferentes, em diferentes estágios do seu desenvolvimento, em diferentes tipos de células e mesmo em resposta a mudanças nas condições ambientais. Este processo é muito importante nos organismos eucariontes complexos.

A expressão génica é responsável pela **diferenciação celular** – processo pelo qual as células indiferenciadas, como as células estaminais, se especializam em células com funções específicas, como células musculares ou células nervosas. A diferenciação celular é fundamental para o desenvolvimento de organismos multicelulares e para a formação de tecidos e órgãos com funções diferentes, como o tecido muscular e músculos, ou o tecido nervoso e cérebro.

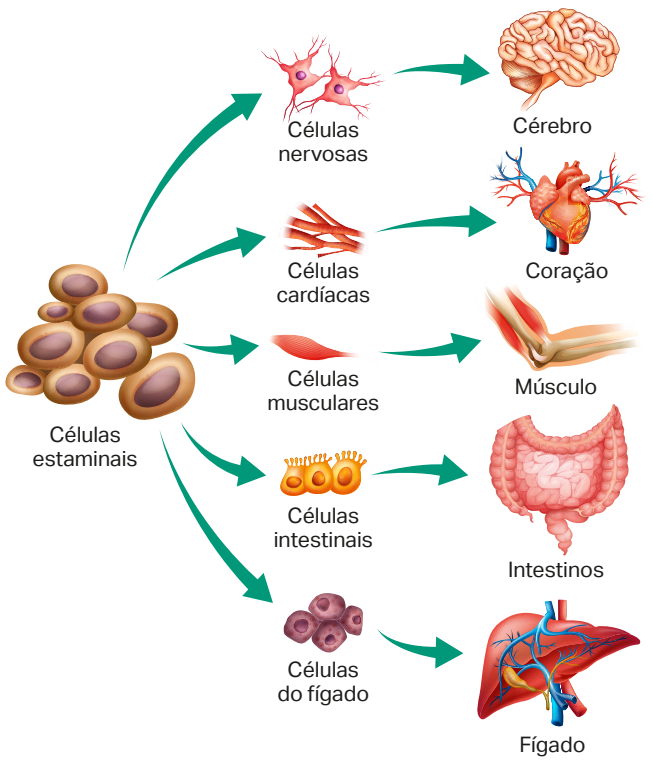


Fig. 16 A informação genética do genótipo é usada para sintetizar diferentes proteínas que formam diferentes células, órgãos e organismos com diferentes fenótipos ou características morfológicas e fisiológicas.

Aprende mais

A propósito dos conceitos de **gene**, **genótipo** e **fenótipo**, recorda as tuas aprendizagens, consultando o manual de Ciências da Terra e da Vida de 9.º ano na página da Internet do Ministério da Educação (https://minedu.gov.cv/manuais54).

Atividade prática

Expressão génica em procariontes e eucariontes

A transcrição e a tradução são etapas da síntese de proteínas e são semelhantes, mas com algumas diferenças em procariontes e eucariontes. Por exemplo, com a exceção de algumas arqueobactérias, os genes dos procariontes não possuem intrões. As figuras 1 e 2 representam, de modo simplificado, o processo de síntese proteica em dois organismos comuns em Cabo Verde: numa bactéria do género *Rhizobium*, importante na fertilização do solo, e numa célula da cauda do lagarto de São Nicolau, *Chioninia nicolauensis*.

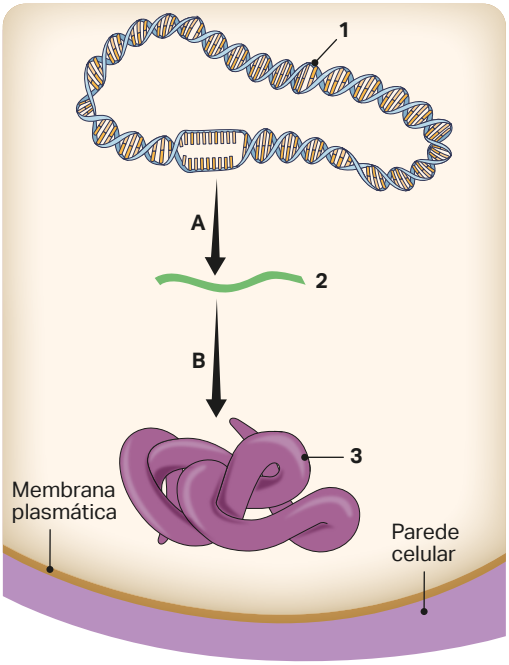


Fig. 1

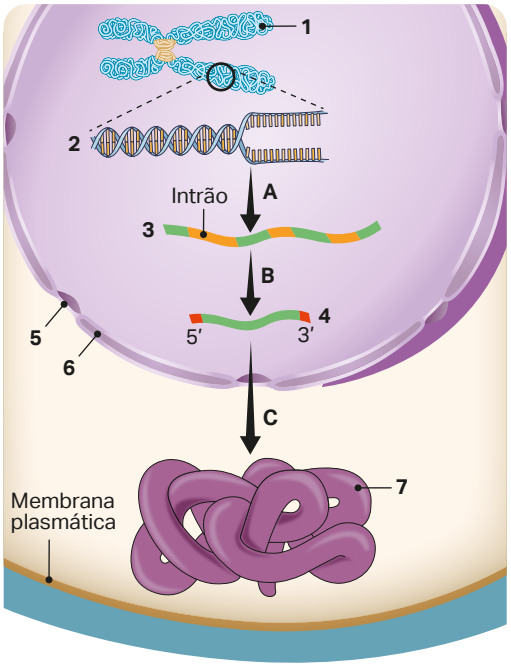


Fig. 2

1. Identifica a figura que pode representar a síntese proteica no lagarto de São Nicolau. Justifica a tua resposta.

2. Os lagartos perdem a cauda facilmente quando capturados. Explica a importância da síntese de proteínas na regeneração da cauda.

3. Faz a legenda dos números e das letras:
   3.1. da figura 1;
   3.2. da figura 2.

4. Explica o conceito de intrão.

5. Distingue a síntese proteica em eucariontes e procariontes.

Atividade laboratorial Extração do DNA

O DNA pode ser extraído facilmente das células de vários tecidos vegetais e visualizado à vista desarmada. A extração e isolamento do DNA implicam a sua libertação do interior do núcleo e da célula, usando-se para este efeito, detergente, sal e álcool. O DNA é insolúvel no álcool e precipita numa mistura com água. Podes usar banana ou outro fruto, como tomate ou quivi. Também podes usar frascos de vidro e outros objetos de uso comum, em substituição do material de laboratório.

Material

- Banana madura
- Detergente da loiça
- Sal de cozinha
- Água destilada
- Vareta
- Almofariz
- Tubos de ensaio
- Gelo
- Funil
- Ácido clorídrico
- Papel de filtro
- Algodão
- Álcool
- Pipeta
- Gobelé
- Fucsina descorada

Procedimento

1. Descasca e corta a banana em pequenos fragmentos e coloca-os no almofariz.
2. Deita uma colher de sopa de sal num gobelé com 70 mL de água destilada. Agita a mistura suavemente com a vareta.
3. Coloca a mistura no almofariz e mói bem.
4. Coloca um filtro no funil e filtra a mistura para uma proveta. Passa o filtrado obtido pelo algodão.
5. Mede e anota o volume de filtrado. Mede a mesma a mesma quantidade de álcool refrigerado para um tubo de ensaio e faz com que escorra, lentamente, ao longo da parede da proveta. Espera alguns minutos.
6. Observa a formação de duas fases: uma fase superior, alcoólica, e uma fase inferior, aquosa.
7. Recolhe com a vareta, um pouco da massa filamentosa que forma o precipitado esbranquiçado.
8. Para corar o precipitado, podes usar a técnica de Feulgen.
   – Coloca o precipitado em água destilada durante 10 segundos.
   – Mergulha o precipitado em ácido clorídrico durante 15 segundos.
   – Passa novamente o precipitado por água destilada durante 10 segundos.
   – Mergulha o precipitado na fucsina descorada durante 3 minutos.

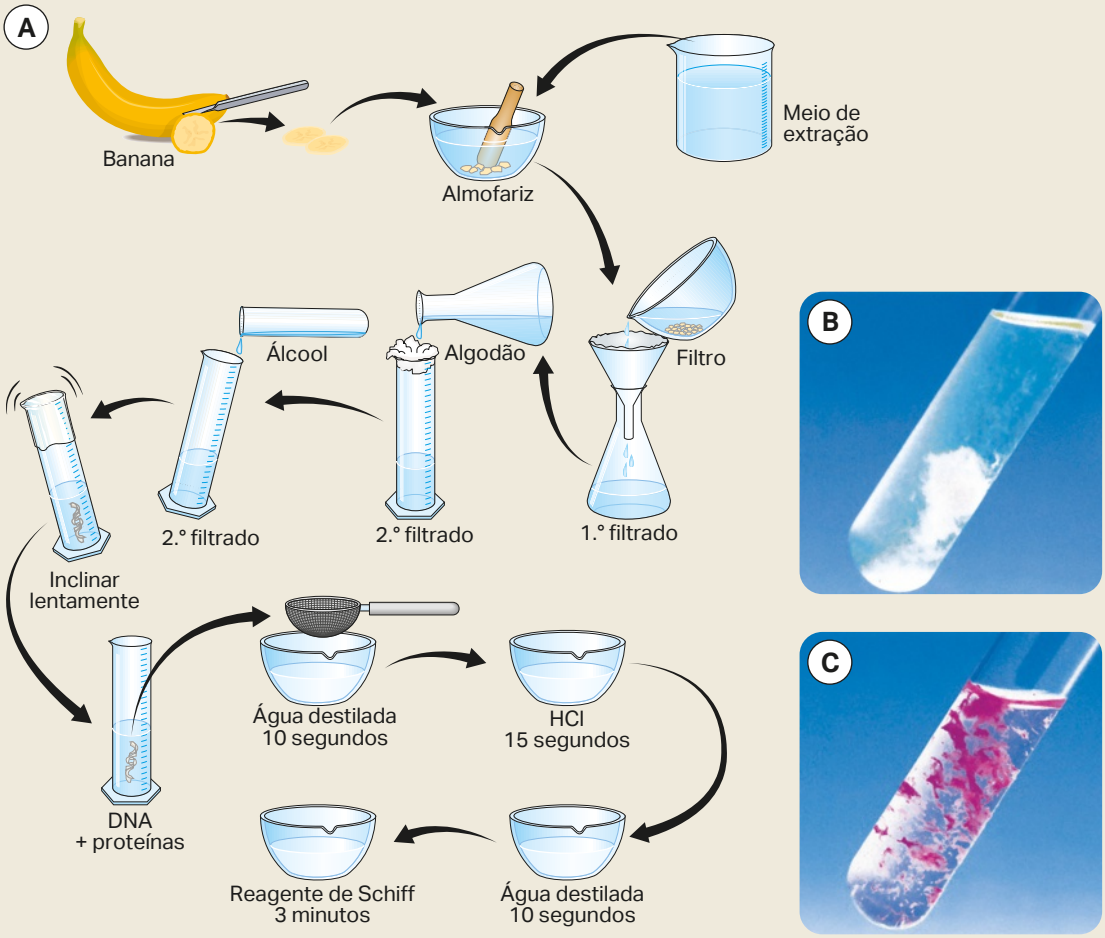


Fig. 1 Extração do DNA a partir de células de banana: A – Procedimento; B – Precipitado, "novelo" de DNA; C – Coloração do DNA.

Discussão

1. Justifica a importância da moagem da banana.
2. Estabelece as relações entre as etapas da extração e os princípios que fundamentam essas etapas.

Etapas da extração	Princípios
1. Destruir as membranas para libertar o DNA. **2.** Separar o DNA dos restantes constituintes celulares. **3.** Provocar a precipitação do DNA para poder ser visualizado. **4.** Testar a presença de DNA através da coloração.	**A** – O papel de filtro retém alguns dos constituintes de maiores dimensões das células e deixa passar o DNA e as proteínas. **B** – A fucsina descorada é um indicador da presença do DNA, retomando a sua cor vermelha. **C** – O detergente atua na desorganização das membranas plasmáticas. **D** – O álcool provoca a desidratação das moléculas de DNA, que se aglutinam e formam um precipitado visível.

Atividade prática

História da Ciência

O trabalho de diversos cientistas, na década de 1950, contribuiu para a descoberta da estrutura do DNA.

Erwin Chargaff (1905-2002) fez análises químicas em diferentes organismos e verificou que a quantidade de timina do DNA desses organismos era semelhante à de adenina, o mesmo acontecendo com a relação citosina guanina. Posteriormente esta relação de igualdade entre bases foi designada por Regra de Chargaff.

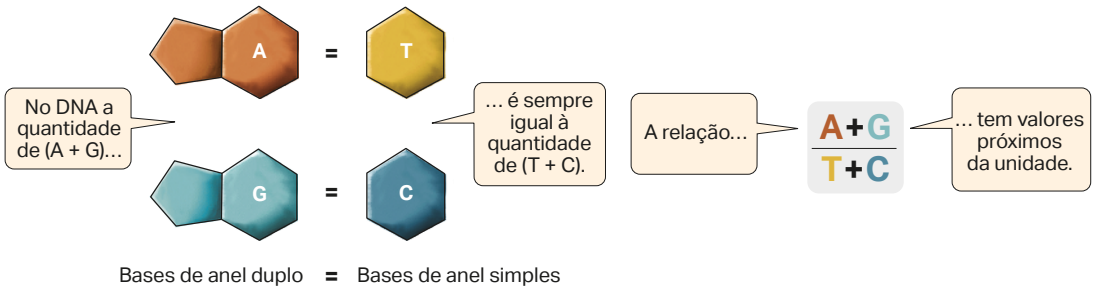


Fig. 1 Regra de Chargaff.

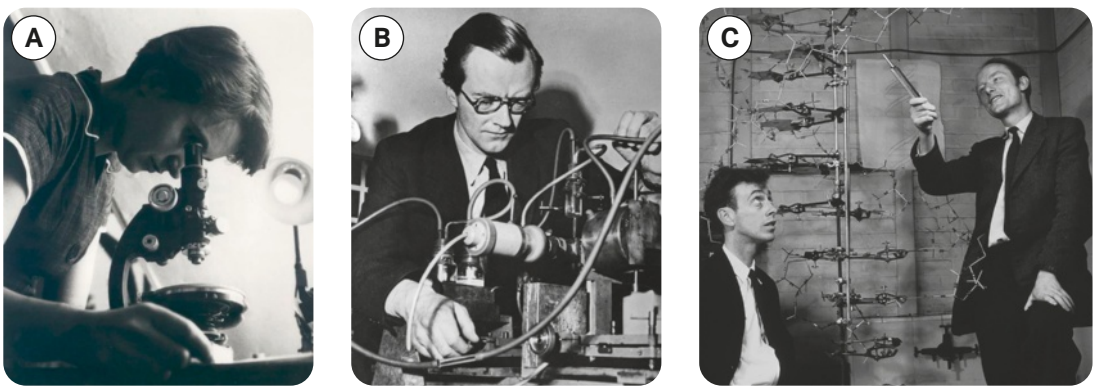


Fig. 2 Cientistas relevantes na descoberta da estrutura do DNA: A – Rosalind Franklin (1920-1958); B – Maurice Wilkins (1916-2004); C – James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004).

Franklin e Wilkins, analisaram amostras de DNA cristalizado utilizando a difração de raios X: técnica utilizada para determinar a posição dos átomos numa molécula.

Watson e Crick, estudando as fotografias obtidas por Franklin e a composição química do DNA, e após numerosas tentativas, conseguiram construir, em 1953, um modelo tridimensional da estrutura do DNA: molécula helicoidal, em cadeia dupla, constituída por sequências polinucleotídicas complementares e antiparalelas.

Watson, Crick e Wilkins partilharam, em 1962, o Prémio Nobel de Fisiologia ou Medicina. Apesar de Watson ter sugerido que Franklin fosse premiada juntamente com Wilkins com o Prémio Nobel da Química, o Comité Nobel não faz indicações póstumas, ou seja, não reconhece pessoas falecidas. Rosalind Franklin morreu aos 37 anos de cancro do ovário, pelo que nunca soube que as suas fotografias foram a principal prova para o modelo da dupla hélice do DNA.

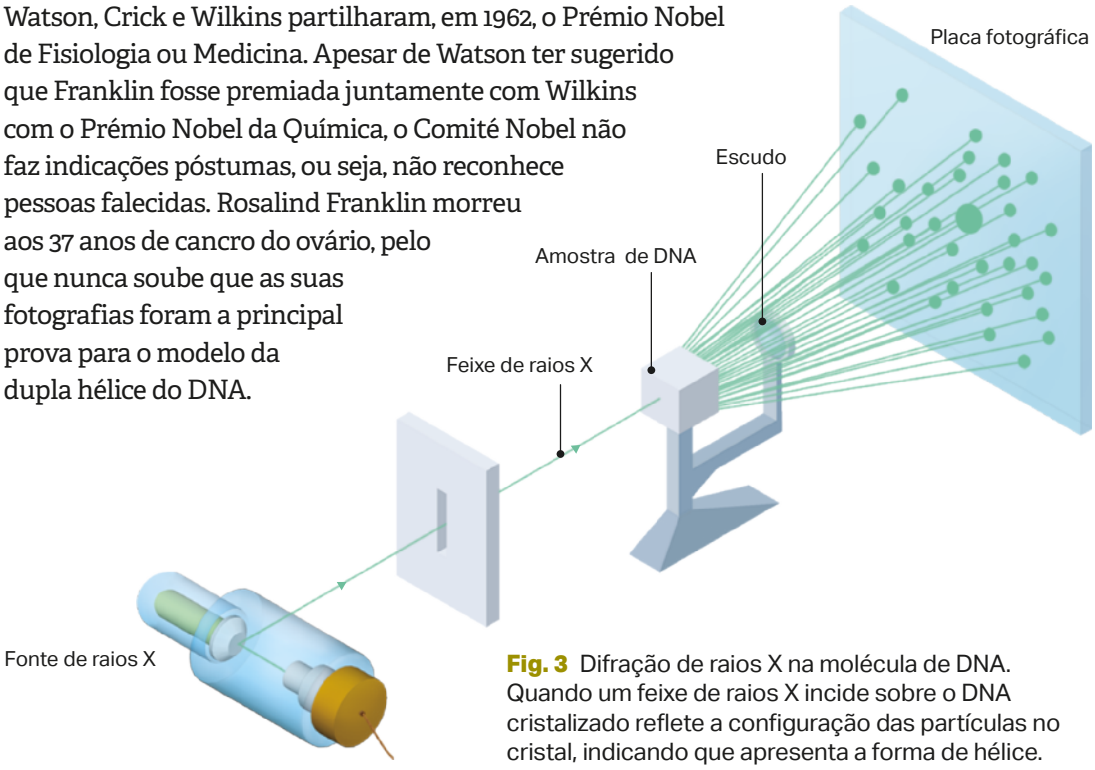


Fig. 3 Difração de raios X na molécula de DNA. Quando um feixe de raios X incide sobre o DNA cristalizado reflete a configuração das partículas no cristal, indicando que apresenta a forma de hélice.

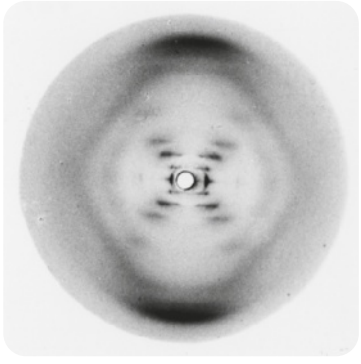


Fig. 4 A fotografia 51, uma das mais importantes da história da ciência, obtida por R. Franklin, foi decisiva no esclarecimento da estrutura tridimensional do DNA.

1 **Descreve o contributo para a descoberta da estrutura do DNA de:**
1.1. E. Chargaff;
1.2. R. Franklin e M. Wilkins.

2 **Refere o tipo de ligações que se estabelecem entre:**
2.1. os nucleótidos da mesma cadeia;
2.2. as bases nitrogenadas que fazem a ligação entre as duas cadeias.

3 **Justifica a afirmação: "As cadeias do DNA são antiparalelas."**

Atividade prática

Construção de um modelo tridimensional de DNA

Embora não haja um número exato, sabe-se que foram muitos os modelos construídos por James Watson e Francis Crick antes de apresentarem o seu modelo de DNA em dupla hélice. Podes construir um modelo tridimensional da estrutura do DNA. Recorda que os modelos, mesmo os modelos científicos, embora sejam uma forma de explicar processos naturais, têm limitações: não representam exatamente a realidade e não são definitivos. São analogias que permitem simular processos reais, mas que ajudam a compreender processos complexos, como a constituição da molécula de DNA.

Material

- Bolas de esferovite
- Palitos de churrasco
- Missangas
- Tesoura
- Agulha de costura
- Pincel
- Linha branca
- Tinta de seis cores diferentes

Procedimento

1. Pinta as bolas de esferovite. Escolhe seis cores diferentes para representar as desoxirriboses, os grupos fosfato e as quatro bases nitrogenadas. Deixa secar. Neste modelo, as cores branca e vermelha representam açúcar e fosfato; verde, azul, amarelo e rosa, as bases.

2. Após a secagem, organiza as bases nitrogenadas em pares. A ordem das cores é indiferente, desde que sejam complementares. Coloca as bases no meio de cada metade do palito deixando as pontas livres. Coloca os açúcares nas pontas de cada palito.

3. Corta linha de comprimento suficiente para atravessar 15 bolas. Enfia a linha na agulha e ata uma missanga na ponta. Em seguida, passa a linha pelo centro de cada bola, alternando açúcar e fosfato até que todos os palitos estejam fixos. Ata outra missanga depois da última bola.

4. Repete o procedimento para o outro lado dos palitos. Gira as duas cordas em sentido anti-horário para simular o aspeto de dupla hélice.

Em resumo…

Como se relaciona o ciclo celular com as proteínas?

- O **ciclo celular** é necessário para o **crescimento**, **manutenção** e **reparação** dos organismos multicelulares.
- A estrutura de cada proteína é determinada pelo **material genético** que são os ácidos nucleicos.
- Os ácidos nucleicos são o **DNA**, ácido desoxirribonucleico, e o **RNA**, ácido ribonucleico.

Qual é a estrutura do núcleo e do material genético nuclear?

- O **núcleo** é delimitado pelo **invólucro nuclear** – membrana dupla com numerosos **poros nucleares**.
- No interior do núcleo estão os cromossomas. Cada **cromossoma** é constituído por DNA e por proteínas, conjunto denominado **cromatina**, e formado por **dois cromatídios** unidos pelo **centrómero**.

Qual é a estrutura do DNA?

- A molécula de DNA é uma dupla hélice formada por uma **cadeia polinucleotídica** dupla de **nucleótidos**.
- A **composição química do DNA** é: base nitrogenada, grupo fosfato e desoxirribose. As **bases nitrogenadas** são **adenina**, **guanina**, **citosina** e **timina**. O **grupo fosfato** confere à molécula as características ácidas. A **desoxirribose** é uma pentose.
- Segundo o **modelo da dupla hélice**, cada uma das cadeias do DNA tem **orientação antiparalela** e **complementaridade de bases**.

Qual é a estrutura do RNA?

- A molécula de RNA é formada por uma **cadeia polinucleotídica** simples de nucleótidos.
- A **composição química do RNA** é: base nitrogenada, grupo fosfato e ribose. As **bases nitrogenadas** são **adenina**, **guanina**, **citosina** e **uracilo**. O **grupo fosfato** confere à molécula de RNA as características ácidas. A **ribose** é uma pentose.
- O **RNA mensageiro**, **mRNA**, é formado por uma cadeia polinucleotídica simples.
- O **RNA de transferência**, **tRNA**, é uma molécula de cadeia polinucleotídica simples que, em determinadas zonas, forma uma cadeia dupla.
- O **RNA ribossómico**, **rRNA**, associa-se a proteínas, formando os ribossomas.

Em resumo…

Como ocorre a replicação do DNA?

- A **replicação do DNA** é o processo pelo qual uma molécula de DNA é duplicada. O DNA tem **replicação semiconservativa**: cada uma das novas cadeias é uma réplica de uma das cadeias originais.
- Durante a replicação, as duas cadeias do DNA original separam-se uma da outra. Em seguida, com a intervenção da **DNA polimerase** formam-se duas novas cadeias polinucleotídicas com **bases complementares** das cadeias originais.

O que é o fluxo unidirecional de informação?

- No **fluxo unidirecional** entre a informação dos ácidos nucleicos e as proteínas, a informação armazenada no DNA é copiada para o mRNA que transporta a mensagem contida no gene e os ribossomas fazem a leitura da mensagem, descodificando-a numa sequência de aminoácidos que constituem uma determinada proteína.

O que é o código genético?

- O **codogene** ou tripleto do DNA é a mais pequena unidade de informação genética necessária para a codificação de um aminoácido.
- O **codão** é o grupo de três nucleótidos do mRNA que codifica um aminoácido particular.
- O **código genético** é a relação entre os codões do mRNA e os aminoácidos que eles codificam. É um quadro de correspondência entre os 64 codões possíveis e os 20 aminoácidos das proteínas.

Como se relacionam a transcrição e tradução com a síntese de proteínas?

- Na **transcrição**, a informação do DNA é transcrita, por complementaridade de bases, para o RNA mensageiro.
- Nos eucariontes, o RNA transcrito é transformado antes de sair do núcleo num mecanismo chamado **processamento**.
- Na **tradução**, a informação contida no mRNA é descodificada numa sequência de aminoácidos que forma uma proteína.

O que é a expressão da informação genética?

- A informação armazenada no DNA está organizada em genes – **informação genética**. O **gene** é a unidade da informação genética. O **genoma** é o conjunto de genes de uma célula.
- O **genótipo** é a constituição genética de um organismo para uma determinada característica. O **fenótipo** é a característica morfológica e/ou fisiológica que o organismo manifesta.
- As características das diferentes proteínas sintetizadas na célula determinam as características da própria célula e do seu **metabolismo celular** – conjunto de reações químicas que ocorrem na célula.
- A **expressão génica** é o processo pelo qual a informação genética é utilizada para formar proteínas.

Teste formativo

1 **Lê atentamente os textos e observa a figura 1. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

A diabetes é um dos grandes problemas da saúde pública em Cabo Verde, sendo uma das principais causas de amputação não traumática, de cegueira na terceira idade e de incapacidade da população idosa. Cabo Verde tem, desde 2007, o "Programa de prevenção e controlo das doenças crónicas", contudo não existe ainda um programa específico para a diabetes.

Baseado em: Solange S. A. Moreira, 2021, https://hdl.handle.net/10316/115766, pesquisado em 27-05-2025

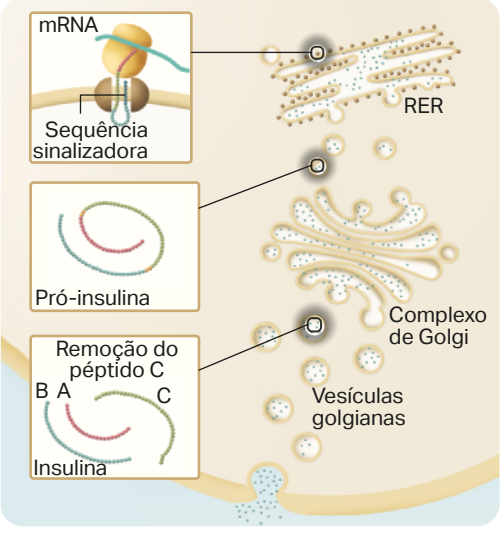


Fig. 1

A hormona insulina é uma proteína que regula a via catabólica de degradação da glicose no metabolismo celular. É produzida no pâncreas endócrino, nas células beta dos ilhéus de Langherans. O mRNA da insulina é traduzido numa cadeia única com 110 aminoácidos. Esta cadeia contém uma sequência sinalizadora inicial com 24 aminoácidos que direciona a cadeia polipeptídica em crescimento para o RER. Em seguida, a sequência sinalizadora é cortada e o polipéptido – pró-insulina – é libertado no interior do RER. A pró-insulina é processada no aparelho de Golgi e formam-se três cadeias separadas. Posteriormente, as cadeias A e B são ligadas formando uma molécula de insulina que sai da célula com a função de baixar os níveis de glicose nos tecidos-alvo.

Baseado em: Karas, J. *et al.* 2021, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c01251, pesquisado em 27-05-2025

1.1. Os níveis elevados de glicose no sangue durante um longo intervalo de tempo causam a doença conhecida como…

(A) diabetes.
(B) insulina.
(C) amputação.
(D) pró-insulina.

1.2. A insulina é…

(A) uma proteína com a função de subir os níveis de glicose.
(B) um dipéptido com uma sequência sinalizadora de 24 aminoácidos.
(C) uma proteína com a função de baixar os níveis de glicose.
(D) um glícido com uma cadeia de 110 aminoácidos.

Teste formativo

1.3. Na figura 1 está representado o processo de… que ocorre…
(A) transcrição… no citoplasma.
(B) processamento… no complexo de Golgi.
(C) replicação… no núcleo.
(D) tradução… nos ribossomas do RER.

1.4. O processo que originou o RNA… representado na figura 1 ocorre…
(A) de transferência… no ribossoma.
(B) mensageiro… no núcleo.
(C) de transferência… no núcleo.
(D) mensageiro… no complexo de Golgi.

1.5. O… de iniciação AUG do mRNA corresponde ao aminoácido… que não está presente na pró-insulina, porque este aminoácido faz parte da cadeia sinalizadora que é retirada.
(A) codão… prolina…
(B) anti-codão… serina…
(C) anti-codão… lisina…
(D) codão… metionina…

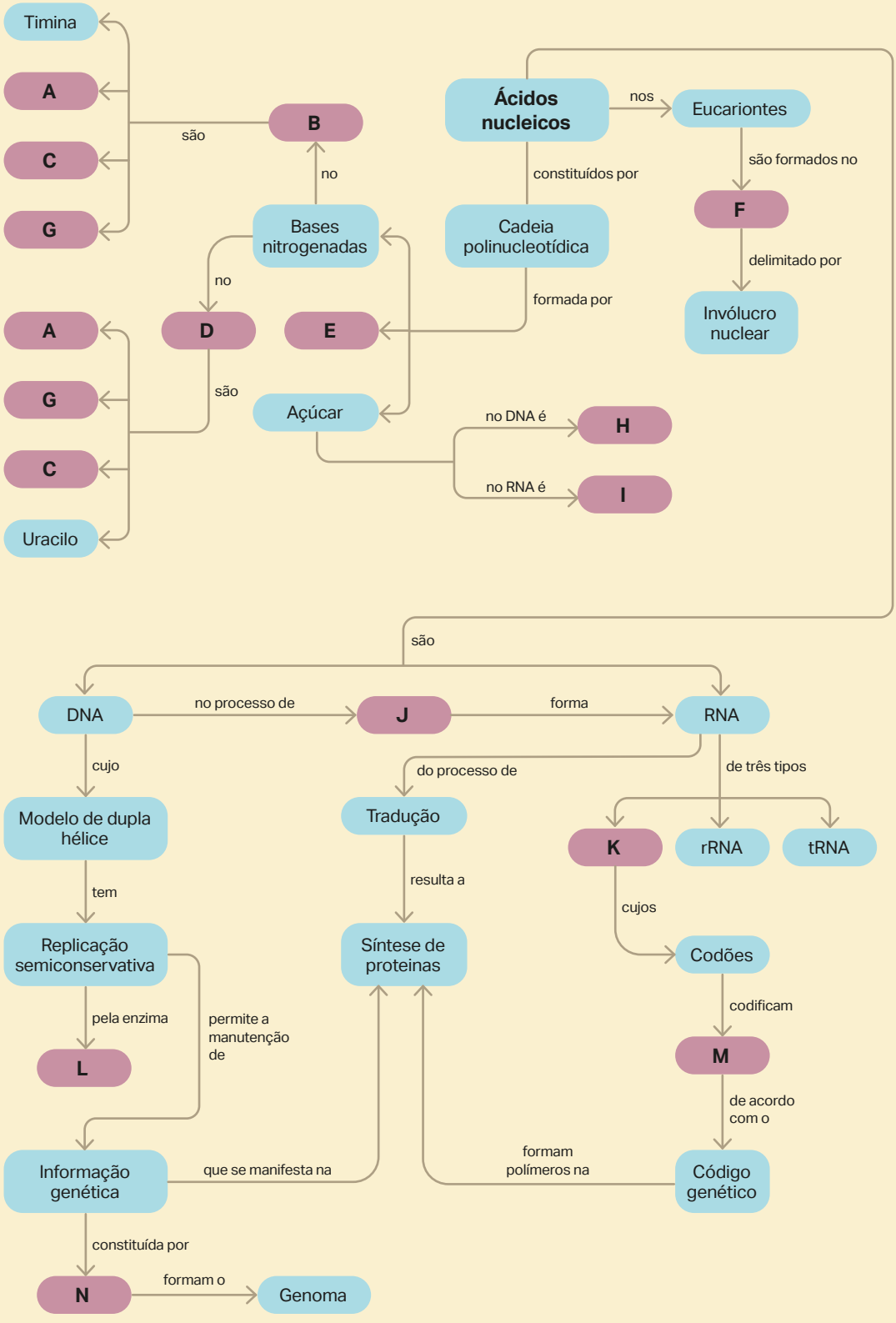
2 **Ordena as letras de modo a formar a sequência correta de formação da insulina.**
A – Tradução num polipéptido com 110 aminoácidos que ocorre nos ribossomas com a intervenção do mRNA e do tRNA.
B – Transcrição onde é polimerizada a molécula de pré-mRNA a partir dos genes do DNA.
C – Corte da sequência sinalizadora e formação da pró-insulina.
D – Processamento em que o pré-mRNA é transformado em mRNA.
E – Corte da pró-insulina em cadeias A, B e C, eliminação da C e união das A e B formando a insulina.

3 **Considera as afirmações que dizem respeito à diabetes e seleciona a opção correta.**
I – Apesar da taxa de prevalência da diabetes em Cabo Verde estar abaixo da média mundial, é necessário haver um programa específico para esta doença.
II – A hormona insulina é uma cadeia polinucleotídica de bases nitrogenadas.
III – A insulina baixa os níveis de glicose nos tecidos-alvo.

(A) I é verdadeira; II e III são falsas.
(B) II é verdadeira; I e III são falsas.
(C) II e III são verdadeiras; I é falsa.
(D) I e III são verdadeiras; II é falsa.

4 **Refere uma medida de promoção da saúde para o combate à diabetes.**

Mapa de conceitos



2

Reprodução nos seres vivos

2.1. Reprodução assexuada

2.2. Reprodução sexuada e ciclos de vida

O milho-de-terra, a mandioca e a batata têm grande importância na alimentação cabo-verdiana e, tal como noutros seres vivos, o seu cultivo depende da reprodução. A planta do milho tem reprodução sexuada com a intervenção de polinizadores, como as abelhas, dando origem a sementes de milho geneticamente diferentes da planta progenitora.
A raiz tuberosa da mandioca e o caule subterrâneo, tubérculo, da batateira, são estruturas de reprodução assexuada: ao serem plantadas, desenvolvem-se em mandiocas e batateiras geneticamente idênticas às plantas progenitoras.

2.1. Reprodução assexuada

A **reprodução** é o conjunto de processos através dos quais os seres vivos, progenitores, asseguram a continuidade da sua espécie originando novos seres vivos, descendentes, idênticos a si próprios. Os processos reprodutivos ocorrem através da divisão celular e consideram-se dois tipos: reprodução assexuada e reprodução sexuada.

Na **reprodução assexuada**, a descendência é proveniente de um único progenitor, não ocorrendo fecundação. Na maior parte dos casos, a reprodução assexuada baseia-se na **mitose** – processo de divisão celular em que uma célula se divide em duas células-filhas, geneticamente idênticas à célula-mãe. Deste modo, a reprodução assexuada é um processo de **clonagem** e todos os descendentes são **clones**, pois são geneticamente idênticos ao progenitor. Assim, este tipo de reprodução não assegura a variabilidade genética.

Existem diversas **estratégias de reprodução assexuada**: bipartição, fragmentação, gemulação, partenogénese, propagação vegetativa e esporulação.

Bipartição

A **bipartição** é o processo de reprodução assexuada em que um indivíduo se divide em dois indivíduos com dimensões idênticas. A bipartição ocorre principalmente em seres unicelulares. Nos procariontes, após a replicação do DNA, organizam-se dois nucleoides e formam-se duas bactérias. Nos eucariontes, como a amiba, acontece a mitose seguida de citocinese, formando-se duas amibas.

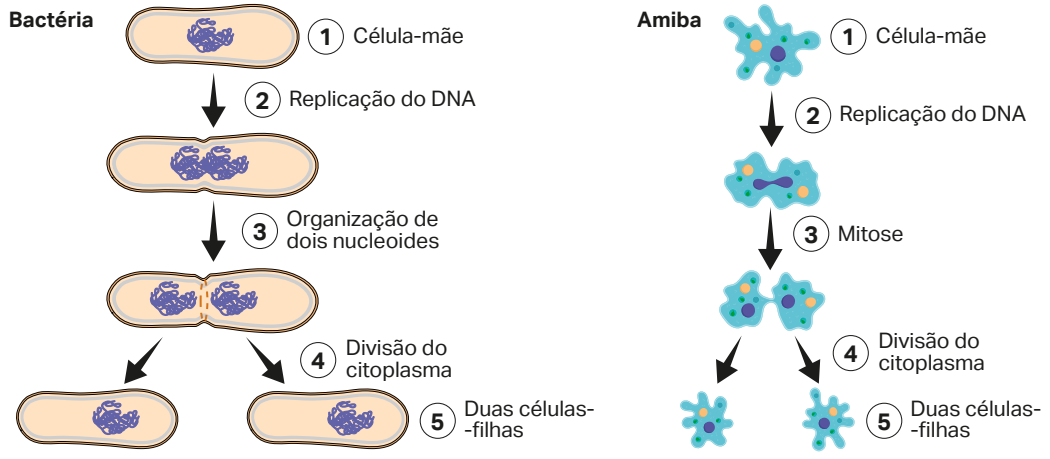


Fig. 1 Bipartição em seres unicelulares: bactéria e amiba.

Aprende mais

A planária é um animal platelminte, entre 3 e 10 mm, de vida livre, e que, além de produzir gâmetas para a reprodução sexuada, se reproduz assexuadamente por **bipartição** ou por **fragmentação**.

Fragmentação

A **fragmentação** é o processo de reprodução assexuada em que um novo indivíduo, descendente, tem origem a partir da regeneração de um fragmento do indivíduo progenitor. A fragmentação ocorre em algumas algas e fungos e em alguns animais, como a planária e a estrela-do-mar.

Fig. 2 Fragmentação em estrela-do-mar.

Gemulação

A **gemulação** é o processo de reprodução assexuada em que um novo indivíduo, descendente, tem origem a partir de um gomo ou gema que se forma no indivíduo progenitor, separando-se deste. Na gemulação de seres unicelulares, ocorre uma divisão desigual do citoplasma, dando origem a duas células de diferentes tamanhos, como nas leveduras. Numa das células deste fungo unicelular, forma-se um gomo ou gema e um dos núcleos resultantes da mitose migra para o gomo que se separa da célula-mãe. Existem animais cnidários, como a hidra, em que o gomo ou gema é formado por um conjunto de várias células em mitose, formando uma nova hidra que se separa da hidra progenitora.

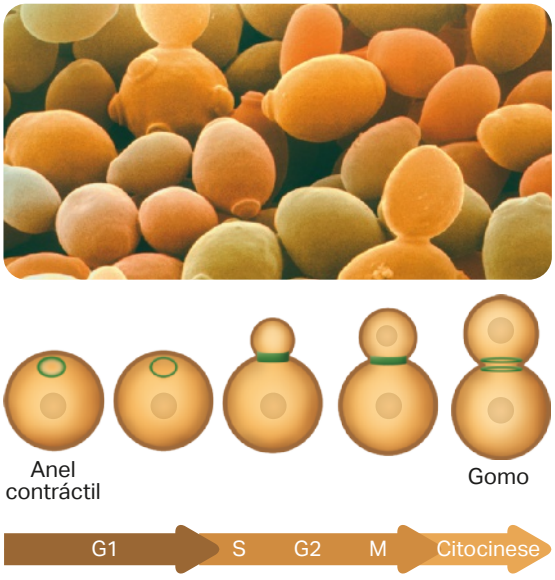


Fig. 3 Gemulação em *Saccharomyces cerevisiae*, levedura do pão, ao longo do ciclo celular.

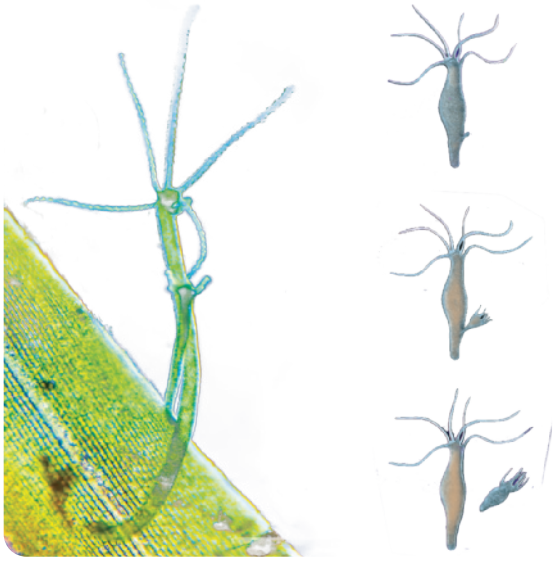


Fig. 4 Gemulação em hidra.

Partenogénese

A **partenogénese** é o processo de reprodução assexuada em que um novo indivíduo, descendente, tem origem a partir do desenvolvimento apenas do gâmeta feminino da progenitora, o oócito, não ocorrendo fecundação.

A partenogénese é comum em alguns insetos, como formigas e abelhas. Na abelha-do-mel, a abelha-rainha é a fêmea fértil e produz oócitos haploides que podem ou não ser fecundados pelo zangão, o macho fértil. Os oócitos não fecundados desenvolvem-se por partenogénese e originam zangãos haploides. Os oócitos fecundados dão origem a fêmeas diploides estéreis, as obreiras, ou a fêmeas diploides férteis, as rainhas, conforme o tipo de alimentação que as larvas recebem. As larvas alimentadas com mel e pólen originam obreiras e as larvas alimentadas com geleia-real originam rainhas.

A partenogénese é pouco frequente em vertebrados, mas existem casos relatados em aves, anfíbios, répteis e peixes, como os tubarões. Neste caso, os biólogos pensam que a redução do número de machos devido a pesca excessiva, faz com que as fêmeas de tubarão se reproduzam por partenogénese. As crias de tubarão têm menor diversidade genética, podendo ser menos capazes de resistir a mudanças ambientais, e menor sobrevivência.

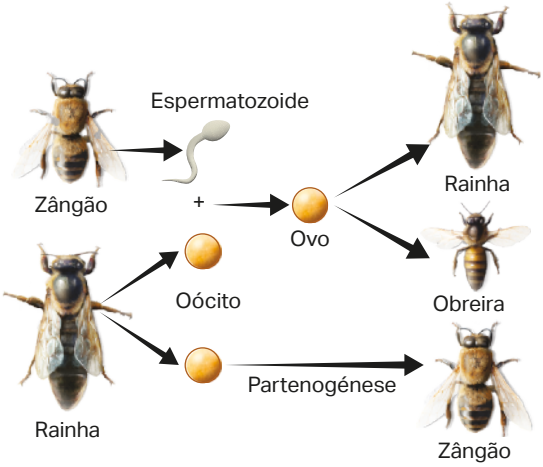


Fig. 5 Reprodução e castas de abelha-do-mel, *Apis mellifera*.

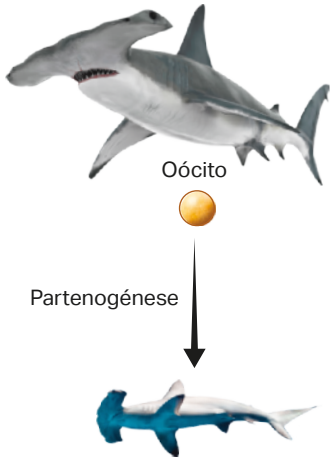


Fig. 6 Tubarão-martelo-gigante, *Sphyrna mokarran*.

Responde tu

1. Descreve uma vantagem e uma desvantagem da partenogénese.
2. Em Cabo Verde, há várias espécies de peixes cartilagíneos protegidas por lei – tubarões, cações, raias e quimeras. Faz um trabalho de pesquisa sobre o modo de reprodução destes peixes e a importância da sua conservação. Podes consultar o site da associação Biosfera (www.biosfera1.com). Elabora uma apresentação para a tua comunidade.

Propagação vegetativa

A **propagação vegetativa** é um processo de reprodução assexuada exclusivo das plantas, em que o novo indivíduo, descendente, tem origem a partir do desenvolvimento de estruturas vegetativas, como raiz, caule ou folha. Nestas estruturas existem tecidos especiais, os meristemas, cujas células mantêm a capacidade de diferenciação, originando novas plantas completas. A propagação vegetativa é utilizada na agricultura para multiplicar diversas plantas e obter clones com alguma característica interessante.

Propagação vegetativa natural de algumas plantas em Cabo Verde

Folha

O bálsamo, *Kalanchoe daigremontiana*, desenvolve, na margem das folhas, pequenas plântulas que caem no solo e dão origem a outros bálsamos.

Caule – Estolho

O morangueiro, *Fragaria* sp., produz novos morangueiros a partir de estolhos – caules rastejantes que partem do caule principal.

Caule – Rizoma

O bambu-grande ou carisso-da-guiné, *Bambusa vulgaris*, origina rebentos a partir do rizoma – caule subterrâneo com substâncias de reserva.

Caule – Tubérculo

A batata, *Solanum tuberosum*, possui em cada tubérculo diversos gomos com capacidade germinativa que originam novas plantas.

Caule – Bolbo

O alho, *Allium sativum*, possui em cada bolbo um gomo terminal rodeado por camadas de folhas carnudas com substâncias de reserva.

Raiz

A batata-doce, *Ipomoea batatas*, desenvolve novas plantas a partir da sua raiz tuberosa com substâncias de reserva.

Esporulação

A **esporulação** é um processo de reprodução assexuada em que os novos indivíduos, descendentes, têm origem em **esporos** – células reprodutoras especializadas produzidas pelo indivíduo progenitor. Os esporos são formados em estruturas chamadas esporângios. Cada esporo está revestido de uma camada protetora muito resistente que lhe permite resistir a condições ambientais adversas, germinando quando as condições ficam favoráveis. A esporulação é comum em fungos, algas e plantas, como os musgos e os fetos.

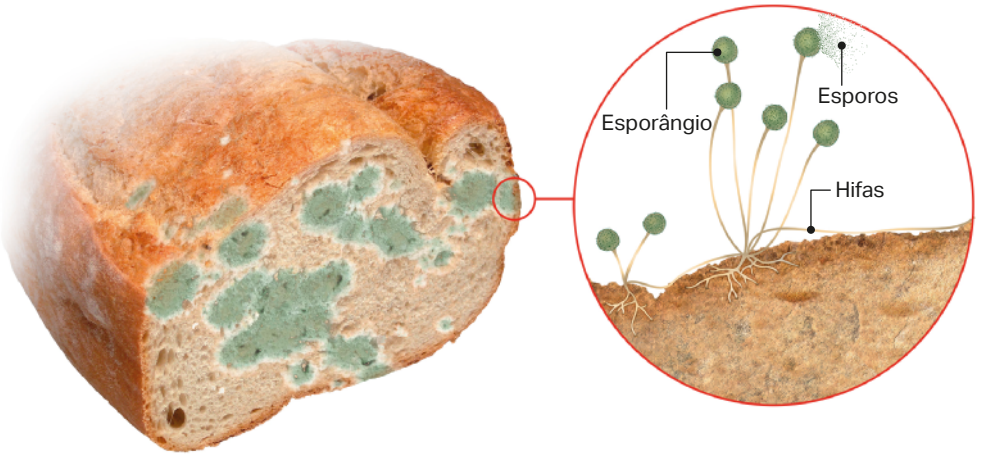


Fig. 7 Esporulação no fungo *Rhizopus* sp. ou bolor do pão.

Fig. 8 Esporulação no musgo *Funaria* sp. A espécie *F. chevalieri* é endémica da ilha do Fogo.

Responde tu

1. **Refere os processos de reprodução assexuada.**
2. **Relaciona o processo de reprodução assexuada com o processo mitótico:**
   2.1. na gemulação; **2.2.** na propagação vegetativa; **2.3.** na esporulação.

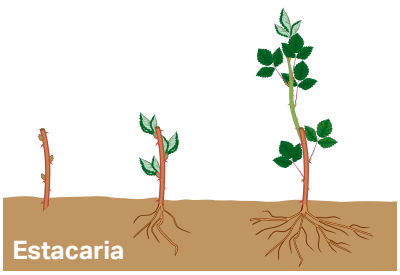
Utilização da reprodução assexuada com fins económicos

A capacidade de propagação vegetativa pode ser induzida de modo artificial, pelo ser humano, para propagar plantas. Existem vários métodos artificiais utilizados nos setores agrícola e florestal para a produção de novas plantas, como a estacaria, a mergulhia e a enxertia.

Métodos artificiais de reprodução assexuada em plantas e vegetais

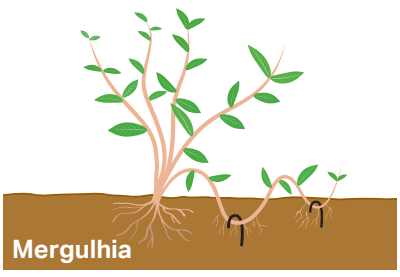
Estacaria

Cortam-se ramos de caule, as estacas, às quais se corta a extremidade, e que se enterram no solo onde formarão raízes, como no alecrim.



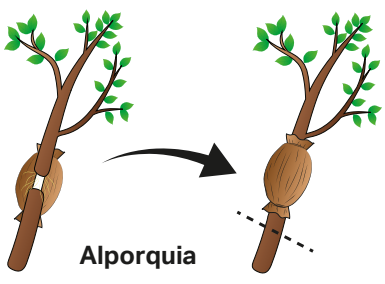
Mergulhia

Mergulha-se no solo parte de um ramo da planta até se formarem raízes e separa-se da planta progenitora, como na goiaba.



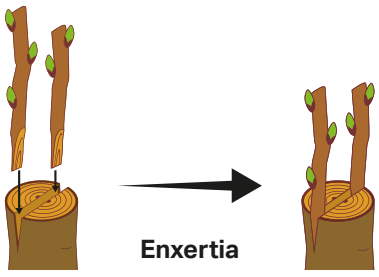
Alporquia

É semelhante à mergulhia e é usada quando não há a possibilidade de dobrar o ramo da planta até ao solo, como no limoeiro.



Enxertia

Consiste na união das superfícies cortadas de partes de plantas diferentes da mesma espécie ou de espécies diferentes, como na macieira.



Vantagens e desvantagens da reprodução assexuada

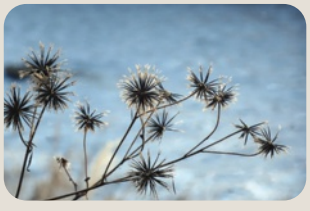
As **vantagens da reprodução assexuada** são, essencialmente, económicas, pois permite selecionar variedades de plantas com as características que as pessoas pretendem e reproduzir essas plantas rapidamente e em grande número, mantendo os descendentes as características selecionadas.

As **desvantagens da reprodução assexuada** estão relacionadas com o facto de os clones serem geneticamente idênticos ao progenitor. Atendendo a que os processos de reprodução assexuada estão relacionados com a mitose, os indivíduos que deles resultam são geneticamente semelhantes. A ausência de variabilidade genética numa população de uma espécie pode conduzir à diminuição do número de indivíduos ou mesmo à extinção da espécie, já que diminui a probabilidade de a população resistir a mudanças ambientais desfavoráveis, por exemplo.

Atendendo à rapidez com que se multiplicam, algumas espécies de plantas com reprodução assexuada podem tornar-se **plantas invasoras**, como acontece em vários locais do mundo e em Cabo Verde.

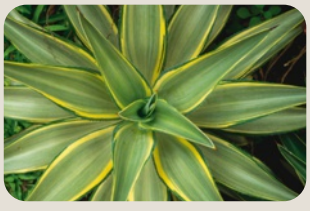
Aprende mais

As **invasões biológicas** são uma das catástrofes antrópicas que influencia o equilíbrio dos ecossistemas, principalmente nas ilhas, cuja principal causa é a introdução, pelas pessoas, de **espécies invasoras** – espécies de crescimento populacional exponencial, principalmente devido à ausência de predadores no novo *habitat* ou pelo facto de ganharem na competição com as espécies nativas, prejudicando-as. O crescimento da população sem controlo tem como consequência a ocupação do *habitat* e a possível extinção das **espécies autóctones** ou nativas – espécies que são naturais da região onde ocorrem. As espécies autóctones podem ser **endémicas** – espécies que ocorrem exclusivamente num determinado local, não existindo em qualquer outro lugar da Terra, no estado selvagem.
Em **Cabo Verde**, as espécies de plantas nativas são poucas e muitas destas são endémicas, com populações pequenas e ameaçadas. As plantas exóticas são muito diversificadas e constituem uma importante ameaça à sobrevivência das plantas nativas.



Bidens bipinnata

Euphorbia heterophylla



Furcraea foetida

Lantana camara

Algumas plantas invasoras em Cabo Verde.

2.2. Reprodução sexuada

Na **reprodução sexuada**, a descendência é proveniente de dois progenitores, ocorrendo fecundação. Os descendentes apresentam características comuns entre si e com os progenitores, mas apresentam também diferenças devidas aos processos de meiose e fecundação. Assim, a reprodução sexuada assegura a variabilidade genética.

Fecundação e meiose

Na reprodução sexuada há **fecundação** – união de gâmetas. Os **gâmetas** são células especializadas para a reprodução. Da união do gâmeta feminino com o gâmeta masculino resulta o ovo ou zigoto que se desenvolve num descendente. Este tem, assim, um conjunto de cromossomas provenientes de cada um dos gâmetas, ou seja, cromossomas do pai e cromossomas da mãe. Cada par de cromossomas, um de origem materna e outro de origem paterna são denominados **cromossomas homólogos**.

O ovo e todas as células que dele resultam são **células diploides** ou **2*n*** e têm um conjunto de cromossomas duplicado relativamente aos gâmetas que são **células haploides** ou ***n***.

Apesar de na fecundação haver uma duplicação do número de cromossomas, verifica-se que o número de cromossomas se mantém constante de pais para filhos. Este facto deve-se à **meiose** – processo de divisão nuclear em que uma célula diploide dá origem a células haploides geneticamente diferentes da célula original. A meiose ocorre em tecidos especializados: gametângios e esporângios. Os **gametângios** são os tecidos que formam gâmetas e os **esporângios** são os tecidos que formam esporos.

Nos animais, as células reprodutoras formam-se, geralmente, nas **gónadas** – órgãos especializados para a formação de gâmetas. Os ovários são as gónadas femininas e produzem oócitos, e os testículos são as gónadas masculinas e produzem espermatozoides.

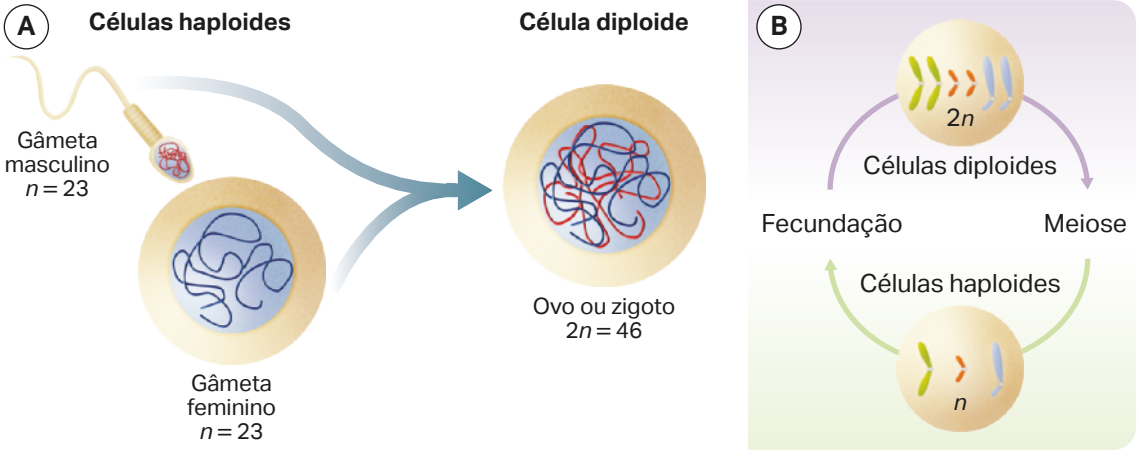


Fig. 9 A – Fecundação; B – Relação entre a fecundação e a meiose.

Distinção entre mitose e meiose

A divisão celular é fundamental na reprodução. Por um lado, a mitose, ao produzir células diploides geneticamente idênticas à célula parental, permite o crescimento, manutenção e reparação dos organismos. Por outro lado, a meiose, ao produzir células haploides resultantes do emparelhamento de **cromossomas homólogos** e do ***crossing-over***, e com variabilidade genética, permite a reprodução sexuada. Tanto na mitose como na meiose, o DNA replica apenas na interfase. Na mitose, durante a anáfase, verifica-se a redução para metade da quantidade de DNA. Na meiose ocorrem duas reduções, uma na anáfase I, resultante da separação dos cromossomas homólogos, e outra na anáfase II, durante a separação dos cromatídios.

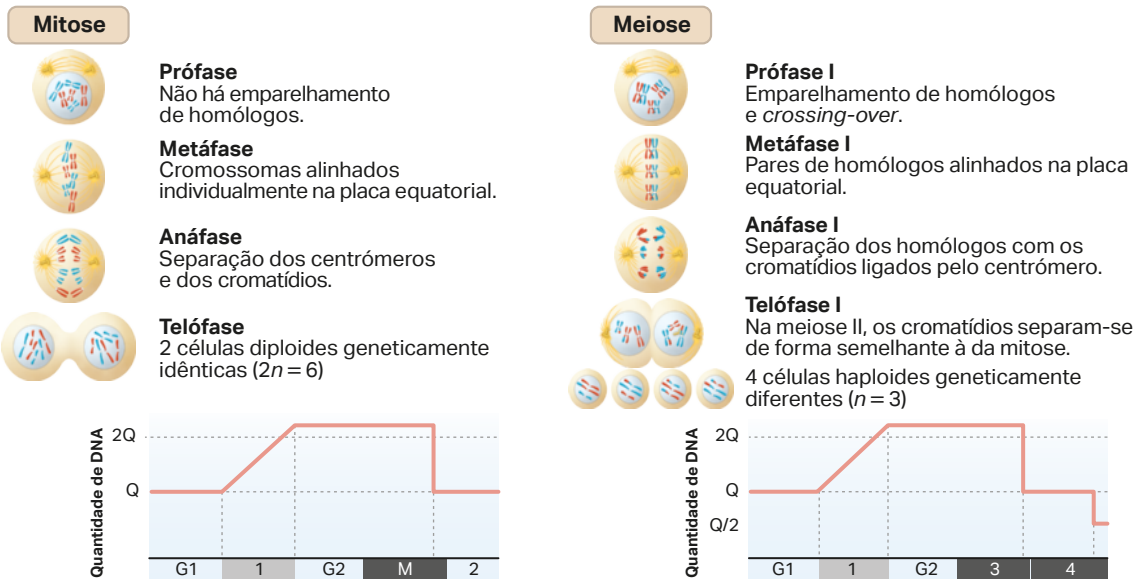


Fig. 10 Comparação entre a mitose e a meiose e gráficos da variação da quantidade de DNA na mitose e na meiose.

Responde tu

1 Copia e completa a tabela que compara a mitose com a meiose.

Mitose	Meiose
Ocorre em todos os tecidos.	Ocorre em tecidos especializados para a reprodução.
Origina duas células-filhas.	A
B	O número de cromossomas das células-filhas é metade do da célula-mãe.
Não há emparelhamento de cromossomas homólogos nem *crossing-over*.	C
O centrómero divide-se na anáfase.	D
E	Ocorrem duas divisões sucessivas, sendo a divisão II semelhante à mitose.

Ciclos de vida

O **ciclo de vida** é a sequência de etapas de desenvolvimento que ocorrem na vida de um indivíduo, desde a sua formação até que produz descendentes. O decorrer de um ciclo de vida depende da alternância entre a meiose e a fecundação: a redução para metade do número de cromossomas na meiose, é compensada pela duplicação do número de cromossomas na fecundação. Deste modo, resulta sempre uma **alternância de fases nucleares** – sequência de fases haploide e diploide num ciclo de vida. A **fase haploide** ou haplófase tem início nas células que resultam da meiose e que têm *n* cromossomas – os esporos e os gâmetas. A **fase diploide** ou diplófase tem início na célula que resulta da fecundação e que tem 2*n* cromossomas – o ovo ou zigoto.

No **ciclo de vida diplonte**, a meiose ocorre apenas durante a produção dos gâmetas e estes não se dividem até à fecundação, da qual resulta o ovo ou zigoto. Este divide-se por mitose, dando origem a um indivíduo multicelular diplonte. No ciclo diplonte, a única etapa haploide corresponde aos gâmetas.

No **ciclo de vida haplodiplonte**, há **alternância de gerações**, pois inclui etapas multicelulares diploides e haploides, ou seja, uma geração esporófita e uma geração gametófita. O **esporófito** é a estrutura multicelular diploide onde ocorre a meiose, dando origem a **esporos** – células haploides. O esporo divide-se por mitose e origina um indivíduo pluricelular haploide – **gametófito**. O gametófito, por mitose, produz gâmetas que, na fecundação, originam um zigoto diploide. O desenvolvimento por mitoses sucessivas do zigoto forma um novo esporófito.

No **ciclo de vida haplonte**, a meiose ocorre imediatamente após a formação do zigoto diploide. Desta meiose não resultam gâmetas, mas sim células haploides que se dividem por mitose para dar origem a um indivíduo unicelular ou multicelular. Este indivíduo produz gâmetas por mitose e não por meiose. No ciclo haplonte, a única etapa diploide é o zigoto.

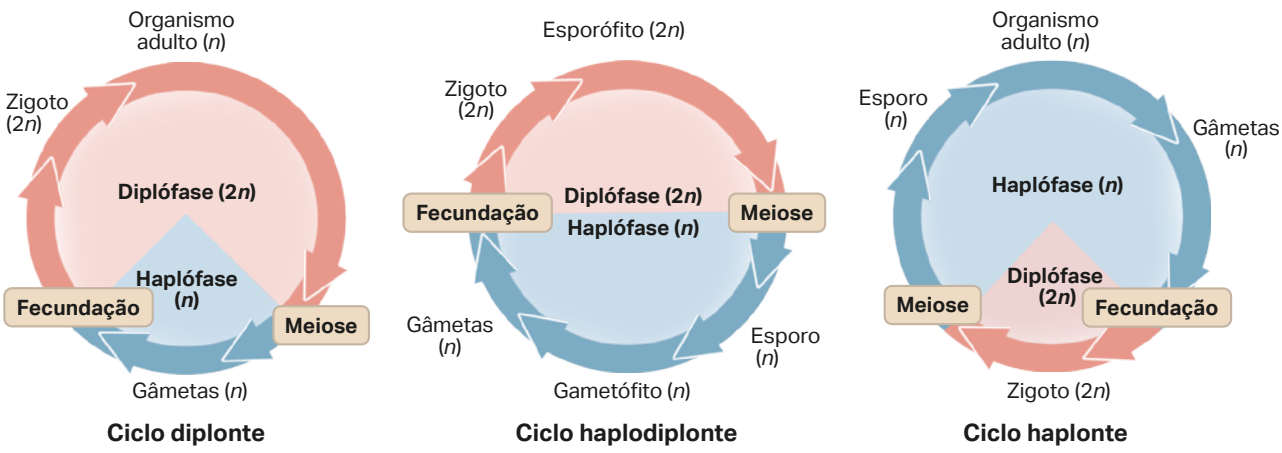


Fig. 11 Ciclos de vida diplonte, haplodiplonte e haplonte.

Ciclo de vida diplonte – Galinha

Nos animais, como aves e mamíferos, a reprodução é sexuada e os indivíduos adultos são unissexuados, ou seja, os sexos feminino e masculino estão separados. Através da meiose formam-se células haploides: os machos produzem gâmetas masculinos, espermatozoides, nos testículos, e as fêmeas produzem gâmetas femininos, oócitos, nos ovários. Na fecundação forma-se uma célula diploide, o ovo, que, por mitoses sucessivas, origina um embrião que se desenvolve num novo indivíduo.

No ciclo de vida da galinha há alternância de fases nucleares: a fase haploide está reduzida aos gâmetas resultantes da meiose, e a fase diploide decorre desde o ovo até aos adultos. Deste modo, a galinha é um ser diplonte.

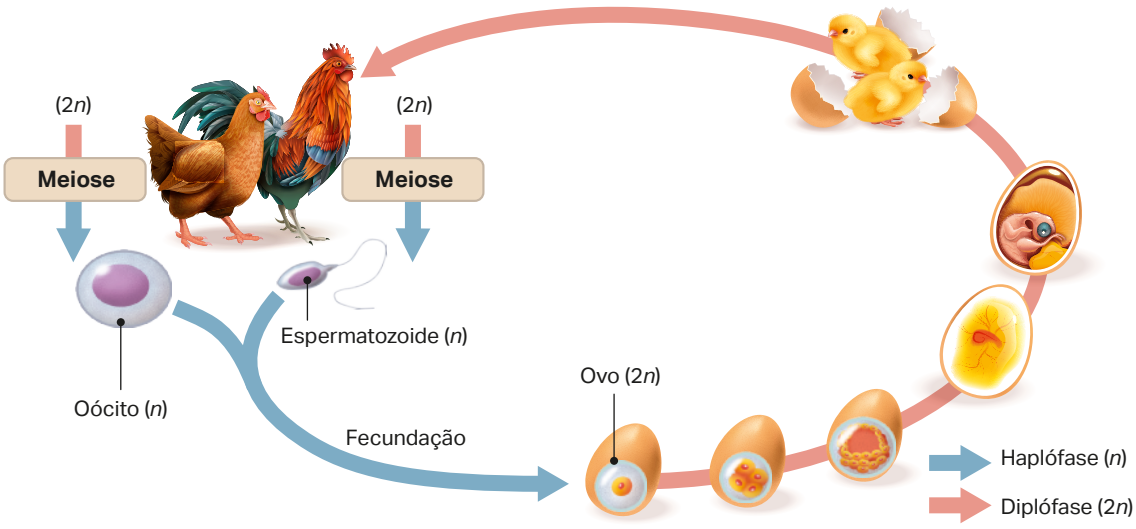


Fig. 12 Ciclo de vida da galinha, *Gallus gallus domesticus*.

Aprende mais

Os **ovos de galinha** produzidos para a alimentação humana não são fecundados. A galinha pode desenvolver e pôr ovos sem haver fertilização do óvulo pelo espermatozoide do galo, pelo que a gema do ovo é, de facto, um oócito não fecundado.

A avicultura é um recurso importante para a produção e consumo de proteínas de origem animal, como os ovos. Consulta na Internet o folheto do Ministério da Agricultura e Ambiente "Boas práticas na avicultura".

Fonte: https://oportunidades.gov.cv/wp-content/uploads/2019/06/folheto_avicultura_print.pdf, pesquisado em 27-05-2025

Ministério da Agricultura e Ambiente
OPORTUNIDADES
IFAD | FIDA

Ciclo de vida haplodiplonte – Papoila-de-cabo-verde

A papoila-de-cabo-verde é uma planta herbácea que vive em locais rochosos e secos. É uma planta endémica com o estatuto de conservação de vulnerável, segundo a lista vermelha de Cabo Verde, e em perigo crítico segundo a UICN, que pode ser observada no Fogo e em São Nicolau. No ciclo de vida da papoila há alternância de fases nucleares: a fase haploide está representada pelo gametófito e a fase diploide, esporófito, decorre desde o ovo até ao adulto. Deste modo, a papoila é um ser haplodiplonte.

Na flor, os gâmetas masculinos formam-se nos estames e os gâmetas femininos formam-se nos carpelos. O estame tem a antera, onde a célula-mãe do grão de pólen, por meiose, origina micrósporos que, por mitose, formam os grãos de pólen. O grão de pólen é o gametófito masculino. A germinação do grão de pólen origina o tubo polínico com os gâmetas masculinos.

O carpelo tem o ovário com óvulos, em cada um dos quais a célula-mãe do macrósporo, por meiose, origina 4 células: três degeneram e uma, o macrósporo, por mitoses sucessivas, forma o saco embrionário. Este constitui o gametófito feminino que contém o gâmeta feminino, chamado oosfera.

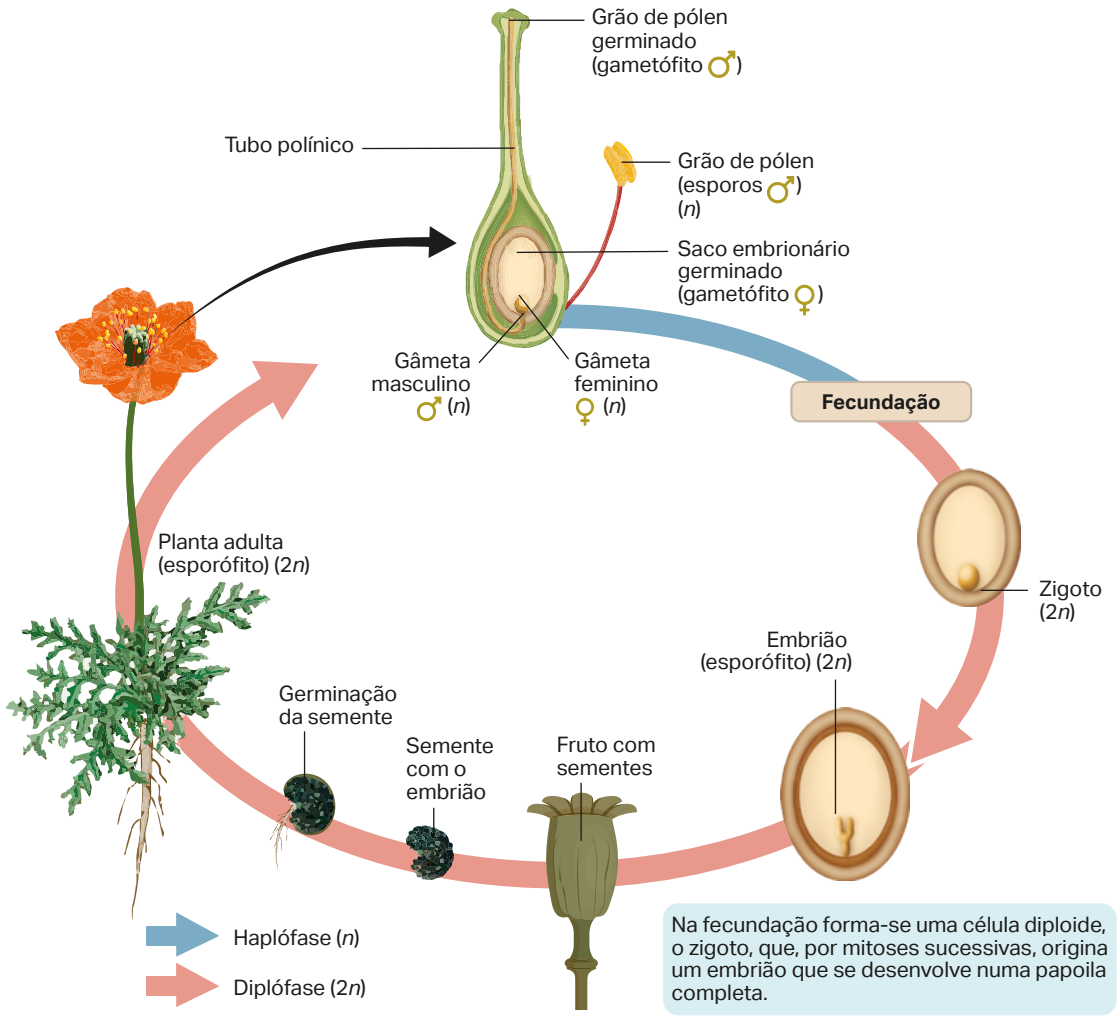
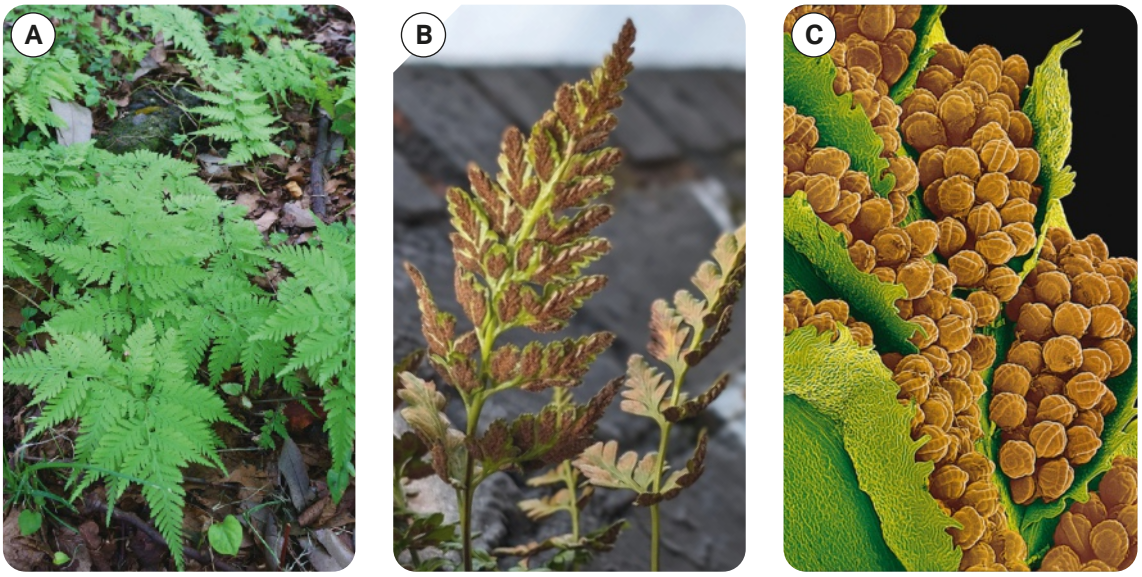


Fig. 13 Ciclo de vida da papoila-de-cabo-verde, *Papaver gorgoneum gorgoneum*. A cápsula das sementes apresenta menos de 10 estrias, característica distintiva desta subespécie endémica e classificada como "Criticamente em perigo" na Lista Vermelha nacional.

Ciclo de vida haplodiplonte – Feto-negro

O feto-negro é uma planta cujas raízes são provenientes de um caule subterrâneo, rizoma, do qual partem as folhas que, nos fetos, se designam por frondes quando adultas. O feto-negro tem reprodução assexuada por multiplicação vegetativa a partir do rizoma e também tem reprodução sexuada. Este tipo de reprodução está dependente da água necessária à deslocação do gâmeta masculino flagelado em direção ao gâmeta feminino.

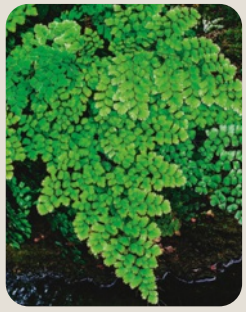


Fonte: Science Photo Library/Fotobanco.pt

Fig. 14 Feto-negro, *Asplenium adiantum-nigrum*, comum em Cabo Verde: A – Planta adulta; B – Página inferior da fronde com soros; C – Microfotografia eletrónica de esporângios.

Aprende mais

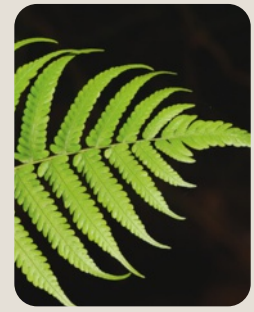
Para a conservação dos **fetos de Cabo Verde** é necessário proteger e recuperar os seus *habitats* naturais, e controlar espécies invasoras, entre outras ações. Podes ficar a conhecer os fetos de Cabo Verde numa atividade de campo planeada com os teus professores. Para veres fotografias das espécies de fetos, escreve num motor de busca da Internet "The Ferns of Macaronesia Cape Verde".



Adiantum capillus-veneris

Dryopteris oligodonta

Anogramma leptophylla



Christella dentata

No ciclo de vida do feto-negro e de muitas outras plantas, quando ocorre a reprodução sexuada, há alternância de fases nucleares: a fase haploide tem início na meiose e a fase diploide tem início na fecundação. Em ambas as fases nucleares existem estruturas vegetais multicelulares, pelo que se considera que também existe alternância de gerações. A geração gametófita tem início nos esporos e termina com a formação dos gâmetas, e a geração esporófita tem início no zigoto e termina com a formação dos esporos. No feto-negro, o protalo é a estrutura multicelular mais desenvolvida da geração gametófita e é o gametófito, pois produz gâmetas. O feto adulto é a estrutura multicelular mais desenvolvida da geração esporófita e é o esporófito, pois produz esporos. Os esporos germinam e originam o gametófito.

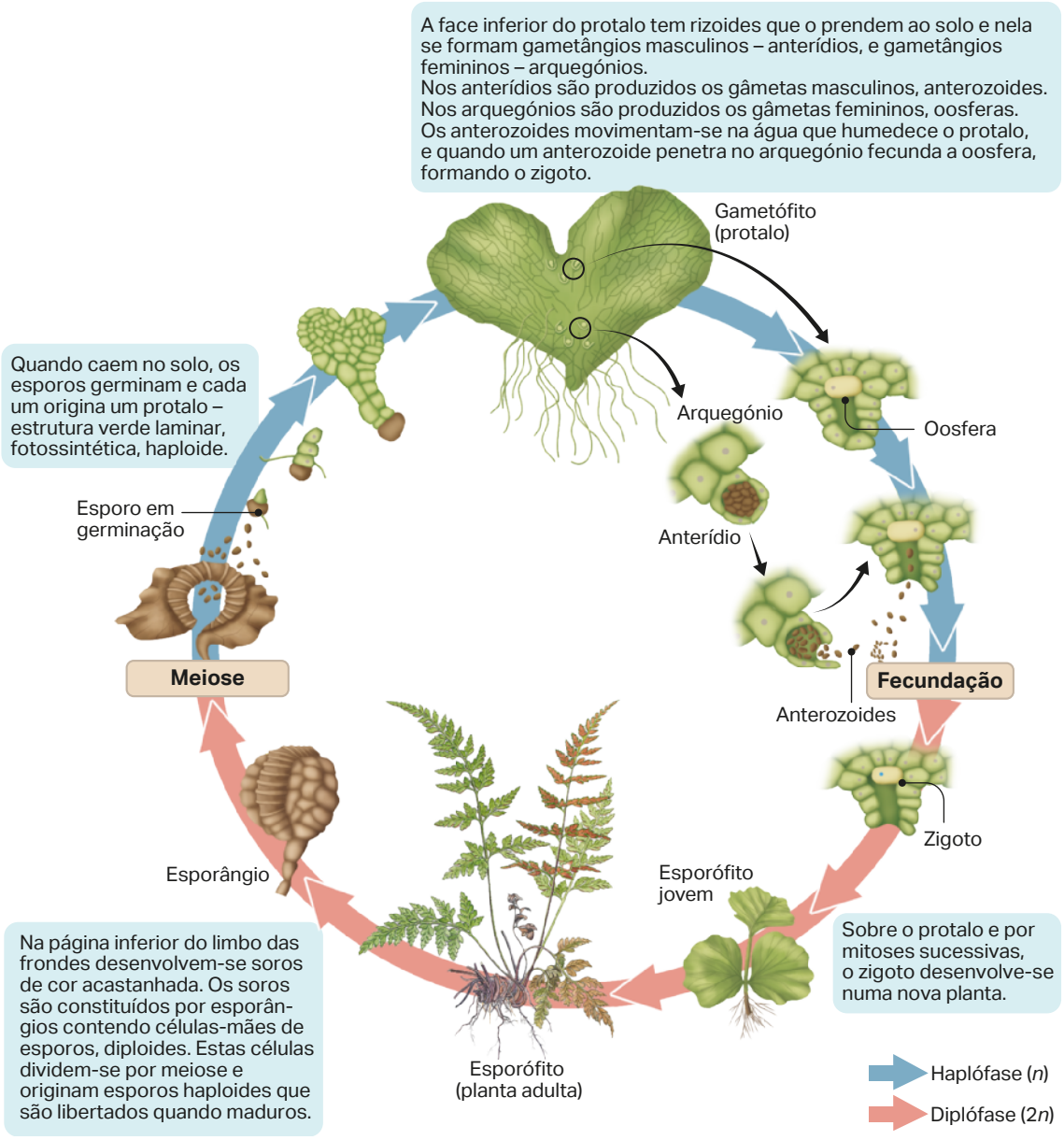


Fig. 15 Ciclo de vida do feto-negro.

Ciclo de vida haplonte – Espirogira

A espirogira é uma alga verde filamentosa não ramificada que vive em água doce. Os filamentos são formados por células cilíndricas colocadas topo a topo que contêm cloroplastos em forma de fita enrolada em espiral. No ciclo de vida da espirogira, quando ocorre reprodução sexuada, há alternância de fases nucleares: a fase haploide, entre a meiose e a fecundação, que é o filamento da espirogira com células *n*, e a fase diploide, que é apenas o zigoto 2*n*. Deste modo, a espirogira é um ser haplonte.

Fig. 16 Espirogira, *Spirogyra* sp., no ambiente natural e microfotografia. A espirogira também tem reprodução assexuada por fragmentação.

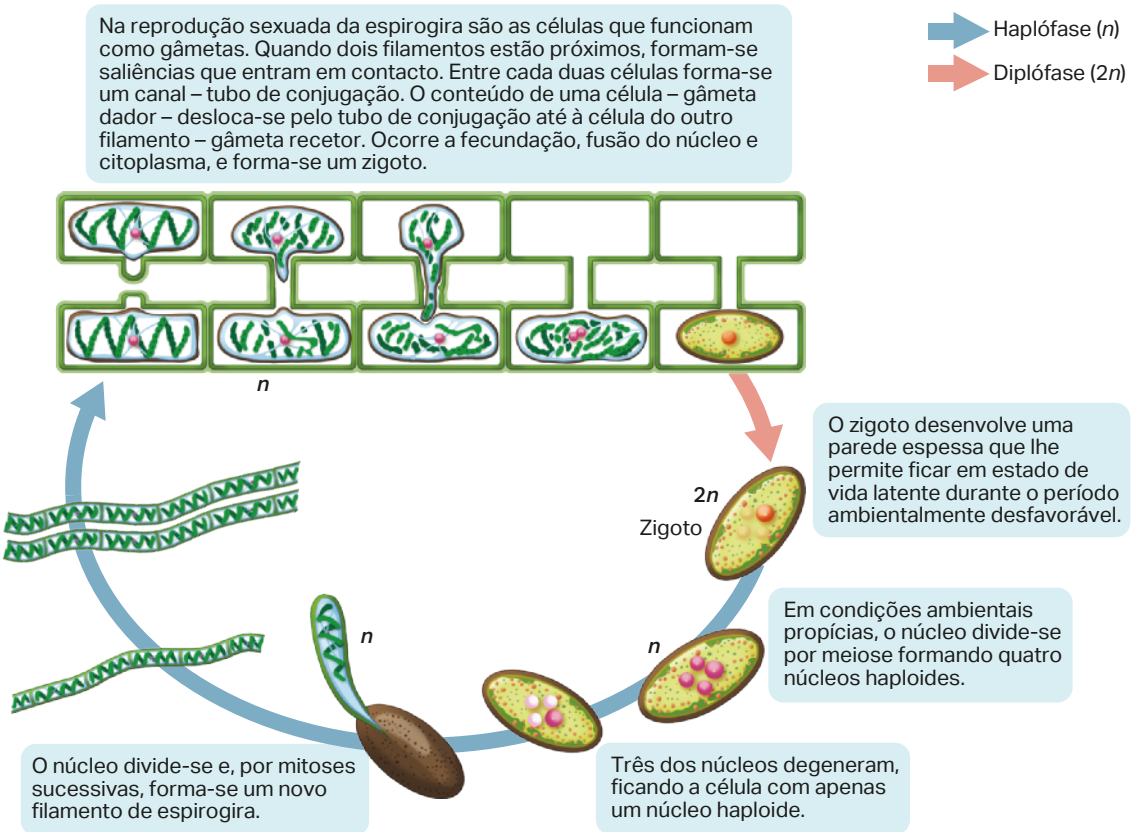


Fig. 17 Ciclo de vida da espirogira.

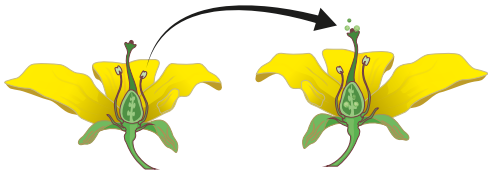
Estratégias de reprodução e ciclos de vida

A reprodução sexuada envolve a meiose e a fecundação, processos que aumentam a variabilidade genética dos descendentes e, consequentemente, a sua capacidade de sobrevivência em caso de alterações ambientais. No entanto, a reprodução sexuada também tem desvantagens, já que a necessidade de encontrar um parceiro sexual faz com que seja um processo mais lento e com maior consumo de energia. Neste sentido, os seres vivos, ao longo da sua evolução, desenvolveram várias **estratégias de reprodução** – conjunto de comportamentos que evoluíram no sentido de maximizar o seu sucesso reprodutivo: aumento da diversidade genética, número e sobrevivência dos descendentes.

Exemplos de estratégias reprodutivas em plantas

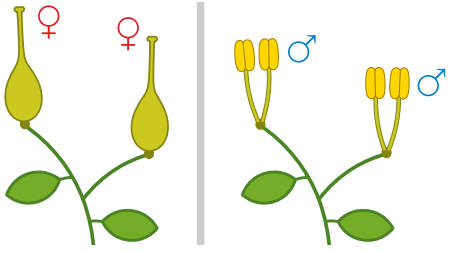
Polinização cruzada

Nas espécies monoicas em que a mesma flor tem órgãos masculinos e femininos, a planta evita a autofecundação, ao amadurecer os estames e os carpelos em períodos de tempo diferentes. Os agentes polinizadores, como o vento, polinizam outras flores da mesma espécie.



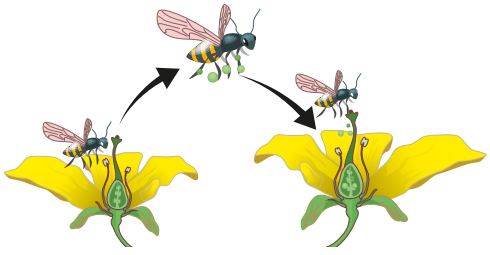
Plantas dioicas

Nas espécies dioicas há separação espacial entre os estames e os carpelos: existem indivíduos só com flores masculinas e indivíduos só com flores femininas, pelo que não pode haver autopolinização.



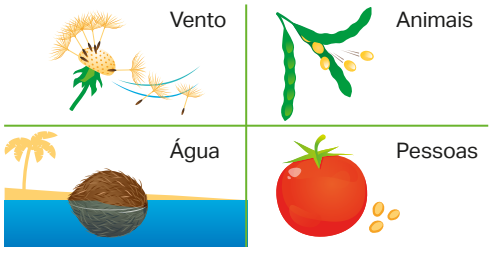
Auto-incompatibilidade

Existem espécies monoicas de plantas cujos estames e carpelos são estruturalmente incompatíveis, impedindo, por exemplo, a adesão ao estigma do pólen da mesma planta, ou a germinação do tubo polínico, evitando a autofecundação e promovendo a polinização cruzada, como por insetos.



Dispersão de sementes

A disseminação de sementes aumenta a distribuição espacial das plantas. As plantas evoluíram no sentido da adaptação a uma grande diversidade de agentes de dispersão, como o vento, a água, os animais e as pessoas.



Exemplos de estratégias reprodutivas em animais

Dimorfismo sexual

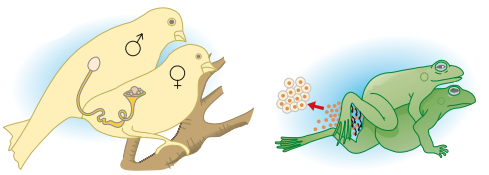
Nalguns animais o macho é diferente da fêmea em tamanho e cor do revestimento. Algumas fêmeas escolhem os machos que poderão ter maior capacidade reprodutiva.

Rituais de acasalamento

Os comportamentos antes, durante e após a cópula, exibidos por muitos animais contribuem para aproximar o macho da fêmea.

Fecundação interna e externa

A fecundação interna ocorre no interior do corpo da fêmea, sendo produzidos menos gâmetas. Na fecundação externa, é lançado um grande número de gâmetas na água.



Número de ovos

O número de ovos está diretamente relacionado com a probabilidade de sobrevivência dos descendentes: se o risco de sobrevivência é maior, é grande o número de ovos.

Local de desenvolvimento do embrião

Nos ovíparos, o embrião desenvolve-se dentro de um ovo, fora do corpo materno, ou seja, a fêmea põe ovos, como o tubarão-baleia. Nos vivíparos, o embrião desenvolve-se dentro do útero da fêmea, como o tubarão-martelo. Nos ovovivíparos, a fêmea mantém os ovos no oviduto durante o desenvolvimento embrionário, como o tubarão branco.

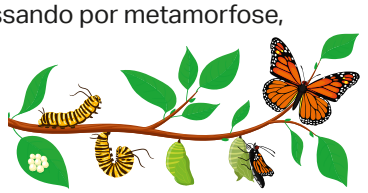
Tubarão-baleia

Tubarão-branco

Tubarão-martelo

Desenvolvimento direto e indireto

O desenvolvimento direto ocorre quando o descendente eclode do ovo ou nasce com morfologia semelhante aos progenitores, tendo apenas de crescer, como no cão.
O desenvolvimento indireto ocorre quando o descendente eclode com morfologia diferente dos progenitores tendo de completar o desenvolvimento, passando por metamorfose, como na borboleta.



Atividade laboratorial Reprodução assexuada

As leveduras do género *Saccharomyces*, utilizadas no fabrico do pão, são fungos unicelulares que têm reprodução assexuada por gemulação. O bolor *Rhizopus* sp. desenvolve-se no pão e tem reprodução assexuada por esporulação. Estes organismos podem ser facilmente observados ao microscópio.

Parte I

Material

- Fermento de padeiro
- Matraz
- Farinha
- Microscópio
- Água morna
- Lâminas e lamelas
- Conta-gotas
- Balança

Procedimento

1. Faz uma suspensão de 3 g de leveduras, 5 g de farinha e 100 mL de água morna, no matraz. Coloca o matraz num local aquecido a cerca de 30 °C durante algumas horas.
2. Agita a suspensão, retira um pouco com o conta-gotas e coloca numa lâmina. Cobre com a lamela e observa ao microscópio. Regista as tuas observações.

Parte II

Material

- Pão com bolor
- Agulha
- Água
- Microscópio
- Lâminas e lamelas

Procedimento

1. Coloca uma gota de água na lâmina.
2. Observa o bolor com a lupa de mão e retira uma pequena porção com a ajuda da agulha e coloca-a na água da lâmina. Cobre com a lamela e observa ao microscópio. Regista as tuas observações.

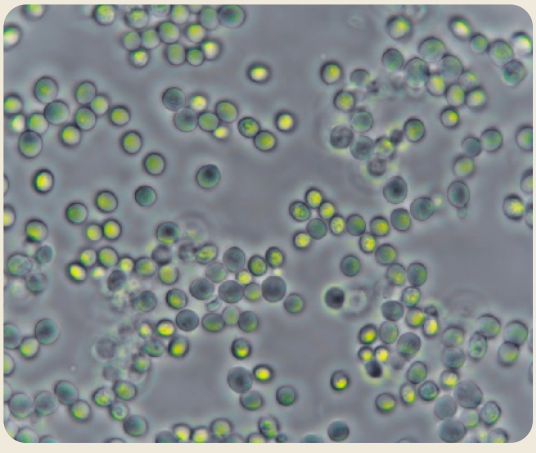


Fig. 1 Microfotografia de leveduras – parte I.

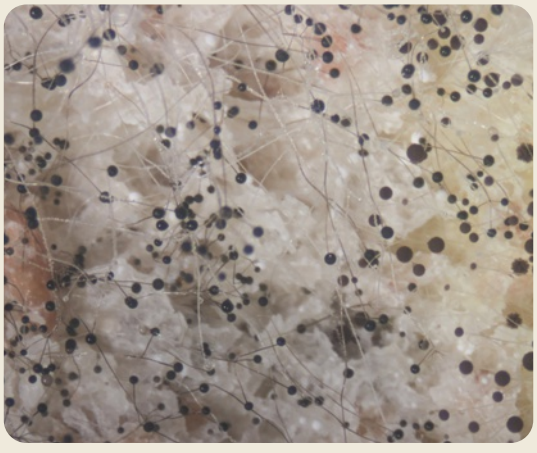


Fig. 2 Microfotografia de bolor do pão – parte II.

Atividade prática

Clonagem da ovelha Dolly

Embora seja pouco comum, em alguns animais e também no ser humano, existem gémeos verdadeiros – indivíduos da mesma espécie com a mesma informação genética. Estes casos podem resultar, por exemplo, da separação das duas células resultantes da primeira divisão do ovo. Estas células multiplicam-se, dão origem a embriões geneticamente idênticos e os indivíduos que resultam destes embriões são clones.
O primeiro mamífero a ser desenvolvido, a partir de clonagem laboratorial por biólogos escoceses, foi a ovelha Dolly, que nasceu em 1996. Durou apenas 6 anos acabando por ser abatida em 2003 pois apresentava vários problemas de saúde. Os ovinos têm em média de 12 a 14 anos de vida, podendo atingir os 25 anos.

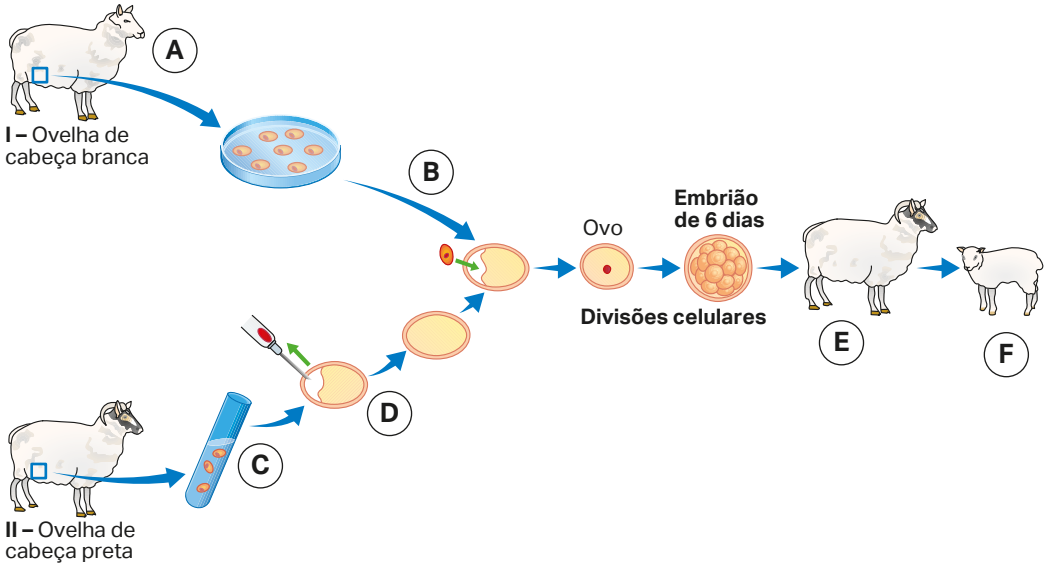


Fig. 1 Técnica utilizada na clonagem da ovelha Dolly.

1 **Faz corresponder a cada frase uma letra da figura 1.**

I – Isolamento de uma célula retirada da glândula mamária e remoção do seu núcleo.

II – Implantação do embrião no útero de uma ovelha de cabeça negra.

III – Recolha de oócitos da ovelha de cabeça preta.

IV – Extração do núcleo e conservação da célula restante.

V – Nascimento, após cinco meses de gestação, de uma ovelha de cabeça branca, a Dolly.

VI – Extração de células da glândula mamária da ovelha de cabeça branca e colocação em cultura.

2 **Refere a origem da informação genética contida nas células da ovelha Dolly.**

3 **Justifica a afirmação: "A ovelha Dolly é um clone."**

Atividade prática

Micropropagação de videiras

As vinhas da ilha do Fogo crescem em solos ricos em minerais de origem vulcânica, com clima árido e pouca chuva, originando uvas e vinhos com características únicas.
Na reprodução assexuada das videiras são usadas técnicas tradicionais, mas também podem usar-se técnicas laboratoriais. Usando a técnica de micropropagação em cultura *in vitro*, podem ser produzidas rapidamente milhares de plantas a partir de uma única planta original. As plantas produzidas em laboratório através da cultura de fragmentos de tecidos vegetais em meios controlados são geneticamente idênticas.
A micropropagação, além dos objetivos económicos, pode ser utilizada para obtenção de exemplares de plantas de espécies raras ou ameaçadas de extinção, em declínio no ambiente natural devido a ameaças humanas. Apesar de deste método resultarem clones com importância económica e sem doenças, a micropropagação tem desvantagens.

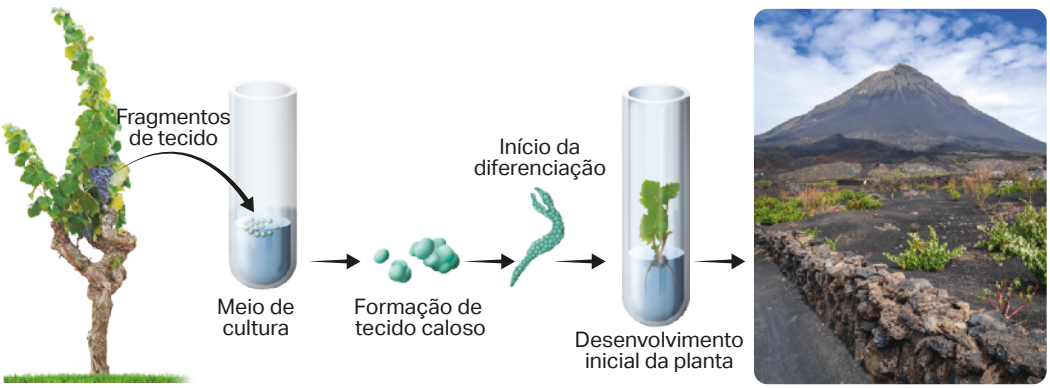


Fig. 1 Micropropagação de videiras e vinha na ilha do Fogo.

1 **Refere dois métodos de propagação vegetativa das videiras na ilha do Fogo.**

2 **Organiza as frases pela ordem cronológica dos acontecimentos da figura 1.**

A – Os fragmentos são desinfetados, lavados, colocados em tubos num meio de cultura com elementos nutritivos e hormonas vegetais.

B – Cortam-se pequenos fragmentos de videira.

C – Ocorrem divisões mitóticas sucessivas e a proliferação celular origina massas de células indiferenciadas, tecido caloso ou calo, onde se vão formar os rebentos.

D – Desenvolvem-se plântulas que crescem em estufa antes de serem transferidas para a vinha.

E – Os tubos são transferidos para uma estufa com condições de temperatura, luz e humidade controladas.

3 **Apresenta duas vantagens e duas desvantagens da micropropagação.**

Atividade prática

Partenogénese em pulgões

O projeto MACBIOPEST "Biopesticidas Botânicos da Macaronésia: Investigação e Saber Popular" tem como finalidade a obtenção de extratos e/ou compostos naturais puros, a partir de plantas da Macaronésia que exibam ação pesticida, mas com menor toxicidade e, pelos menos, igualmente eficazes aos existentes no mercado. Como exemplo da ação biopesticida de plantas comuns, refira-se o coentro cujo extrato aquoso é eficaz em reduzir infestações de pulgão-verde-do-pessegueiro ou de piolho-da-couve.

Baseado em: Wilson R. Tavares, 2020, *MACBIOPEST: Biopesticidas Botânicos da Macaronésia: Investigação e Saber Popular*. UAciência. *Açores magazine*.

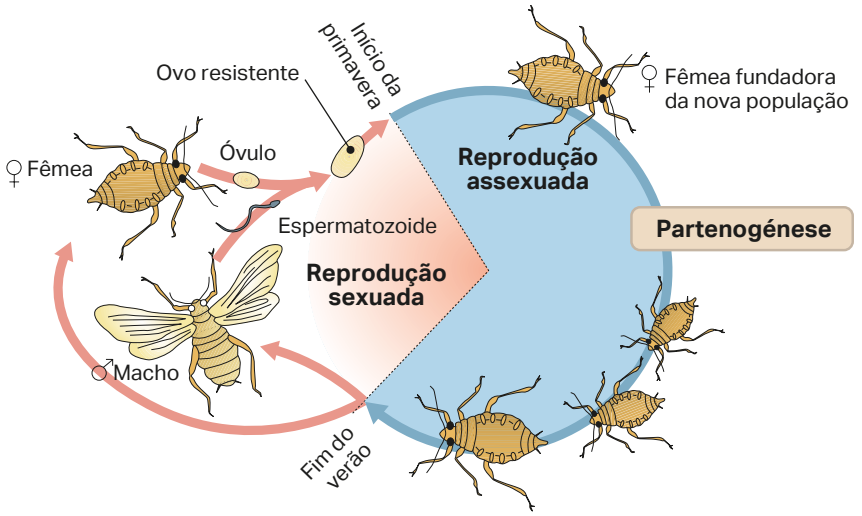


Fig. 1 Ciclo de vida do pulgão, *Aphis* sp. Os pulgões são pequenos insetos que se alimentam da seiva de plantas.

1 **Organiza as frases pela ordem cronológica dos acontecimentos da figura 1.**

A – Em condições favoráveis, desenvolvem-se fêmeas partenogenéticas.
B – Após o acasalamento, as fêmeas põem ovos resistentes que ficam em estado de vida latente até melhoria das condições ambientais.
C – Rápido crescimento da população de pulgões que infestam as plantas.
D – O desenvolvimento embrionário dos ovos origina novamente apenas fêmeas partenogenéticas.
E – À medida que as condições ambientais vão ficando desfavoráveis, as fêmeas partenogenéticas dão origem a machos e fêmeas.

2 **Justifica a afirmação "As fêmeas partenogenéticas que se desenvolvem a partir do ovo apresentam novas combinações genéticas."**

3 **Refere as vantagens do combate a infestações de pulgões com biopesticidas.**

Em resumo…

Quais são os processos de reprodução assexuada?

- Na **reprodução assexuada**, a descendência é proveniente de um único progenitor, não ocorrendo fecundação.
- A reprodução assexuada é um processo de **clonagem** e todos os descendentes são **clones** geneticamente idênticos ao progenitor.
- A reprodução assexuada não assegura a variabilidade genética.

Quais são as estratégias de reprodução assexuada?

- Na **bipartição** um indivíduo divide-se em dois indivíduos com dimensões idênticas.
- Na **fragmentação** um novo indivíduo tem origem a partir da regeneração de um fragmento do indivíduo progenitor.
- Na **gemulação** um novo indivíduo tem origem a partir de um gomo ou gema que se forma no indivíduo progenitor, separando-se deste.
- Na **partenogénese** um novo indivíduo tem origem a partir do desenvolvimento apenas do gâmeta feminino da progenitora.
- Na **propagação vegetativa** o novo indivíduo tem origem a partir do desenvolvimento de estruturas vegetativas.
- Na **esporulação** os novos indivíduos têm origem em **esporos** – células reprodutoras especializadas produzidas pelo progenitor.

Como pode a reprodução sexuada pode ser utilizada com fins económicos?

- A capacidade de propagação vegetativa pode ser induzida de modo artificial, pelo ser humano, para propagar plantas, como a estacaria, a mergulhia e a enxertia.

Como se relaciona a reprodução sexuada com a meiose?

- Na **reprodução sexuada**, a descendência provém de dois progenitores, ocorrendo fecundação e variabilidade genética.
- Na reprodução sexuada há **fecundação** – união de **gâmetas**, células especializadas para a reprodução, resultando um ovo ou zigoto.
- O ovo e todas as células que dele resultam são **células diploides** ou **2*n***. Os gâmetas são **células haploides** ou ***n***.
- A **meiose** é o processo de divisão nuclear em que uma célula diploide dá origem a células haploides geneticamente diferentes da célula original.

Em resumo…

Como se distingue a meiose da mitose?

A mitose assegura a formação de duas células diploides geneticamente idênticas e a meiose assegura a formação de quatro células haploides geneticamente diferentes.

Como varia a quantidade de DNA durante a mitose e a meiose?

Na mitose, durante a anáfase, verifica-se a redução para metade do DNA. Na meiose ocorrem duas reduções, uma na anáfase I, resultante da separação dos cromossomas homólogos, e outra na anáfase II, durante a separação dos cromatídios.

Quais são os ciclos de vida?

O **ciclo de vida** é a sequência de etapas de desenvolvimento de um indivíduo, desde a sua formação até que produz descendentes.

No **ciclo de vida diplonte**, a meiose ocorre apenas durante a produção dos gâmetas e da sua união resulta o ovo ou zigoto. Este divide-se por mitose, dando origem a um indivíduo multicelular diplonte. A única etapa haploide corresponde aos gâmetas.

No **ciclo de vida haplodiplonte** há **alternância de gerações**, pois inclui etapas multicelulares diploides e haploides, ou seja, uma geração esporófita e uma geração gametófita.

No **ciclo de vida haplonte**, a meiose ocorre imediatamente após a formação do zigoto diploide. Desta meiose resultam células haploides que se dividem por mitose para dar origem a um indivíduo que produz gâmetas por mitose e não por meiose. No ciclo haplonte, a única etapa diploide é o zigoto.

Como se relacionam as estratégias de reprodução com o aumento do sucesso reprodutivo?

Ao longo da sua evolução, os seres vivos desenvolveram várias **estratégias de reprodução** – conjunto de comportamentos que evoluíram no sentido de maximizar o seu sucesso reprodutivo: aumento da diversidade genética, número e sobrevivência dos descendentes.

Alguns exemplos de estratégias reprodutivas em plantas: polinização cruzada, plantas dioicas, auto-incompatibilidade e dispersão de sementes.

Alguns exemplos de estratégias reprodutivas em animais: dimorfismo sexual, rituais de acasalamento, fecundação interna e externa, número de ovos, local de desenvolvimento do embrião, desenvolvimento direto e indireto.

Teste formativo

1 **Lê atentamente o texto e observa a figura 1, que representa o ciclo de vida de *Chlamydomonas* sp. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

O processo de produção de hidrogénio a partir de microalgas é uma tecnologia totalmente nova em Cabo Verde. O cultivo de microalgas *Chlamydomonas reinhardtii* é feito dentro de um fotobiorreator que contém uma boa quantidade de água resultante de um tratamento da água residual existente na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Este tipos de projetos podem resolver alguns problemas, como reduzir a quantidade de combustível importado, diversificar a matriz energética do país, reduzir a quantidade dos gases de efeito de estufa (GEE) emitidos para a atmosfera e dar utilidade a grande quantidade de água residual existente nas ETAR do país.

Baseado em: Danielson Ramos, 2018, https://repositorio.um.edu.cv/citations/665, pesquisado em 27-05-2025.

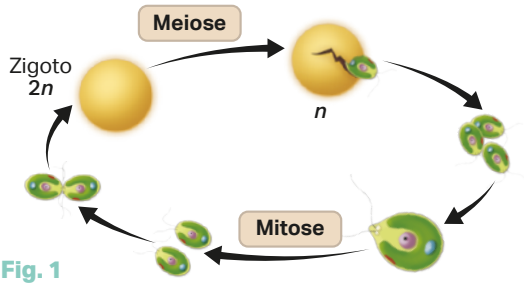


Fig. 1

1.1. As microalgas utilizadas para produzir hidrogénio…
- **(A)** apresentam um ciclo de vida de reprodução assexuada por gemulação.
- **(B)** podem multiplicar-se por reprodução sexuada através de esporos.
- **(C)** têm um ciclo de vida haplonte em que a fase haploide é a microalga adulta.
- **(D)** têm alternância de fases nucleares em que a fase diploide é a microalga adulta.

1.2. As pessoas que trabalham no projeto descrito no texto têm um ciclo de vida… em que…
- **(A)** haplonte… os indivíduos adultos produzem gâmetas por mitose.
- **(B)** haplodiplonte… existe uma geração esporófita que produz esporos e uma geração gametófita que produz gâmetas.
- **(C)** partenogenético… da fecundação resultam indivíduos geneticamente iguais ao progenitor.
- **(D)** diplonte… a meiose ocorre apenas durante a produção dos gâmetas e estes não se dividem até à fecundação.

1.3. No ciclo de vida de *Chlamydomonas* sp. ocorre meiose imediatamente após…
- **(A)** a formação do zigoto 2*n*.
- **(B)** a formação do zigoto *n*.
- **(C)** a formação dos gâmetas.
- **(D)** a etapa haploide.

Teste formativo

1.4. O núcleo de uma célula de *Chlamydomonas reinhardtii* tem 17 cromossomas, pelo que o zigoto terá…

(A) 17 cromossomas.
(B) 34 cromossomas.
(C) 8 cromossomas mais um.
(D) 16 autossomas e um heterossoma.

1.5. Além do processo reprodutivo da figura 1, uma célula-mãe de *Chlamydomonas* sp. divide-se em duas células-filhas idênticas. Este é um processo de reprodução…

(A) sexuada, por bipartição.
(B) assexuada, por partenogénese.
(C) assexuada, por bipartição.
(D) sexuada, por partenogénese.

2 **Organiza as frases pela ordem cronológica dos acontecimentos da figura 1.**

A – Dois gâmetas unem-se, ocorrendo a fusão dos seus núcleos e formando um zigoto.
B – O zigoto, que é a única fase diploide do ciclo, sofre meiose, produzindo quatro células haploides.
C – Em condições adversas, as *Chlamydomonas* adultas, através de mitoses sucessivas, produzem gâmetas de menor dimensão.
D – As células haploides, originadas da meiose, crescem e tornam-se novas *Chlamydomonas*, reiniciando o ciclo.

3 **Estabelece a correspondência correta entre as frases da coluna I e os termos da coluna II.**

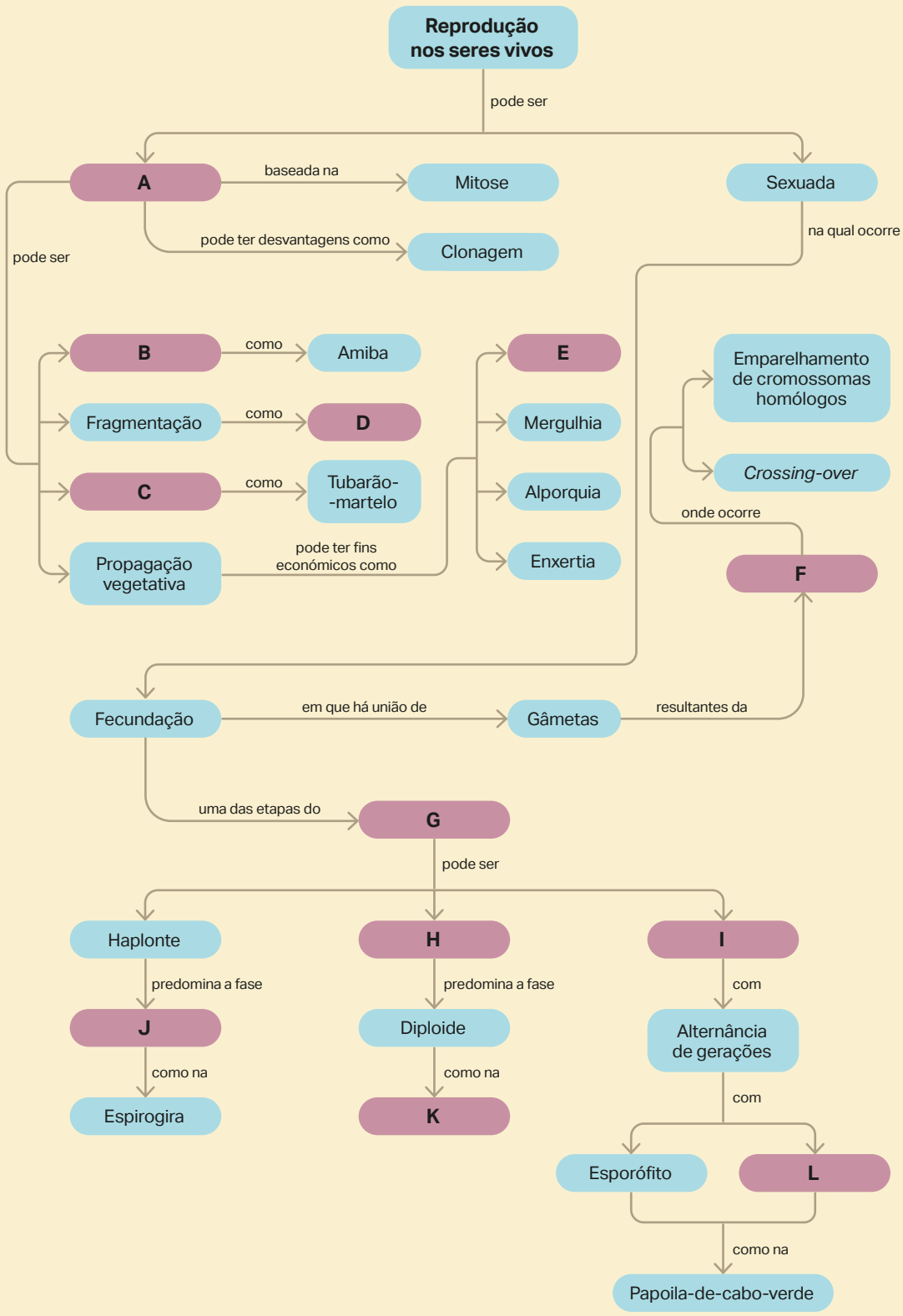
Coluna I	Coluna II
1. Ciclo de vida em que a meiose ocorre a partir de uma célula haploide. **2.** Ciclo de vida característico dos animais. **3.** Ciclo de vida com meiose pós-zigótica. **4.** Ciclo de vida sem alternância de fases nucleares. **5.** Ciclo de vida caracterizado pela existência de alternância de gerações. **6.** Ciclo de vida em que o indivíduo adulto se desenvolve a partir de uma célula haploide. **7.** Ciclo de vida que pode ser representado pela alga espirogira.	**A** – Diplonte **B** – Haplodiplonte **C** – Haplonte **D** – Nenhum dos ciclos de vida anteriores

4 **Explica duas vantagens e duas desvantagens biológicas da reprodução assexuada.**

5 **Estabelece a relação entre:**

5.1. a reprodução assexuada e a diversidade genética e sobrevivência das populações;
5.2. as estratégias de reprodução sexuada e o sucesso reprodutivo das espécies.

Mapa de conceitos



3

© Raquel Vasconcelos

Evolução biológica

3.1. Origem dos seres eucariontes e da multicelularidade

3.2. Teorias evolutivas

3.3. Processos de evolução

A lagartixa-de-stanger, *Chioninia stangeri*, fotografada na ilha de Santa Luzia, tem o estatuto da UICN de "Quase Ameaçada" de extinção e é uma das espécies que podes estudar para consolidar os conceitos evolutivos, de acordo com a orientação do Programa de Biologia e Geologia: "Em grupo ou individualmente, os alunos poderão escolher uma espécie existente na sua ilha, observar as suas características e as características do ambiente onde vive, bem como fazer pesquisa documental sobre a espécie e o seu *habitat*. Depois, poderão refletir e discutir sobre: (i) a forma como as características desta espécie facilitam a sua sobrevivência no ambiente em que vive; (ii) em que medida o ambiente (abiótico e biótico) e a ação antrópica podem dificultar a sobrevivência desta espécie, constituindo-se como um agente (ou conjunto de agentes) de seleção natural; (iii) as medidas que poderão ser implementadas (se necessário) para proteger a espécie da extinção. O conjunto dos trabalhos da turma pode ser compilado num álbum ou numa exposição, para divulgar a biodiversidade da ilha e a importância da sua preservação."

3.1. Origem dos seres eucariontes e da multicelularidade

A Terra formou-se há cerca de 4600 milhões de anos e, durante muito tempo, não existiu vida. Segundo a teoria da Sopa Primitiva, terá sido nos oceanos primitivos que se terão acumulado, durante milhões de anos, moléculas orgânicas formadas a partir dos gases da atmosfera primitiva. Os gases libertados pela intensa atividade vulcânica terão reagido entre si, sob o efeito das descargas elétricas e da radiação ultravioleta do Sol, originando as primeiras moléculas orgânicas que terão evoluído ao longo de milhões de anos até formas de vida com apenas uma célula muito simples – **seres unicelulares procariontes**.

A primeira prova de seres procariontes na Terra encontra-se em fósseis que datam de há 3500 milhões de anos. Os procariontes diversificaram-se e alguns evoluíram no sentido de utilizar a energia solar para produzir matéria orgânica através da fotossíntese, libertando oxigénio para a atmosfera. Há cerca de 2700 milhões de anos, a atmosfera terrestre, com cada vez mais oxigénio, permitiu a evolução de procariontes que se adaptaram no sentido da respiração celular. Esta mudança na atmosfera da Terra, juntamente com o aumento da complexidade dos seres procariontes, poderá estar na origem do desenvolvimento de **seres unicelulares eucariontes**.

A célula procariótica é simples, mas tem uma grande diversidade de vias metabólicas, o que sustenta a hipótese de estar na origem dos eucariontes. As células eucarióticas são mais complexas, estando o material genético dentro do núcleo, o que não acontece nas procarióticas.

Há várias hipóteses para explicar a origem dos organismos eucariontes a partir dos procariontes, destacando-se o modelo autogénico e o modelo endossimbiótico.

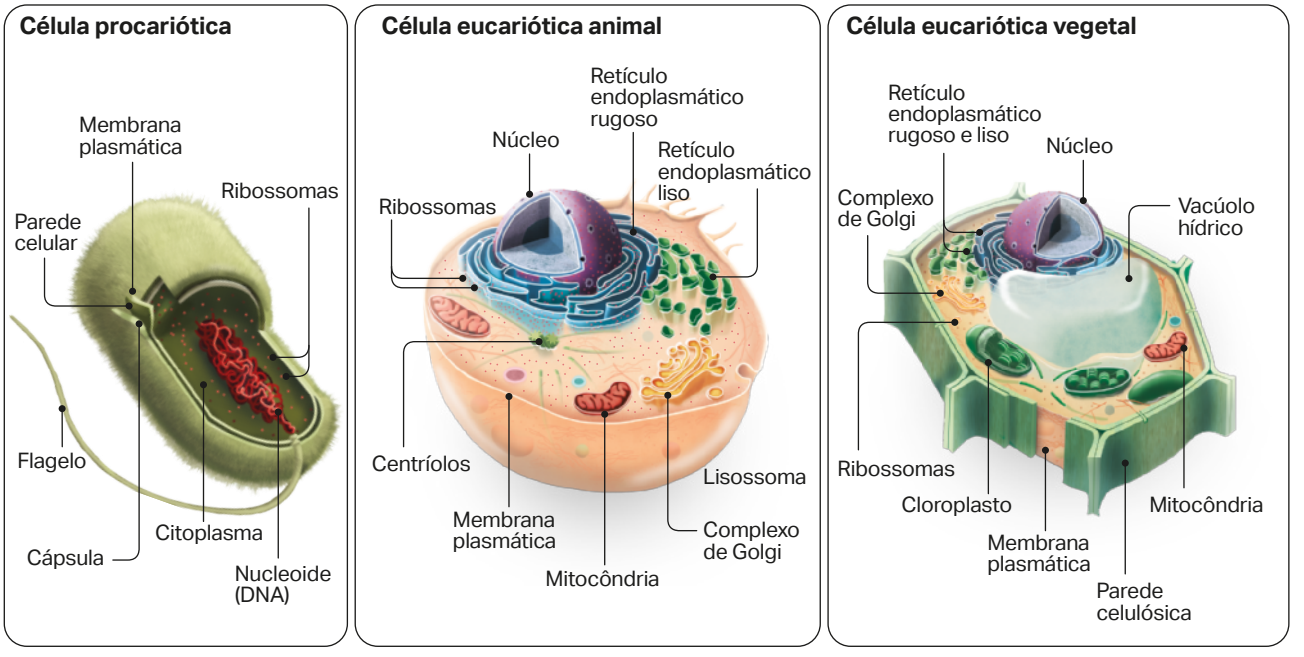


Fig. 1 Células procariótica e eucarióticas.

Modelo autogénico e modelo endossimbiótico

Segundo o **modelo autogénico**, a célula eucariótica teve origem a partir de procariontes por invaginações sucessivas da membrana plasmática. Essas invaginações teriam passado por processos de especialização, dando origem a membranas especializadas que se diferenciaram em organelos. O modelo autogénico explica a origem do núcleo e do retículo endoplasmático a partir de invaginações da membrana de seres procariontes sem parede celular.

Segundo o **modelo endossimbiótico**, a célula eucariótica teve origem na incorporação de células procarióticas mais pequenas numa célula procariótica maior. Entre as células estabeleceu-se uma relação de simbiose intracelular ou endossimbiose: associação de organismos diferentes em que um vive no interior do outro, com benefício para ambos. O modelo endossimbiótico foi proposto pela bióloga Lynn Margulis (1938-2011) e, atualmente, é a hipótese mais aceite para a origem das células eucarióticas.

A investigação científica continua a apresentar vários argumentos para apoiar ambos os modelos, mas ainda não foi possível concluir com exatidão sobre quais teriam sido os processos que conduziram à origem das células eucarióticas animal e vegetal, o que comprova o caráter dinâmico e provisório da construção do conhecimento científico.

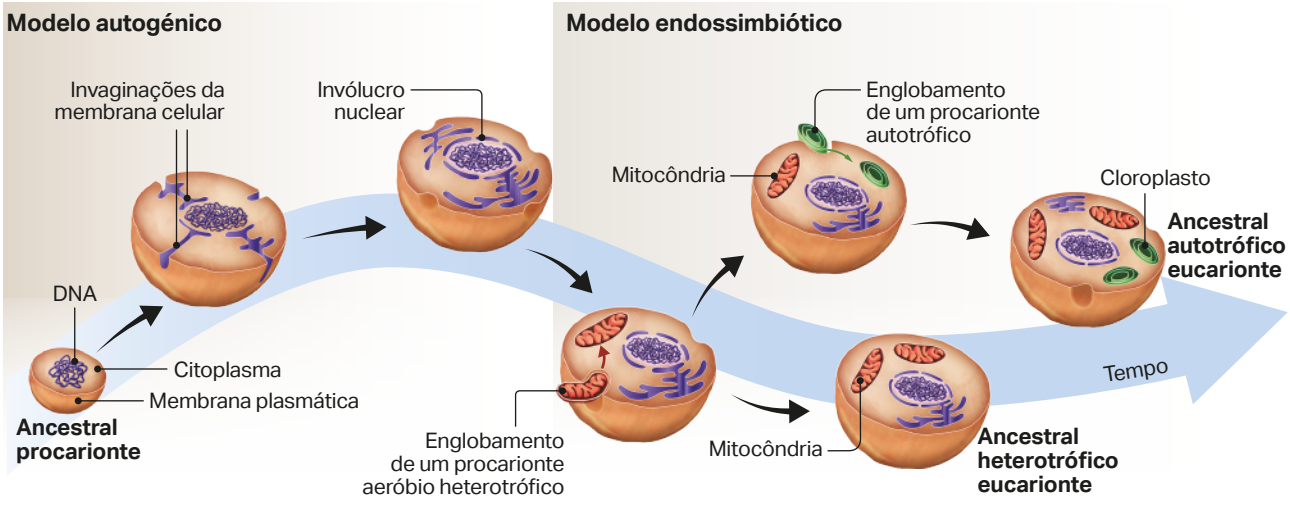


Fig. 2 Modelo autogénico e modelo endossimbiótico.

Responde tu

1. Apresenta as principais diferenças entre as células procariótica e eucariótica animal e vegetal.
2. Distingue o modelo autogénico do modelo endossimbiótico.

Origem da multicelularidade

A origem e evolução da célula eucariótica conduziu ao desenvolvimento dos seres eucariontes unicelulares, que foram aumentando em complexidade e diversidade e evoluíram para a **multicelularidade** – seres constituídos por muitas células ou seres multicelulares. O momento em que ocorreu a transição dos seres unicelulares para os multicelulares ainda não foi determinado pelos cientistas que, consoante os fósseis estudados, apontam datas entre os 2400 e os 1200 milhões de anos.

Segundo uma das hipóteses para a origem da multicelularidade, os seres multicelulares tiveram origem em **colónias** – agregados de organismos unicelulares cujas células desempenham a mesma função. Ao longo do tempo, foi aumentando a complexidade das colónias no sentido de as suas células serem capazes de desempenhar funções diferentes, por exemplo, umas sendo responsáveis pelo movimento, outras pela alimentação e outras células especializaram-se na reprodução. A **diferenciação celular** é o processo em que as células se especializam para cumprir funções específicas, trabalhando em conjunto para manterem o equilíbrio do organismo. Nas colónias, a diferenciação celular terá conduzido a uma maior interdependência estrutural e funcional das células, dando origem a verdadeiros seres multicelulares.

As espécies do grupo de algas verdes volvocales estão relacionadas evolutivamente entre si e permitem analisar mudanças na complexidade entre algas unicelulares e multicelulares. Neste grupo, existem algas unicelulares e algas coloniais. A partir do estudo destas algas e de outros organismos atuais, os cientistas podem afirmar que a multicelularidade teve origem na unicelularidade e, em conjunto com a diferenciação celular, vão evoluindo organismos multicelulares cada vez mais complexos até à biodiversidade atual.

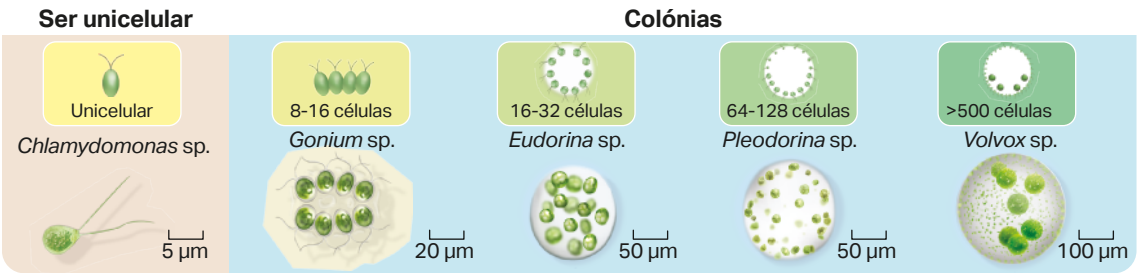


Fig. 3 As algas verdes volvocales, da família *Volvocaceae*, apresentam diferentes níveis de organização celular.

Responde tu

1 **Faz corresponder a cada descrição o nome de um ou mais géneros da figura 3.**

A – Alga unicelular com dois flagelos.

B – Alga colonial formada por 8 a 16 células agregadas, iguais e com dois flagelos.

C – Algas coloniais, maiores e mais complexas, formadas por células com funções diferentes, de locomoção e alimentação, sendo algumas especializadas na reprodução.

3.2. Teorias evolutivas

As duas grandes correntes de pensamento filosófico e científico para explicar a origem da vida e a biodiversidade são o fixismo e o evolucionismo. O **fixismo** afirma que os seres vivos atuais sempre foram imutáveis, tendo mantido as mesmas características desde que surgiram na Terra. O fixismo foi aceite durante muitos séculos, sendo apoiado pela observação, à escala do tempo médio de vida humana, de gerações sucessivas de seres vivos que se mantinham sempre semelhantes.

Na Grécia antiga, um dos primeiros filósofos a explicar a origem dos seres vivos foi **Anaximandro**. Segundo ele, os animais teriam surgido no mar, no passado, presos no interior de um tronco de árvore oco e com a casca coberta de espinhos. À medida que a casca envelhecia, secava e os animais conseguiam quebrá-la e sair. Dentro de animais semelhantes a peixes, iam sendo formados homens e mulheres: os embriões eram mantidos prisioneiros até à puberdade e, depois, os animais rompiam e deixavam sair as pessoas.

A diversidade dos seres vivos foi explicada por **Platão** na teoria das formas, em que os organismos eram cópias de formas perfeitas, imutáveis e eternas. Em Timeu, um dos numerosos diálogos escritos por Platão, o filósofo escreve que o pai e criador do universo, usando o universo eterno e perfeito de formas ou ideais como um modelo, começou a criar o nosso mundo, que anteriormente só existia em estado de desordem.

Aristóteles, influenciado pelo seu mestre Platão, admitiu que todos os organismos se encontravam organizados numa escada da vida, *Scala Naturae*, eterna e imutável. Nesta, os seres tinham um lugar fixo, dos mais simples para os mais complexos, até ao Homem. Aristóteles defendeu a teoria da geração espontânea ou abiogénese que considerava que a vida poderia originar-se a partir de matéria inerte.

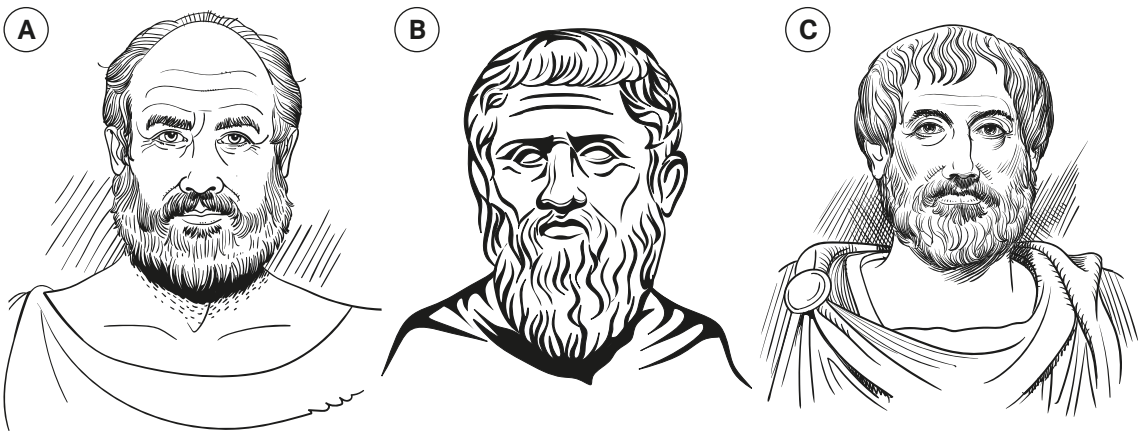


Fig. 4 Filósofos da antiguidade clássica: A – Anaximandro (610-546 a. C.); B – Platão (428/427-348/347 a. C.); C – Aristóteles (384-322 a. C.).

O naturalista **Lineu**, desenvolveu a ciência da classificação dos seres vivos, observando as suas características morfológicas e constatando a existência de inúmeras semelhanças entre eles. No entanto, apesar dos seus trabalhos científicos, Lineu era um fixista, defendendo que as espécies teriam sido criadas por Deus e que permaneciam imutáveis, geração após geração.

Durante o século XVIII, ao mesmo tempo que diversos estudiosos trabalhavam na ciência da classificação da vida, começou a desenvolver-se a ciência do estudo dos fósseis, a paleontologia. As descobertas de organismos do passado geológico foram sendo cada vez mais importantes e os cientistas começaram a colocar a possibilidade de os organismos mudarem ao longo do tempo. O conde de **Buffon** foi um dos primeiros naturalistas a admitir que as espécies resultariam de transformações lentas e graduais de espécies anteriores, ao longo do tempo.

No século XIX, além do estudo dos fósseis de organismos muito diferentes dos que existiam na atualidade, os geólogos calcularam uma idade para a Terra muito superior à admitida até então. Foram surgindo cada vez mais ideias evolucionistas. O **evolucionismo** admite que as espécies se alteram de forma lenta e gradual, ao longo do tempo, originando outras espécies. Em 1809, **Lamarck** foi o primeiro a desenvolver uma teoria explicativa da evolução. Mais tarde, em 1858, **Darwin** e **Wallace** estabeleceram as bases para o estudo atual da evolução biológica.

Fig. 5 Naturalistas do século XVIII: A – Carl Linnaeus, ou Lineu (1707-1778); B – Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788).

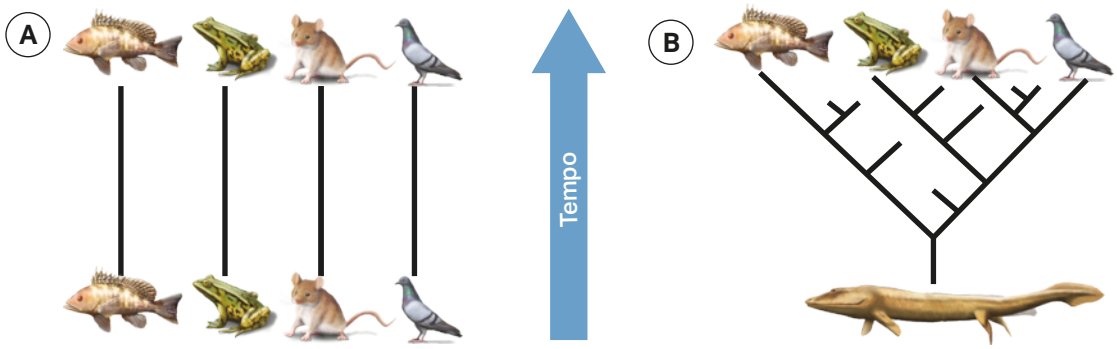


Fig. 6 Explicação fixista (A) e evolucionista (B) sobre as espécies.

Lamarckismo

Lamarck apresentou, em 1809, no seu livro *Philosophie Zoologique*, o **lamarckismo** – hipótese evolucionista que explica os mecanismos da evolução com base na lei do uso e do desuso e na lei da transmissão dos caracteres adquiridos.

A **lei do uso e do desuso** afirma que um ser vivo pode adaptar-se intencionalmente a diferentes ambientes, desenvolvendo ou atrofiando certos órgãos. A utilização constante de certo órgão levaria ao aumento do seu tamanho e da sua força e, pelo contrário, a falta de uso de um órgão levaria à sua atrofia e, eventualmente, desaparecimento.

A **lei da transmissão dos caracteres adquiridos** afirma que as modificações produzidas nos organismos devido à lei do uso e do desuso são transmitidas à descendência.

Segundo Lamarck, o indivíduo tem um "impulso interior" que lhe permite a **adaptação** a mudanças ambientais, alterando o seu comportamento. As mudanças comportamentais conduzem a alterações na forma, estrutura e função dos seus órgãos que permitem ao indivíduo sobreviver e reproduzir-se, transmitindo as mudanças à descendência. Para ilustrar as suas leis, Lamarck usou o exemplo das girafas propondo que, ao esticarem o pescoço para alcançar as folhas mais altas das árvores, este iria aumentando de tamanho e esta característica seria passada para os descendentes orginando girafas com pescoço cada vez mais comprido.

O lamarckismo foi muito contestado pela comunidade científica da época, continuando a prevalecer o fixismo que manteve afastadas as ideias evolucionistas durante vários anos.

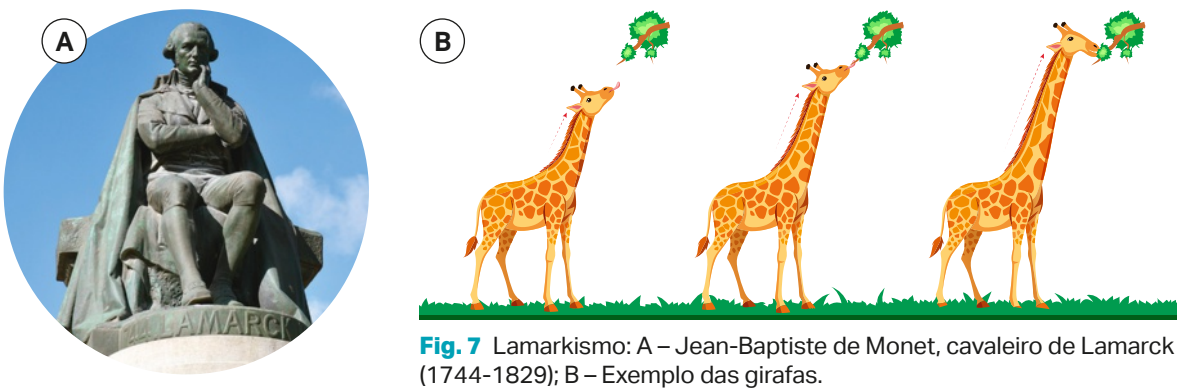


Fig. 7 Lamarkismo: A – Jean-Baptiste de Monet, cavaleiro de Lamarck (1744-1829); B – Exemplo das girafas.

Responde tu

1. Descreve a influência dos filósofos gregos na cultura e pensamento das civilizações posteriores.
2. Distingue fixismo de evolucionismo.
3. Justifica a afirmação: "O lamarckismo foi a primeira teoria do processo evolutivo."

Darwinismo

Em 1858, os naturalistas Charles Darwin e Alfred Russel Wallace publicaram artigos científicos com referência à luta pela existência que ocorre na Natureza, onde o indivíduo melhor adaptado ao ambiente sobrevive e deixa mais descendentes do que o menos adaptado, o que conduz ao declínio da sua espécie, eventualmente conduzindo-a à extinção. Os indivíduos mais adaptados transmitem os seus **caracteres inatos**, com os quais nasceram, para as gerações seguintes.

Antes da publicação dos artigos, tanto Darwin como Wallace fizeram longas viagens e recolheram numerosas informações. Os argumentos da biogeografia, geologia e demografia foram alguns em que se basearam para sustentarem as suas ideias evolucionistas.

Em 1859, Darwin publicou a obra *A Origem das Espécies* e estabeleceu os princípios da teoria evolutiva conhecida por **darwinismo**.

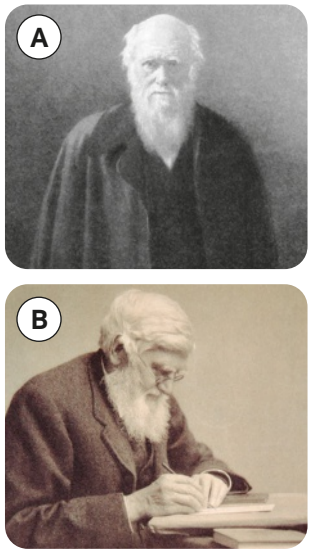


Fig. 8 Evolucionistas: A – Charles Darwin (1809--1882); B – Alfred Russel Wallace (1823-1913).

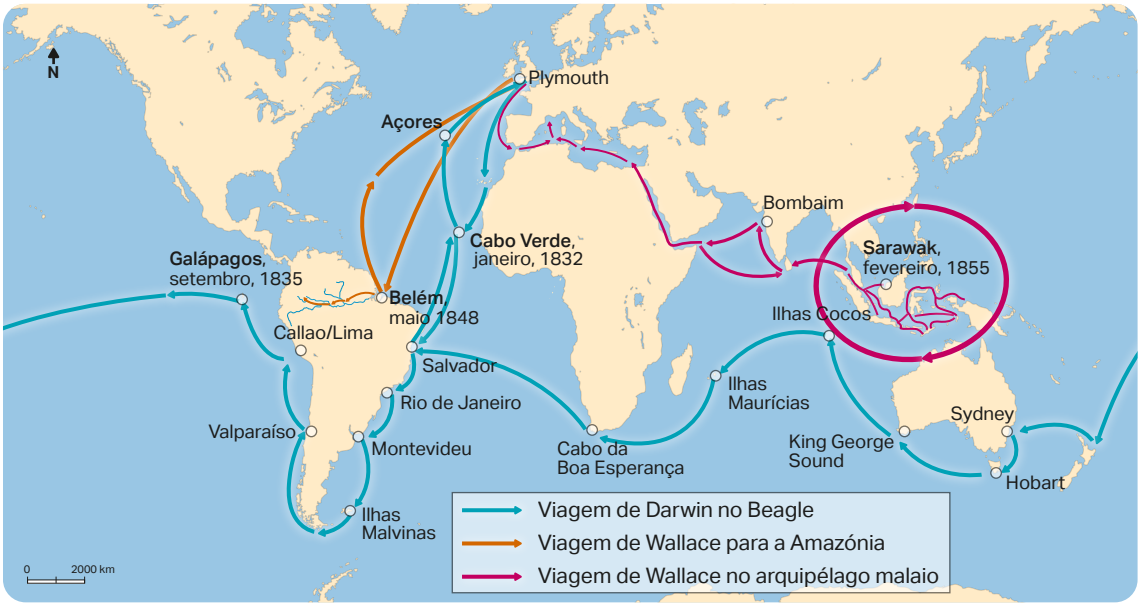


Fig. 9 Viagens de Darwin e Wallace.

Dados da geologia

Os estudos do geólogo Charles Lyell (1797-1875), grande defensor do uniformitarismo, ajudaram Darwin a compreender melhor algumas das suas observações, nomeadamente de fósseis marinhos que descobriu nos Andes, milhares de metros acima do mar. Assim, se o planeta Terra está em mudanças constantes e graduais há milhões de anos, os seres que vivem na Terra poderiam passar também por modificações lentas e graduais que levariam à formação de espécies diferentes.

Dados da biogeografia

Durante as suas viagens, Darwin e Wallace constataram que as ilhas e os continentes isolados possuem comunidades distintas de organismos.

Nas ilhas Galápagos, Darwin registou diferenças entre os tentilhões. As aves deste grupo que vivem nas diversas ilhas, apesar de terem variações no tamanho, na cor e na forma do bico, apresentam uma grande semelhança entre si, sugerindo uma origem comum. As ilhas teriam sido colonizadas a partir do continente americano e as características de cada ilha condicionaram a evolução de cada espécie, levando à sua diferenciação.

No arquipélago Malaio, Wallace descreveu uma rã voadora, sugerindo que esta espécie, ao longo do tempo, modificou os membros, que a maioria das outras espécies de rãs usava para nadar, a fim de "voar" de árvore em árvore na floresta tropical.

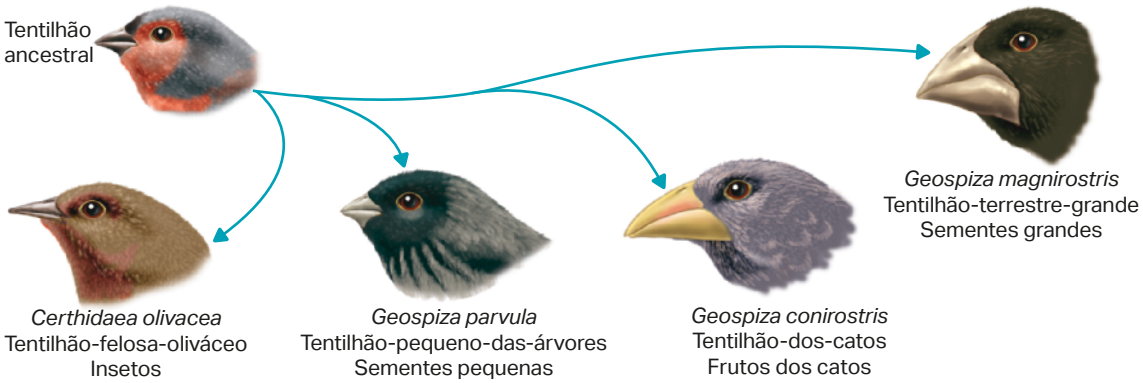


Fig. 10 A forma do bico dos tentilhões está associada ao tipo de alimento.

Fonte: Alamy StockPhoto/Fotobanco.pt

Fig. 11 Rã-voadora-de-wallace, *Rhacophorus nigropalmatus*.

Dados da demografia

Os estudos do matemático e economista Thomas Malthus (1766-1834) ajudaram Darwin a deduzir que nem todos os indivíduos de uma população sobrevivem e se reproduzem devido à limitação de recursos disponíveis e à competição pelos mesmos. Segundo Malthus, o tamanho da população humana tende a crescer de modo exponencial, enquanto os recursos são produzidos de modo aritmético, sendo o crescimento populacional limitado por pandemias, guerras e fome.

3.3. Processos de evolução

Em Biologia, o termo **evolução** refere-se à mudança das características de uma população transmitidas de uma geração para outra. Uma **população** é o conjunto de indivíduos da mesma espécie que, num determinado momento, vivem na mesma área e se reproduzem entre si. Na evolução biológica, a população é a unidade evolutiva. A **espécie** pode ser definida como um conjunto de indivíduos que partilham as mesmas características morfológicas, fisiológicas e genéticas, e que se podem cruzar entre si, produzindo descendência fértil e viável.

Ao longo de várias gerações, as populações mudam através de processos como a seleção natural e a variabilidade genética.

Seleção natural

A **seleção natural** é o processo em que os indivíduos com as características hereditárias que lhes permitem uma melhor adaptação ao ambiente onde vivem têm maiores taxas de sobrevivência e reprodução do que outros indivíduos da mesma espécie sem essas características. A acumulação daquelas adaptações ao longo do tempo pode conduzir ao aparecimento de novas espécies. Existem três pressupostos para que a seleção natural ocorra e resulte em mudanças evolutivas: variabilidade intraespecífica, sobrevivência diferencial e reprodução diferencial.

A **variabilidade intraespecífica** é o conjunto de variações entre os indivíduos de uma população. A seleção natural atua favorecendo os indivíduos com certas características, relativamente a outros da mesma espécie com outras características.

Fonte: Raquel Vasconcelos

Fig. 12 Variabilidade intraespecífica da lagartixa *Chioninia spinalis* de Cabo Verde.

A **sobrevivência diferencial** significa que nem todos os indivíduos de uma população têm a mesma possibilidade de sobreviver. De facto, existem vários fatores do ambiente, bióticos, como a predação, e abióticos, como a água, que condicionam a sobrevivência dos indivíduos. Numa população, os indivíduos com variações favoráveis, isto é, com características que os tornam melhor adaptados ao ambiente, têm maior capacidade de sobrevivência, enquanto aqueles que não têm essas vantagens adaptativas ou que têm variações desfavoráveis, têm mais dificuldade em sobreviver e desaparecem progressivamente.

A **reprodução diferencial** significa que os indivíduos de uma população com variações favoráveis estão melhor adaptados, sobrevivem e reproduzem-se mais, ou seja, têm maior sucesso reprodutivo. Estes indivíduos tornam-se mais prevalentes na população.

É importante frisar que, apesar de a seleção natural atuar sobre o indivíduo, não é o indivíduo que evoluiu, mas sim a população a que o indivíduo pertence. São os caracteres individuais do organismo que condicionam a sua sobrevivência e reprodução. No entanto, o impacto dos processos de evolução só é visível quando uma população de organismos, e não os organismos individuais, muda ao longo do tempo.

Muitos dos estudos documentados sobre **seleção natural** referem-se a variações intraespecíficas que diminuem a probabilidade de captura dos indivíduos por um predador. Por exemplo, a borboleta-da-luzerna coloca ovos nas folhas da luzerna. As lagartas que eclodem dos ovos são verde-alface e ficam camufladas nas folhas da planta. No entanto, a população tem variações e algumas lagartas apresentam cor azul brilhante, tornando-as uma presa fácil para as aves.

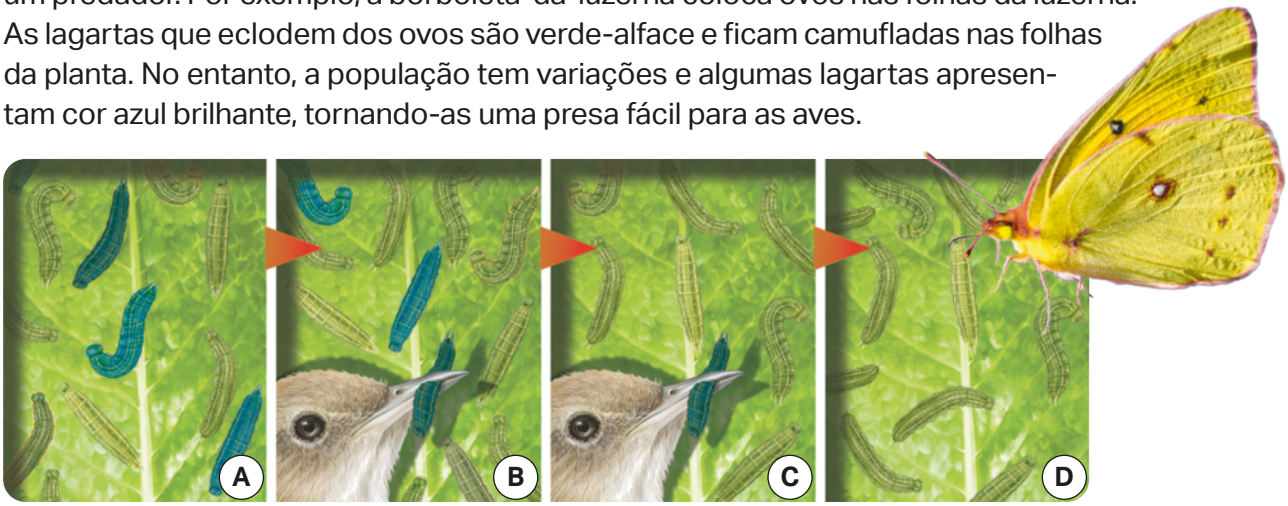


Fig. 13 Exemplo de seleção natural numa população da borboleta *Colias eurytheme* ao longo do tempo.

Responde tu

1 **Faz corresponder a cada frase uma das letras da figura 13.**

I – Alguns indivíduos mostram uma melhor adaptação ao ambiente do que outros.

II – Aumenta o sucesso reprodutivo dos indivíduos melhor adaptados, alterando a frequência de indivíduos na população.

III – Os indivíduos de uma população apresentam variações entre si.

IV – Os indivíduos menos adaptados sobrevivem e reproduzem-se menos.

Seleção sexual

O sucesso reprodutivo dos indivíduos numa população depende de vários fatores, como a sua esperança de vida, a frequência de acasalamento e o número de descendentes produzidos após o acasalamento. A frequência de acasalamento pode ser definida como **seleção sexual** – processo de escolha por um indivíduo de características morfológicas e comportamentais de um parceiro que conduzem ao acasalamento. Darwin distinguiu a seleção sexual da seleção natural e Wallace considerava que a seleção sexual era um dos aspetos da seleção natural. Do mesmo modo, atualmente a comunidade científica diverge na opinião. Enquanto a seleção natural dá aos organismos vantagens para a sua sobrevivência, a seleção sexual é responsável pela evolução de características que dão aos organismos vantagens reprodutivas.

A seleção sexual inclui a seleção intersexual e a seleção intrassexual. Na **seleção intersexual**, os indivíduos de um sexo são escolhidos pelos indivíduos do outro sexo devido a características específicas. Na **seleção intrassexual** acontece a competição entre indivíduos do mesmo sexo, geralmente machos, pelo acesso ao acasalamento com parceiros do sexo oposto, as fêmeas. A seleção sexual conduz à evolução de estruturas usadas no combate com outros machos da mesma espécie, como as hastes, bem como de estruturas ornamentais para atrair indivíduos do sexo oposto, como penas coloridas e compridas. Estas características sexuais secundárias, não relacionadas diretamente com os órgãos sexuais, são responsáveis pelo **dimorfismo sexual** – diferenças morfológicas entre machos e fêmeas da mesma espécie.

Fig. 14 Exemplos de seleção sexual: A – Elefante-marinho, *Mirounga* sp.; B – Veado, *Cervus elaphus*; C – Rabil, *Fregata magnificens*; D – Viúva-do-paraíso-rabilonga, *Vidua paradisaea* (♀ – fêmea; ♂ – macho).

Seleção artificial

A **seleção artificial** é o processo, com a intervenção humana, em que há a escolha de indivíduos para reprodução com determinados caracteres, ou seja, combinações genéticas de interesse, mais úteis às pessoas, por motivos alimentares ou outros. Neste processo, são escolhidos indivíduos com as características pretendidas e cruzam-se de forma a aumentar a probabilidade de alguma da sua descendência também ter essas características. Fazem-se vários cruzamentos consecutivos, escolhendo sempre os indivíduos a cruzar, e vão-se selecionando as características pretendidas. Quase todas as espécies que servem de base à agricultura e alimentação foram transformadas por seleção artificial de espécies silvestres ou selvagens. Alguns exemplos são as raças de cães e gatos e as variedades de milho e couves.

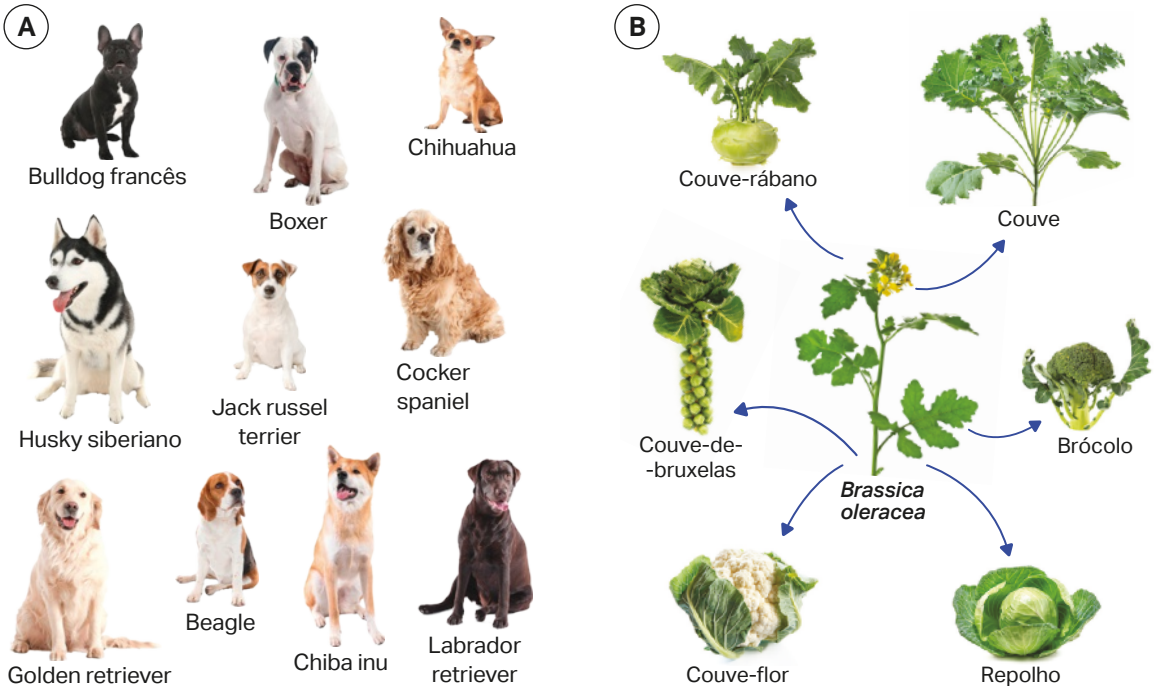
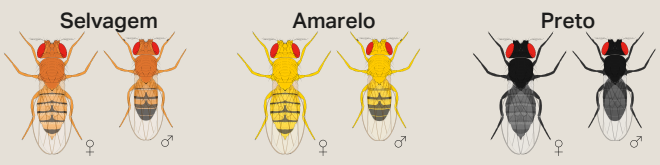


Fig. 15 A – Todos os cães, independentemente da sua raça, pertencem à mesma subespécie *Canis lupus familiaris*; B – A couve, o brócolo, o repolho e muitas outras variedades de couve, pertencem todas à mesma espécie *Brassica oleracea*.

Aprende mais

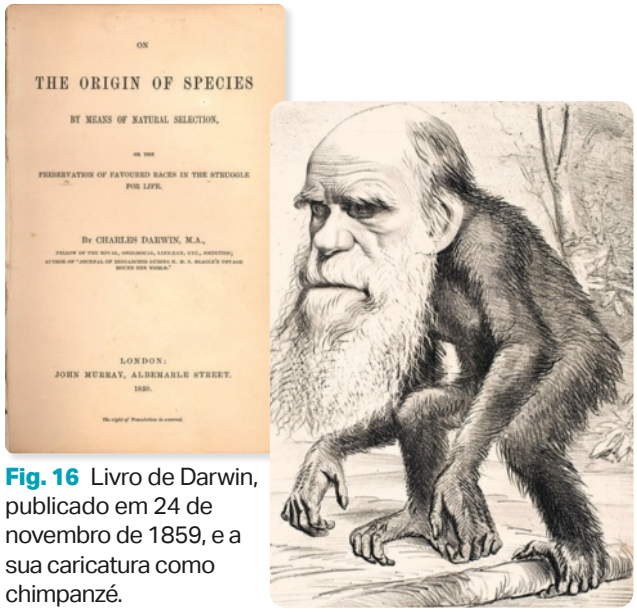
A **seleção artificial** é frequentemente utilizada em estudos genéticos. A mosca-da-fruta, *Drosophila melanogaster*, é selecionada para obtenção de exemplares com determinados caracteres, como a cor dos olhos ou do corpo e o tamanho das asas. Thomas Morgan (1866-1945) foi um dos primeiros cientistas a cultivar esta espécie em laboratório para estudar a transmissão de caracteres.



Cor do corpo da mosca-da-fruta.

Neodarwinismo

Darwin demonstrou e descreveu a sua teoria da evolução por seleção natural no livro *A Origem das Espécies*, que demorou quase vinte anos a publicar. As viagens e os trabalhos que Darwin realizou durantes estes anos tiveram como objetivo fundamentar fortemente a sua teoria, pois Darwin sabia que as suas ideias iriam ser muito controversas. A sociedade da época era maioritariamente conservadora e ele foi muito ridicularizado em caricaturas publicadas em jornais e revistas. Um dos pontos da sua teoria que Darwin não conseguiu explicar foi o modo como ocorria a variabilidade intraespecífica, pois nessa altura ainda não existiam conhecimentos de hereditariedade e muito menos de genética.


ON

THE ORIGIN OF SPECIES

BY MEANS OF NATURAL SELECTION,

OR THE

PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE FOR LIFE.

By CHARLES DARWIN, M.A.,

LONDON:
JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.
1859.

Fig. 16 Livro de Darwin, publicado em 24 de novembro de 1859, e a sua caricatura como chimpanzé.

Os primeiros conceitos de hereditariedade só foram divulgados em 1866, com a publicação dos trabalhos de Mendel sobre ervilheiras da mesma espécie, *Pisum sativum,* que iniciaram o caminho para a compreensão da variabilidade intraespecífica que Darwin não tinha conseguido explicar.

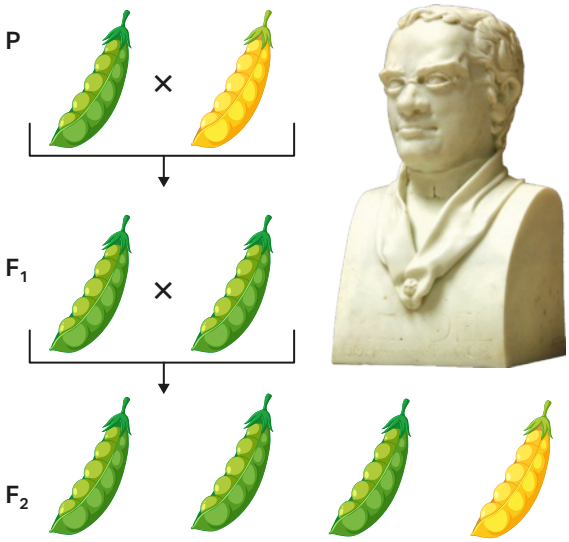


Fig. 17 Gregor Mendel (1822-1884) trabalhou com *Pisum sativum*.

Por outro lado, o termo genética só foi usado pela primeira vez em 1908, pelo biólogo William Bateson para designar a ciência dos genes, da hereditariedade e da variação dos organismos. A partir daqui foi sendo desenvolvido o **neodarwinismo** – uma nova teoria da evolução que combina o processo de seleção natural com a genética.

O neodarwinismo, também designado por síntese evolutiva moderna ou teoria sintética da evolução, foi desenvolvido por numerosos cientistas e combina a teoria da evolução por seleção natural com a hereditariedade e a genética populacional. Neste contexto, o conceito de variabilidade intraespecífica foi esclarecido e alargado, tendo sido progressivamente substituído pelo conceito de **variabilidade genética** das populações – variações no material genético entre os indivíduos de uma população resultantes de mutações e recombinação génica.

Mutações

No contexto da genética, as **mutações** são alterações dos genes e estão na origem da variabilidade genética. Geralmente, as mutações têm origem na substituição, no desaparecimento – deleção –, ou na adição – inserção –, de um ou mais nucleótidos na sequência que constitui o gene. Como resultado das mutações, podem ser alteradas as sequências de aminoácidos e serem produzidas proteínas diferentes das normais. Quando as mutações ocorrem em células germinativas que originam gâmetas, podem ser transmitidas de progenitores para descendentes, afetando aqueles que sejam portadores dessas mutações.

Existem mutações que podem comprometer o desempenho da função da proteína. Uma das mutações com grande impacto na saúde individual e das populações humanas é a que está na origem da doença falciforme, também chamada anemia falciforme ou drepanocitose. Nesta doença hereditária, os eritrócitos têm forma de foice, transportando menos oxigénio do que os normais, e, além disso, podem causar bloqueios nos capilares sanguíneos. A forma peculiar dos eritrócitos resulta de uma mutação de um gene localizado no cromossoma 11, havendo substituição do nucleótido timina pelo da adenina, o que conduz à formação de um novo codão que codifica um dos aminoácidos da proteína hemoglobina.

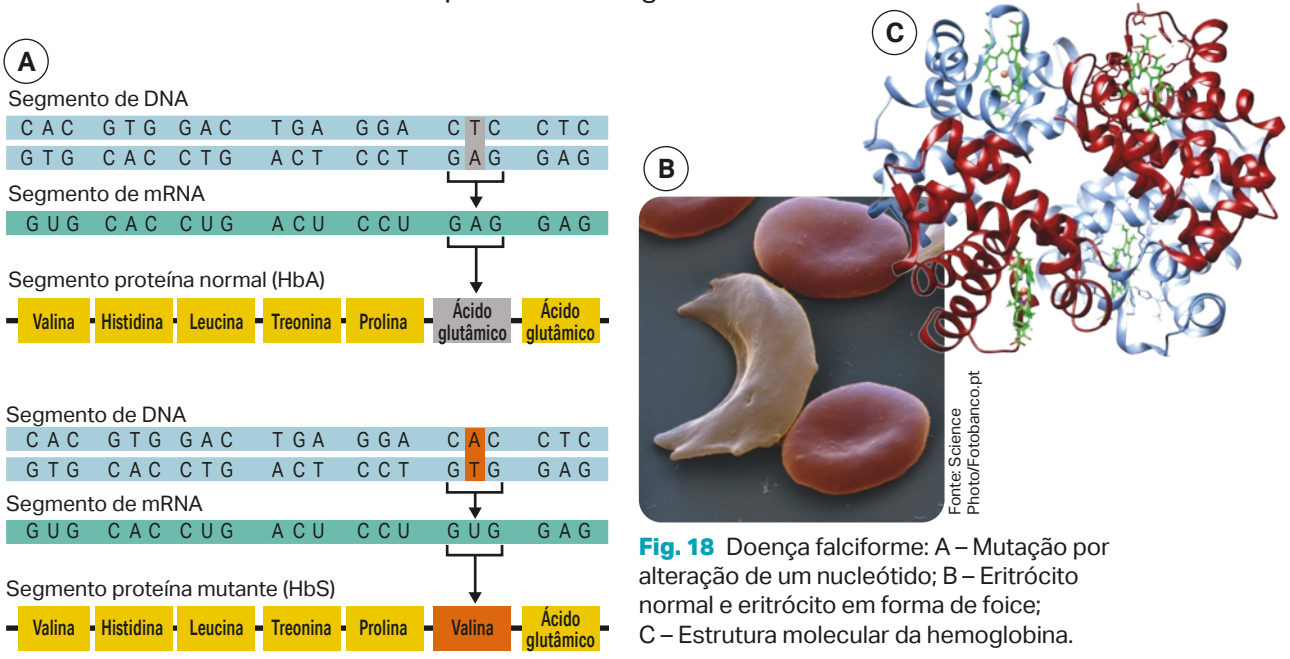


Fig. 18 Doença falciforme: A – Mutação por alteração de um nucleótido; B – Eritrócito normal e eritrócito em forma de foice; C – Estrutura molecular da hemoglobina.

Aprende mais

O Dia Mundial sobre a Consciencialização da **Doença Falciforme** é comemorado em Cabo Verde e no mundo a 19 de junho. Consulta os especialistas desta doença na Faculdade de Ciências e Tecnologia e na Ordem dos Médicos e elabora um trabalho para apresentação à turma.

ORDEM DOS MÉDICOS CABO-VERDIANOS

UNIVERSIDADE CABO VERDE uniCV FCT

Recombinação génica

A **recombinação génica** é o processo de reorganização do material genético que ocorre na reprodução sexuada devido aos processos de meiose e fecundação. A variabilidade genética numa população resulta da combinação única de material genético que os indivíduos recebem dos seus progenitores. Durante a meiose, há *crossing-over* nos cromossomas homólogos seguido de separação aleatória pelos gâmetas, e na fecundação, os gâmetas combinam-se uns com os outros. Deste modo, a recombinação génica contribui para a variabilidade genética das populações.

Quanto maior for a variabilidade genética numa população, maior será a probabilidade de essa população se adaptar e sobreviver, caso ocorram alterações do seu ambiente. Um dos casos mais estudados de evolução em resposta a mudanças ambientais é o melanismo industrial, termo usado para descrever a adaptação à poluição atmosférica causada por indústrias.

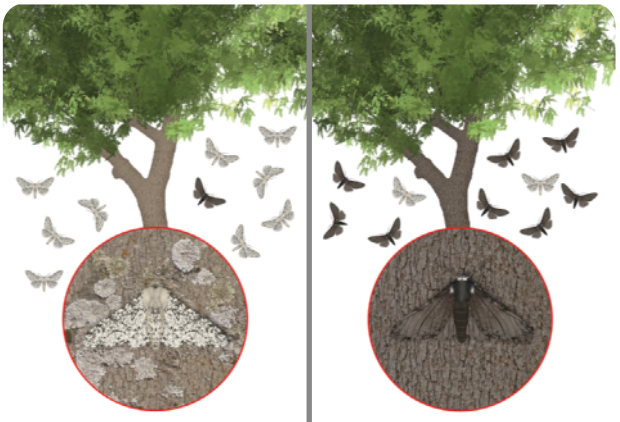


Fig. 19 Exemplo de melanismo industrial na espécie *Biston betularia*.

Responde tu

1 **Ordena as frases de modo a obteres uma sequência cronológica dos acontecimentos da figura 19.**

A – O número de borboletas de cor escura aumentou, de modo que a população de *B. betularia* passou a ser constituída maioritariamente por borboletas escuras.

B – Na região de Manchester, em Inglaterra, antes da Revolução Industrial, predominavam as borboletas da espécie *B. betularia* de cor clara, ficando camufladas nos troncos das árvores de casca clara. Na população, devido à variabilidade genética, ocorriam borboletas de cor escura que, com menor camuflagem, eram capturadas facilmente pelas aves.

C – Após a diminuição da poluição, os troncos das árvores clarearam e, atualmente, na população de *B. betularia* domina a cor clara.

D – A poluição escureceu os troncos e esta alteração favoreceu as borboletas escuras, que passaram a ter melhor camuflagem do que as borboletas claras.

E – As borboletas escuras passaram a sobreviver mais, aumentando o seu sucesso reprodutivo.

Valor adaptativo

Na generalidade, as mutações são neutras, ou seja, provocam alterações na sequência de DNA, no genótipo, sem qualquer vantagem ou desvantagem no contexto da seleção natural, mas que podem ser expressas em diferentes fenótipos, contribuindo para a variabilidade intraespecífica. No entanto, existem mutações que provocam alterações nos indivíduos que lhes conferem alguma vantagem adaptativa relativamente aos outros indivíduos sem mutações. As alterações genéticas que apresentam benefícios para os organismos refletem-se no aumento do sucesso reprodutivo dos indivíduos que as possuem, são transmitidas aos descendentes e vão sendo cada vez mais frequentes na população. Este processo tem a designação de **valor adaptativo** ou ***fitness*** – capacidade de um organismo sobreviver e reproduzir-se com sucesso no seu ambiente, transmitindo os seus genes para a próxima geração.

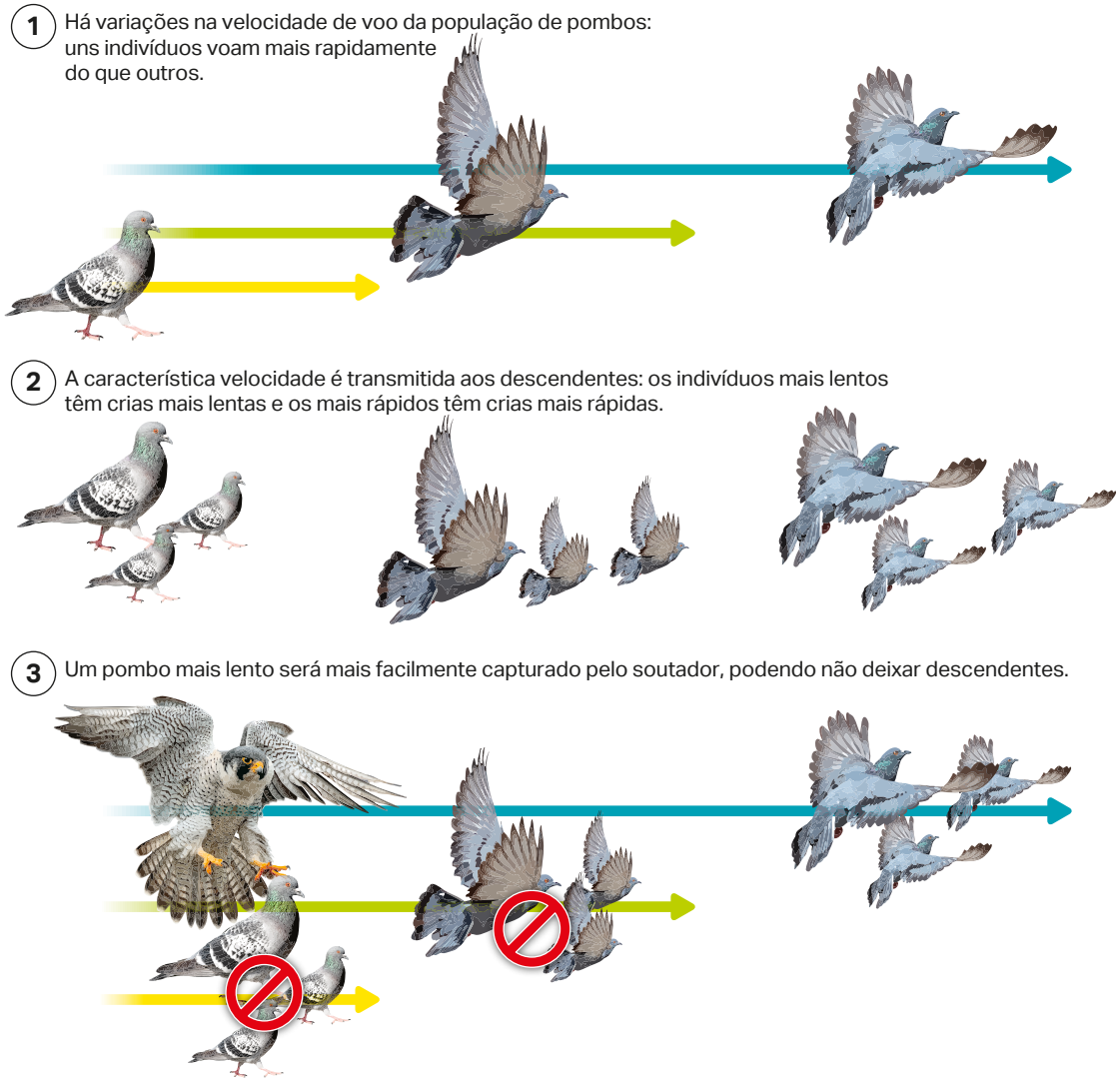


Fig. 20 Exemplo de valor adaptativo numa população cabo-verdiana de pombos *Columba livia*, submetida a predação por soutador, ave de rapina da espécie *Falco peregrinus*.

Fundo genético

O **fundo genético** é o conjunto de genes de uma população num determinado momento. A variação do fundo genético é um dos principais indicadores de que uma população está a evoluir.

A variabilidade genética dos organismos de uma população condiciona a sua adaptabilidade a uma determinada mudança no seu ambiente. No caso de num organismo existirem genes que lhe conferem vantagens adaptativas, esse organismo reproduz-se mais e os seus genes tendem a ser cada vez mais frequentes nas gerações seguintes, na sua população. Contrariamente, se num organismo existirem genes que lhe conferem desvantagens adaptativas, esse organismo reproduz-se menos e os seus genes tendem a ser cada vez menos frequentes nas gerações seguintes, na sua população. Estes genes podem ser designados por **alelos** – formas alternativas, geradas por mutações, de um mesmo gene, localizadas no mesmo local no cromossoma.

Por exemplo, relativamente a um determinado gene com os alelos *A* e *a*, numa população de borboletas, ao longo de várias gerações, há variação do fundo genético. Num determinado momento, o fundo genético é caracterizado pelas frequências relativas, em percentagem, dos alelos.

Ao longo do tempo, o fundo genético pode ser alterado devido a **deriva genética** – mudanças na frequência dos alelos numa população, devido a acontecimentos aleatórios. A deriva genética não está relacionada com a capacidade adaptativa dos organismos de uma população, sendo mais acentuada em populações de pequeno tamanho, pelo que pode ter um impacto significativo na estrutura dessas populações. Por exemplo, se a borboleta com o par de alelos *Aa* da geração 1 não deixar descendentes, o alelo *A* desaparece da população de borboletas.

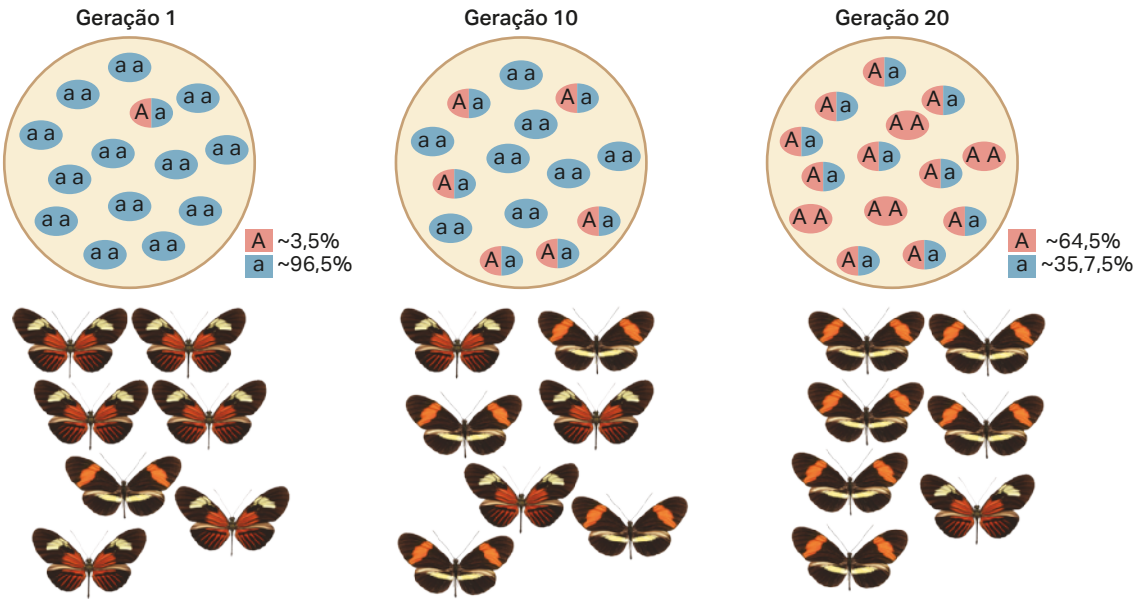


Fig. 21 Exemplo de variação do fundo genético ao longo de várias gerações.

O contributo de várias áreas científicas, como anatomia, biogeografia, paleontologia, bioquímica e genética, foi fundamental para o desenvolvimento e a consolidação da teoria da evolução. A ciência tem apresentado diversos argumentos que apoiam os processos evolutivos através de evolução divergente ou de evolução convergente.

Evolução divergente

A **evolução divergente** é o processo evolutivo que conduz à diversificação de diferentes espécies a partir de uma espécie ancestral comum. A evolução divergente ocorre, especialmente, quando uma população é separada em duas ou mais populações que ficam sujeitas a novos ambientes. Nestes ambientes, as características com vantagens adaptativas são selecionadas relativamente às desvantajosas e, após numerosas gerações, podem ser formadas novas espécies. A evolução divergente conduz à formação de estruturas homólogas e de estruturas vestigiais.

As **estruturas homólogas** são as que apresentam semelhanças derivadas de relações de parentesco evolutivo entre espécies que evoluíram a partir de um antepassado comum. Os ossos do esqueleto dos membros anteriores dos vertebrados são um dos exemplos de estruturas homólogas. Considerando que os vertebrados descenderam de um ancestral comum, a sua evolução resultou em modificações estruturais nos membros locomotores dos indivíduos das diferentes espécies. Estas mudanças permitiram que membros com estruturas semelhantes tenham funções locomotoras muito diferentes, como nadar, voar, caminhar ou correr.

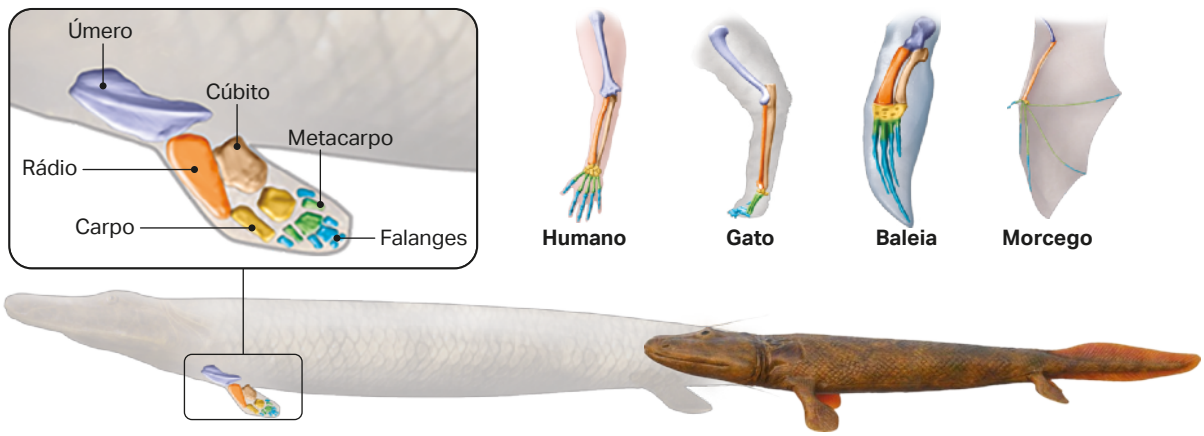


Fig. 22 Exemplo de estruturas homólogas ósseas presentes em alguns vertebrados atuais, provenientes de um ancestral comum, o anfíbio fóssil *Tiktaalik*.

Aprende mais

Existem evidências de estruturas homólogas no **desenvolvimento embrionário** dos animais. Numa fase inicial, todos os embriões de vertebrados apresentam cauda, que regride em alguns animais, e arcos faríngeos, que se desenvolvem em brânquias nos peixes e em canais da cabeça e pescoço nos répteis, aves e mamíferos.

As **estruturas vestigiais** são as que, apesar de apresentarem semelhanças com estruturas funcionais de organismos ancestrais, são geralmente atrofiadas e não possuem qualquer função evidente. Por exemplo, nas baleias existem vestígios de membros posteriores. Ao longo do processo evolutivo, as estruturas derivadas de um ancestral comum continuam funcionais enquanto apresentarem vantagens adaptativas ao ambiente em que vivem os indivíduos. Ao mudar de ambiente, estas estruturas podem, eventualmente, deixar de ser necessárias para a sobrevivência dos indivíduos pelo que poderão degenerar, ou permanecer como estruturas vestigiais.

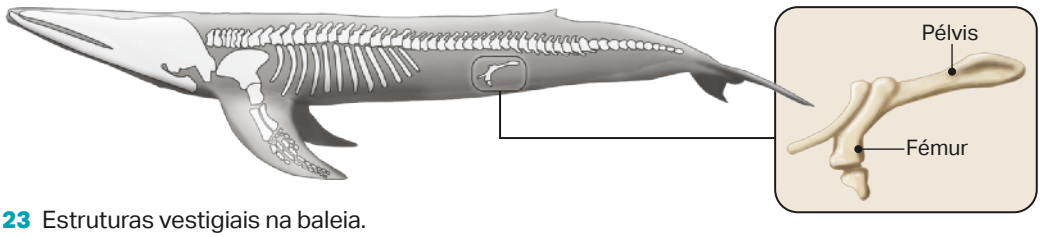


Fig. 23 Estruturas vestigiais na baleia.

O **isolamento geográfico** é também um dos exemplos de evolução divergente. No caso de uma população ficar isolada devido ao aparecimento de uma barreira geográfica, as populações resultantes, ao longo do tempo, podem apresentar diferenças tão grandes que as tornam em espécies diferentes.

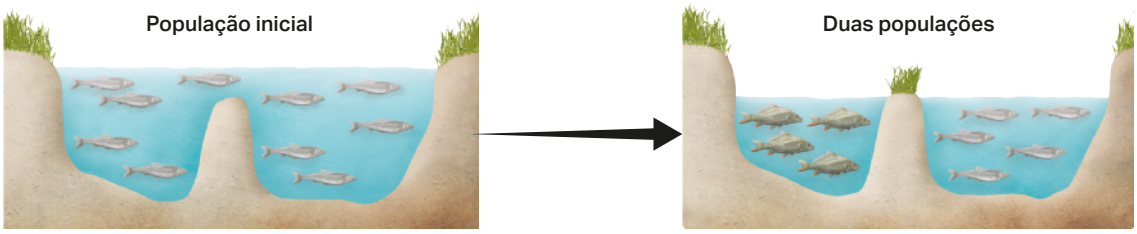


Fig. 24 Evolução divergente após isolamento geográfico.

As **formas sintéticas** ou formas intermédias são fósseis que apresentam características de diferentes grupos e são um dos exemplos de evolução divergente. Uma das formas sintéticas é o *Archaeopteryx*, um fóssil com penas, asas e bico, características de ave, e com cauda e dentes cónicos, características de réptil. A relação evolutiva entre os diferentes grupos de animais pode ser representada numa árvore filogenética ou árvore da evolução.

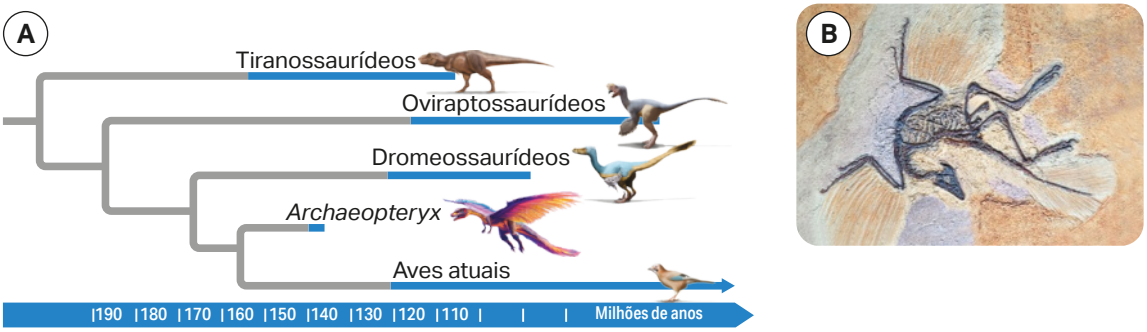


Fig. 25 Árvore filogenética simplificada com o *Archaeopteryx* (A) e respetivo fóssil (B).

A **homologia molecular** é, atualmente, um dos principais argumentos da evolução divergente. De facto, todos os seres vivos descobertos até ao momento partilham o mesmo código genético, sugerindo uma origem comum dos diferentes grupos de organismos, a partir do mesmo ancestral. Deste modo, pode concluir-se que seres vivos tão diferentes, como pessoas e bactérias, partilham certos genes, usando a mesma linguagem genética de DNA e RNA.

Também ao nível molecular, existem processos bioquímicos que se encontram em quase todos os seres vivos, com apenas algumas diferenças ao nível da estrutura e função. Um dos exemplos desta homologia molecular é a respiração aeróbia, processo utilizado por todos os organismos que utilizam o oxigénio para produzir energia. Por exemplo, desde os seres mais simples, como as bactérias, aos mais complexos, como o ser humano, todos possuem, nas mitocôndrias, proteínas idênticas como a mioglobina que é muito semelhante em todos os organismos, mas que apresenta algumas diferenças na sequência de aminoácidos entre diferentes espécies.

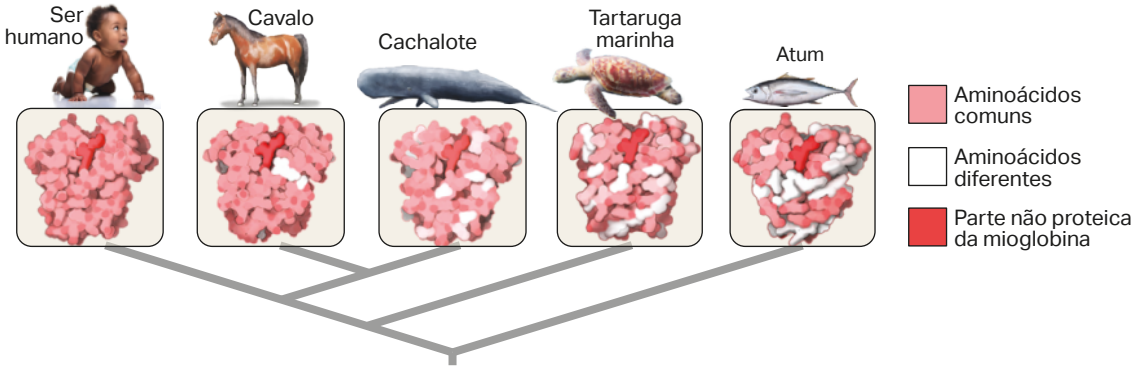
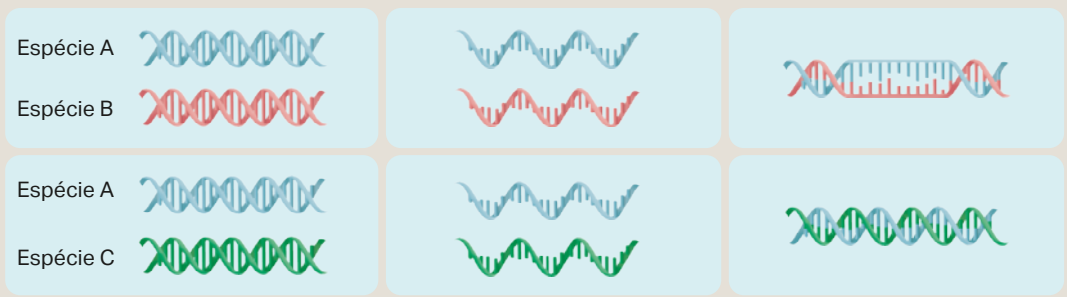


Fig. 26 A proteína mioglobina comprova a evolução divergente entre vertebrados.

Aprende mais

A evolução divergente também pode ser comprovada por comparação de sequências de nucleótidos de fragmentos homólogos de DNA, obtidos através de técnicas de **hibridação**: processos de mistura do DNA de espécies distintas. A hibridação é utilizada em laboratório para a realização de testes de proximidade filogenética entre espécies, e, quanto maior for a percentagem de DNA híbrido formado, mais próximos e aparentados são os indivíduos.



Recolha de DNA. | Separação e mistura das cadeias do DNA das duas espécies. | Hibridação das cadeias de DNA e determinação do grau de afinidade entre elas.

Uso da hibridação na comparação de fragmentos homólogos de DNA.

Evolução convergente

A **evolução convergente** é o processo evolutivo em que espécies diferentes e não relacionadas evoluem, desenvolvendo características semelhantes. Os seres vivos que evoluíram de modo independente a partir de ancestrais diferentes podem apresentar características semelhantes com funções idênticas, devido ao desenvolvimento de adaptações equivalentes. A evolução convergente conduz à formação de estruturas análogas.

As **estruturas análogas** são as que desempenham a mesma função embora não tenham a mesma origem nem estrutura básica. As estruturas análogas representam casos em que os caracteres semelhantes evoluem de modo independente em espécies de diferentes grupos que ocupam o mesmo tipo de ambiente. Um exemplo de estruturas análogas são as asas dos insetos e as asas das aves. Ambas evoluíram no sentido da adaptação ao voo e, no entanto, apresentam origem e constituição diferentes: as asas dos insetos são formadas principalmente por quitina, um polissacarídeo, enquanto as penas das asas das aves são formadas principalmente por queratina, uma proteína.

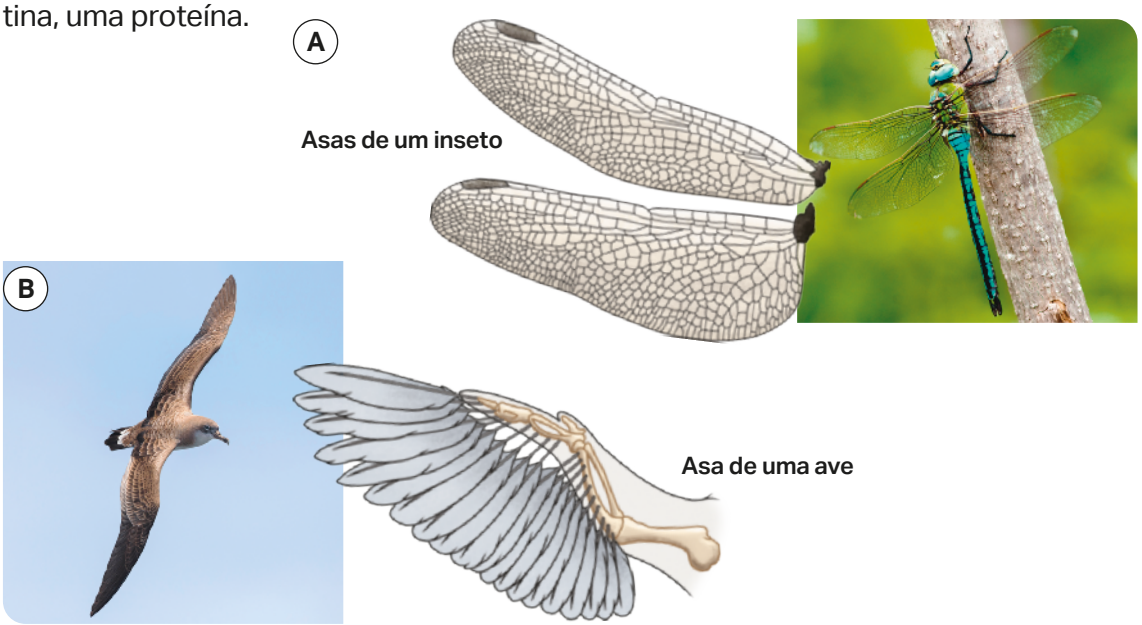


Fig. 27 Estruturas análogas: A – Asas de inseto, como a libélula *Anax imperator*; B – Asas de aves, como a cagarra-de-cabo-verde, *Calonectris edwarsii*.

Responde tu

1. Observa atentamente a figura 26 da página anterior. Refere as espécies com maior afinidade genética.
2. Distingue evolução divergente de evolução convergente.
3. Relaciona a divergência com a homologia e a convergência com a analogia.

Evolução gradual e evolução súbita

A evolução pode ocorrer de forma gradual ou súbita.

A **evolução gradual** acontece através de pequenas e contínuas mudanças ao longo de várias gerações e durante muito tempo. O registo fóssil apresenta numerosas provas de evolução gradual, como, por exemplo, a origem e evolução do cavalo atual.

A **evolução súbita** acontece através de mudanças rápidas, em saltos e significativas, num curto espaço de tempo. O registo fóssil também apresenta provas de evolução súbita, tendo sido encontrados num estrato fósseis de espécies que parecem surgir de forma repentina e que, nos estratos seguintes, permanecem inalteradas por longo tempo, até à extinção.

Ambas as correntes de pensamento evolutivo gradual e súbito continuam atualmente em debate na comunidade científica, o que comprova o carácter dinâmico da ciência.

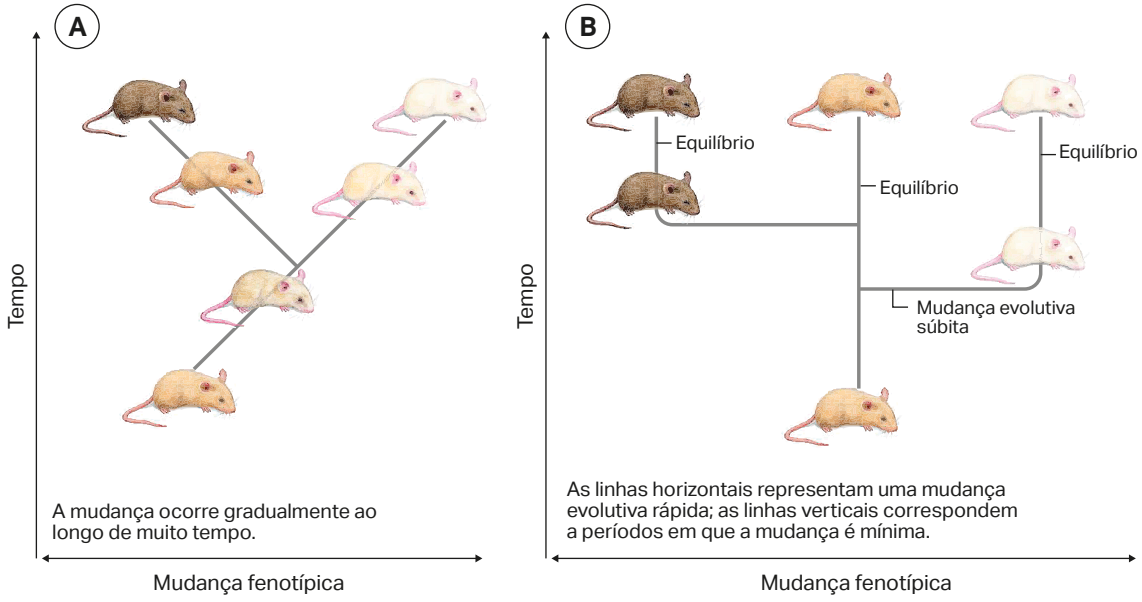


Fig. 28 Comparação entre a evolução gradual e súbita.

Responde tu

1 **Faz corresponder a cada frase uma das letras, A ou B, da figura 28.**

I – Na evolução súbita, existem longos períodos de equilíbrio, nos quais as espécies permanecem quase inalteradas, e períodos curtos de mudança evolutiva, durante os quais as características fenotípicas podem mudar rapidamente.

II – Na evolução gradual, as características fenotípicas de uma espécie mudam gradualmente, ao longo do tempo, devido à acumulação de pequenas alterações genéticas.

Evolução e extinção

A escala do tempo geológico é uma sequência cronológica dos acontecimentos mais significativos, ao longo da história da Terra, presentes no registo fóssil. Entre estes acontecimentos destaca-se, relativamente aos seres vivos, a **evolução** e a **extinção** – desaparecimento total de uma espécie ou de um grupo de espécies.

Com base nos fósseis é possível constatar as mudanças que ocorreram na biodiversidade desde há cerca de 4 mil milhões de anos. Estas mudanças são importantes mecanismos da evolução e resultaram, principalmente, de dois importantes processos: mudanças genéticas e mudanças ambientais.

As **mudanças genéticas** nos organismos podem afetar as suas características e influenciar a sua capacidade de sobrevivência e reprodução, promovendo a evolução.

As **mudanças ambientais** da Terra influenciaram profundamente o tipo de organismos ao longo do tempo geológico, como alterações da temperatura e da composição da atmosfera, transgressões e regressões marinhas, glaciações e degelos, erupções vulcânicas e impactos de asteroides. Por vezes, as mudanças ambientais permitiram o aparecimento e a expansão de novos organismos. Outras vezes, as mudanças ambientais foram de tal modo significativas que resultaram numa **extinção em massa** – desaparecimento simultâneo de um grande número de espécies. Na história da Terra ocorreram cinco grandes extinções em massa e alguns limites entre períodos na escala do tempo geológico são baseados na ocorrência de extinções em massa.

Ao longo da história da vida na Terra, há um padrão recorrente: a extinção de algumas espécies e o surgimento de novas espécies. Por exemplo, a seguir à extinção em massa do final do Cretácico, em que desapareceu a grande maioria dos dinossauros, houve uma grande diversificação das espécies de mamíferos. De facto, a extinção e a evolução estão intimamente relacionadas: a extinção é fundamental no processo evolutivo, pois disponibiliza às espécies que não são extintas recursos abióticos e bióticos, que lhes permitem a sobrevivência, reprodução, diversificação e expansão territorial.

Atualmente, a rápida extinção de muitas espécies devido às atividades humanas é denominada pelos especialistas como a **sexta extinção em massa**.

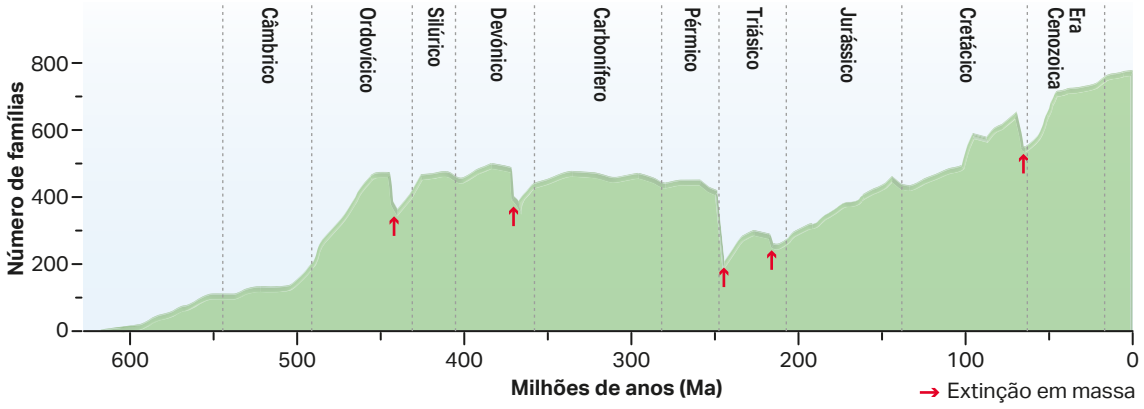


Fig. 29 Evolução do número de famílias taxonómicas ao longo do tempo geológico.

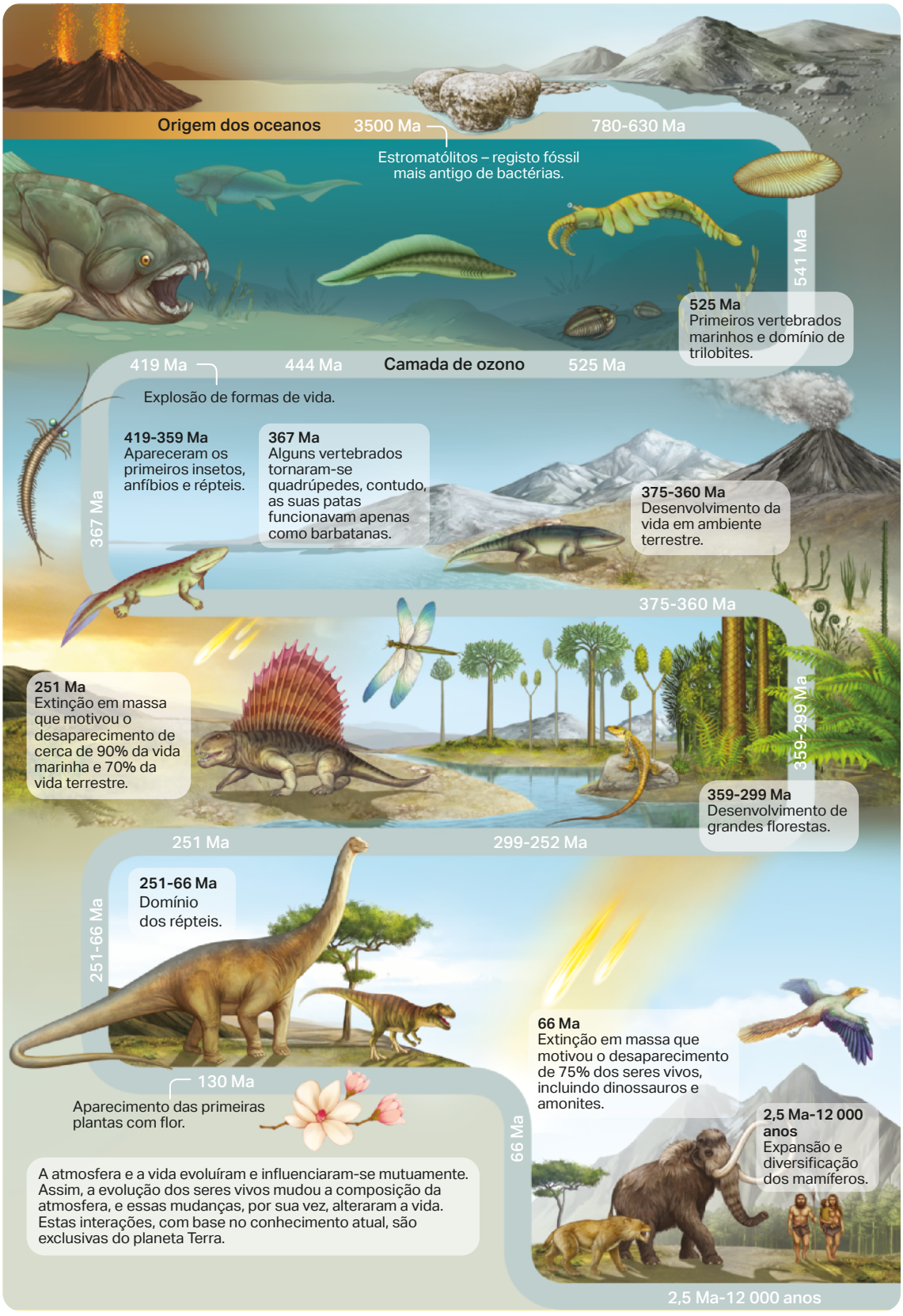


Fig. 30 Alguns dos principais acontecimentos na história da Terra e evolução da vida.

Atividade laboratorial Observação microscópica de organismos numa infusão e da epiderme da cebola

Pode ser observada ao microscópio uma grande biodiversidade de organismos numa infusão. Esta é preparada com ervas, cascas de fruta ou outro material biológico e água: um ambiente favorável ao desenvolvimento de numerosos organismos.
O bolbo da cebola, *Allium cepa*, é um caule subterrâneo com túnicas carnudas e sobrepostas. Cada túnica é uma folha modificada, com reservas nutritivas, em cuja superfície côncava existe a epiderme, uma fina película com uma única camada de células.

Fig. 1 Infusão.

Material

- Microscópio
- Lâminas
- Lamelas
- Conta-gotas
- Pinça
- Agulha
- Cebola
- Infusão
- Corante (vermelho-neutro ou azul de metileno)

Procedimento 1

1. Retira uma gota da superfície da infusão, coloca-a no centro da lâmina e cobre cuidadosamente com a lamela.
2. Observa ao microscópio. Regista as tuas observações.

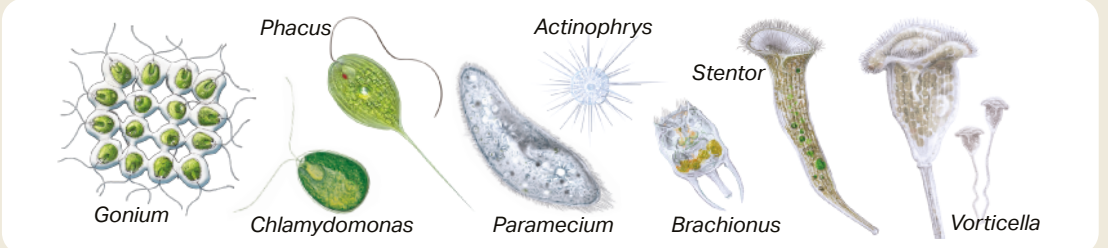


Fig. 2 Alguns géneros de seres unicelulares, coloniais e multicelulares, que podem ser observados numa infusão.

Procedimento 2

1. Coloca uma gota de corante no centro da lâmina.
2. Retira, com a pinça, uma fina película da epiderme da cebola e monta uma pequena porção na gota de corante com a ajuda da agulha. Cobre cuidadosamente com a lamela.
3. Observa ao microscópio. Regista as tuas observações.

Fig. 3 Película da cebola.

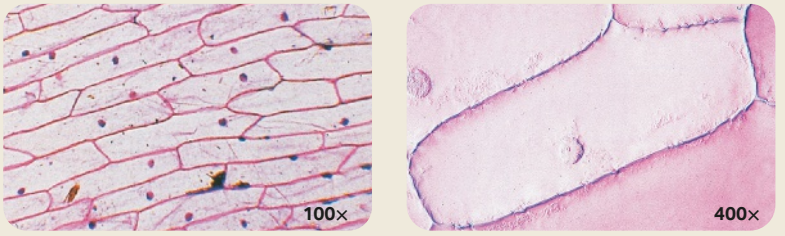


Fig. 4 Células da cebola observadas com ampliações diferentes.

Atividade prática

Fitness em *Limnogonus cereiventris*

O sucesso reprodutivo de um organismo depende do tempo de sobrevivência, da frequência de acasalamento e do número de descendentes que produz por acasalamento. A seleção natural favorece os fenótipos com maior *fitness*, mas a sobrevivência é apenas um dos componentes do *fitness*. Um dos exemplos da complexidade deste processo está ilustrado na figura 1, resultante de um estudo com fêmeas de *Limnogonus cereiventris*.

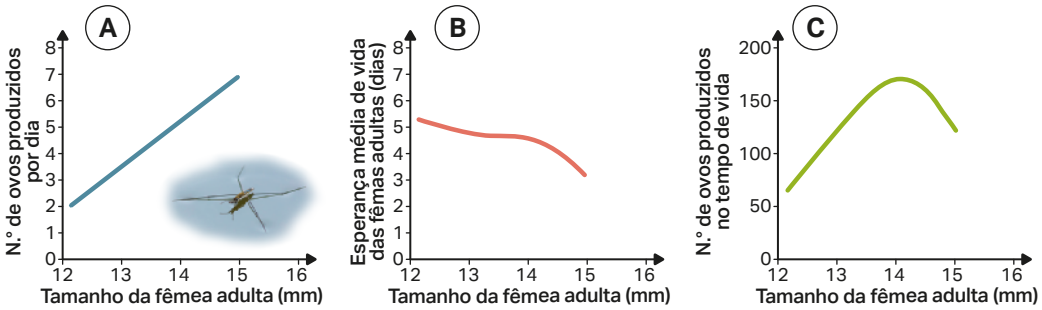


Fig. 1 O *Limnogonus cereiventris* é um inseto da família Gerridade com a capacidade de se movimentar agilmente e flutuar, formando uma bolsa de ar sobre a superfície da água que, associada ao efeito da tensão superficial, lhe permite deslocar-se sobre a água. Esta espécie está presente em São Nicolau, Boa Vista, Maio e Santiago, e está ameaçada pelo desaparecimento dos *habitats* aquáticos.

1 **Indica outra designação para o conceito de *fitness*.**

2 **Refere o processo responsável pelo aparecimento de vantagens nuns indivíduos relativamente a outros.**

3 **Transcreve e completa as frases com uma das letras, A, B, ou C, da figura 1.**

I – O gráfico ____ relaciona o tamanho corporal das fêmeas adultas com o número de ovos postos por dia.

II – O gráfico ____ relaciona o tamanho corporal das fêmeas adultas com o número de dias de sobrevivência de uma fêmea adulta.

III – O gráfico ____ relaciona o tamanho corporal das fêmeas adultas com o número de ovos postos durante toda a vida.

4 **Ordena as frases de modo a elaborares uma legenda geral para a figura 1.**

A – Nos *Limnogonus cereiventris*, as fêmeas maiores põem mais ovos por dia, pelo que a seleção natural favoreceria o tamanho grande, o que não acontece.

B – Por outro lado, as fêmeas mais pequenas têm uma vantagem de sobrevivência.

C – No entanto, as fêmeas maiores também morrem mais jovens e, consequentemente, têm menos oportunidades para se reproduzirem.

D – As fêmeas que deixam mais descendentes são as de tamanho intermédio e não as fêmeas maiores.

Atividade prática

Proteção das espécies nativas de Cabo Verde

Cabo Verde tem um grande número de espécies nativas ou endémicas. Podes ficar a conhecer as espécies representativas dos ecossistemas cabo-verdianos planificando uma atividade de campo com os teus professores. Também podes planificar, elaborar e apresentar à turma um trabalho de grupo, com base na pesquisa em livros e folhetos de divulgação ou na Internet. Mobiliza as tuas aprendizagens mencionando as características com valor adaptativo e os fatores seletivos que atuam sobre essas espécies. Finalmente, propõe ações concretas para a proteção dessas espécies.

Livros e folhetos

Sites da Internet

Projeto Vitó: https://projectovito.org/

International Union for Conservation of Nature – União Internacional para a Conservação da Natureza: https://iucn.org/

Ministério da Agricultura e Ambiente: https://maa.gov.cv/index.php/noticias/401-harmonia-com-a-natureza-e-desenvolvimento-sustentavel-dia-internacional-da-biodiversidade-2025

Em resumo…

Quais são os modelos explicativos do aparecimento dos organismos eucariontes?

- As primeiras formas de vida terão sido **unicelulares procariontes**. O aumento da complexidade dos seres procariontes poderá estar na origem do desenvolvimento de seres **unicelulares eucariontes**.
- Segundo o **modelo autogénico**, a célula eucariótica teve origem a partir de procariontes, por invaginações sucessivas da membrana plasmática. Essas invaginações teriam passado por processos de especialização, dando origem a membranas especializadas que se diferenciaram em organelos.
- Segundo o **modelo endossimbiótico**, a célula eucariótica teve origem na incorporação de células procarióticas mais pequenas numa célula procariótica maior, entre as quais se estabeleceu uma relação de simbiose intracelular.

Como se relacionam os seres unicelulares com os multicelulares?

- Os seres eucariontes unicelulares evoluíram para multicelulares.
- As **colónias** são agregados de organismos unicelulares cujas células desempenham a mesma função. A **diferenciação celular** é o processo em que as células se especializam para cumprir funções específicas, trabalhando em conjunto para manterem o equilíbrio do organismo. Nas colónias, a diferenciação celular terá conduzido a uma maior interdependência estrutural e funcional das células, dando origem a verdadeiros seres multicelulares.

O que é o fixismo?

- O **fixismo** afirma que os seres vivos atuais sempre foram imutáveis, tendo mantido as mesmas características desde que surgiram na Terra. Alguns fixistas são: na Grécia antiga, **Anaximandro**, **Platão** e **Aristóteles** e, no século XVIII, **Lineu**.

O que é o evolucionismo?

- O **evolucionismo** admite que as espécies se alteram de forma lenta e gradual, ao longo do tempo, originando outras espécies.
- **Lamarck** foi o primeiro a desenvolver uma teoria explicativa da evolução. **Darwin** e **Wallace** estabeleceram as bases para o estudo atual da evolução biológica.

O que é o lamarckismo?

- O **lamarckismo** é teoria evolucionista proposta por Lamarck que explica os mecanismos da evolução com base na lei do uso e do desuso e na lei da transmissão dos caracteres adquiridos.
- A **lei do uso e do desuso** afirma que um ser vivo pode adaptar-se intencionalmente a diferentes ambientes, desenvolvendo ou atrofiando certos órgãos. A **lei da transmissão dos caracteres adquiridos** afirma que as modificações produzidas nos organismos devido à lei do uso e do desuso são transmitidas à descendência.

Em resumo…

O que é o darwinismo?

- Darwin e Wallace afirmaram que há uma luta pela existência na Natureza, onde o indivíduo melhor adaptado ao ambiente sobrevive e deixa mais descendentes do que o menos adaptado, o que conduz ao declínio da sua espécie, eventualmente conduzindo-a à extinção.
- Darwin publicou a obra *A Origem das Espécies* e estabeleceu os princípios da teoria evolutiva conhecida por **darwinismo**.

Quais são alguns dos argumentos para explicar a evolução?

- Darwin e Wallace apresentaram argumentos da: **geologia**, baseados nos fósseis; **biogeografia**, baseados no estudo dos seres vivos em diferentes locais; **demografia**, baseados nos estudos de Malthus.

O que é a seleção natural?

- Em Biologia, o termo **evolução** refere-se à mudança das características de uma população transmitidas de uma geração para outra.
- Uma **população** é o conjunto de indivíduos da mesma espécie que, num determinado momento, vivem na mesma área e se reproduzem entre si.
- A **espécie** pode ser definida como um conjunto de indivíduos que partilham as mesmas características morfológicas, fisiológicas e genéticas, e que se podem cruzar entre si, produzindo descendência fértil e viável.
- A **seleção natural** é o processo em que os indivíduos com as características hereditárias que lhes permitem uma melhor adaptação ao ambiente onde vivem têm maiores taxas de sobrevivência e reprodução do que outros indivíduos da mesma espécie sem essas características.

O que é a seleção sexual?

- A frequência de acasalamento pode ser definida como **seleção sexual** – processo de escolha por um indivíduo de características morfológicas e comportamentais de um parceiro que conduzem ao acasalamento.

O que é a seleção artificial?

- A **seleção artificial** é o processo, com a intervenção humana, em que há a escolha de indivíduos para reprodução com determinados caracteres mais úteis às pessoas, por motivos alimentares ou outros.
- Na seleção artificial são escolhidos indivíduos com as características pretendidas e cruzam-se de forma a aumentar a probabilidade de alguma da sua descendência também ter essas características.

O que é o neodarwinismo?

- O **neodarwinismo** é uma nova teoria da evolução que combina o processo de seleção natural com a genética.
- No neodarwinismo, o conceito de variabilidade intraespecífica foi substituído pelo conceito de **variabilidade genética** das populações – variações no material genético entre os indivíduos de uma população resultantes de mutações e recombinação génica.

O que são mutações e recombinação génica?

- As **mutações** são alterações dos genes e estão na origem da variabilidade genética. A **recombinação génica** é o processo de reorganização do material genético que ocorre na reprodução sexuada devido aos processos de meiose e fecundação.
- Existem mutações que provocam alterações nos indivíduos que lhes conferem alguma vantagem adaptativa relativamente aos outros indivíduos sem mutações. Este processo é o **valor adaptativo** ou ***fitness*** – capacidade de um organismo sobreviver e reproduzir-se com sucesso no seu ambiente, transmitindo os seus genes para a próxima geração.

O que são fundo genético e deriva genética?

→ O **fundo genético** é o conjunto de genes de uma população num determinado momento. Ao longo do tempo, o fundo genético pode ser alterado devido a **deriva genética** – mudanças na frequência dos alelos numa população, devido a acontecimentos aleatórios.

O que é a evolução divergente?

→ A **evolução divergente** é o processo evolutivo que conduz à diversificação de diferentes espécies a partir de uma espécie ancestral comum.

O que é a evolução convergente?

→ A **evolução convergente** é o processo evolutivo em que espécies diferentes e não relacionadas evoluem, desenvolvendo características semelhantes.

Como pode ocorrer a evolução?

- A **evolução gradual** acontece através de pequenas e contínuas mudanças ao longo de várias gerações e durante muito tempo.
- A **evolução súbita** acontece através de mudanças rápidas, em saltos e significativas, num curto espaço de tempo.
- A **extinção** é o desaparecimento total de uma espécie ou de um grupo de espécies.

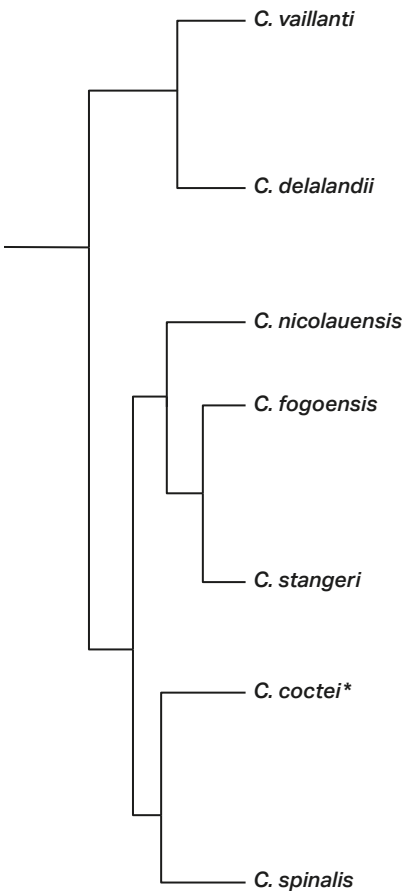
Teste formativo

1 **Lê atentamente o texto e observa a figura 1, que representa a árvore evolutiva das lagartixas do género *Chioninia* no arquipélago de Cabo Verde. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

De acordo com a filogenia apresentada na figura 1, a direção das principais correntes e ventos alísios e a idade das ilhas, é provável que o primeiro evento de colonização tenha ocorrido em algumas das ilhas do Noroeste. Assim, os resultados atuais descartam a possibilidade de Santo Antão ou São Vicente serem as primeiras ilhas deste grupo a serem colonizadas, tornando São Nicolau uma boa candidata. De acordo com esta hipótese, um propágulo de São Nicolau colonizou as ilhas do sul há aproximadamente 11,6-9,9 milhões de anos, dando origem ao ancestral do clado 'delalandii', que se dividiu há cerca de 6,9-5,9 milhões de anos nos dois táxones irmãos *C. vaillanti* e *C. delalandii*.

Apesar de ter origem no Mioceno Superior, a diversificação dentro de *C. vaillanti* e *C. delalandii* não ocorreu até muito recentemente. Esse padrão de longos períodos de estase após um evento de diversificação seguido por uma rápida expansão populacional, pode ser explicado pela extinção como resultado da atividade vulcânica recorrente e intensa que ocorreu em algumas das ilhas deste arquipélago.

Baseado em: Vasconcelos, R. *et al.* 2010. Doi: 10.1111/j.1463-6409.2010.00453.x



* Extinta

Fig. 1

1.1. A lagartixa é um ser...

(A) procarionte unicelular.
(B) eucarionte unicelular.
(C) procarionte multicelular.
(D) eucarionte multicelular.

1.2. A origem da lagartixa, tal como dos organismos... pode ser explicada pelos modelos...

(A) eucariontes a partir dos procariontes,... autogénico e endossimbiótico.
(B) autogénicos a partir dos endossimbióticos,... procarionte e eucarionte.
(C) procariontes a partir dos eucariontes,... autogénico e endossimbiótico.
(D) autogénicos a partir dos procariontes,... eucarionte e endossimbiótico.

1.3. A teoria que está na base da elaboração da árvore evolutiva da figura 1…
(A) foi exposta pela primeira vez por Anaximandro na Grécia antiga.
(B) é o fixismo desenvolvido por Lamarck e Darwin.
(C) é o evolucionismo desenvolvido a partir do século XIX.
(D) foi apresentada por Lineu, em 1735, no seu livro *Systema Naturae*.

1.4. As populações de lagartixas em diferentes ilhas…
(A) transmitem à descendência as suas características vantajosas adquiridas.
(B) têm variações no material genético dos indivíduos resultantes de mutações e recombinação génica.
(C) mantêm a mesma sequência de nucleótidos do DNA de geração em geração.
(D) não se conseguiram adaptar ao ambiente e extinguiram-se.

1.5. Provavelmente, a primeira ilha a ser colonizada foi…
(A) São Nicolau e, a partir daqui, foram colonizadas as ilhas do sul, há cerca de 11,6-9,9 milhões de anos.
(B) São Vicente e, a partir desta ilha, foram colonizadas todas as outras , há cerca de 6,9-5,9 milhões de anos.
(C) Santo Antão e, a partir daqui, foram colonizadas as ilhas do sul, há cerca de 11,6-9,9 milhões de anos.
(D) São Nicolau e, a partir desta ilha, foram colonizadas todas as outras , há cerca de 6,9-5,9 milhões de anos.

1.6. A análise da árvore evolutiva revela que o género *Chioninia* passou por um processo de evolução…, sendo a espécie… a mais aparentada com *C. delalandii*.
(A) divergente… *C. vaillanti*…
(B) convergente… *C. vaillanti*…
(C) convergente… *nicolauensis*…
(D) divergente… *nicolauensis*…

1.7. A diversificação e dispersão geográfica das populações de *C. vaillanti* e *C. delalandii* terá sido acompanhada…
(A) pelo aparecimento de diferentes sequências de aminoácidos nas proteínas das lagartixas.
(B) pela manutenção do mesmo fundo genético nas diferentes populações do género *Chioninia*.
(C) pelo aparecimento de novas bases de nucleótidos no DNA das lagartixas.
(D) pela capacidade de todas as espécies se cruzarem reprodutivamente entre si.

1.8. Considera as afirmações sobre a evolução das espécies do género *Chioninia*.
I – Os indivíduos da espécie *C. delalandii* estão isolados reprodutivamente de todos os outros grupos de lagartixas do mesmo género.
II – A árvore da figura 1 foi construída com base em características análogas relativas ao crânio das lagartixas.
III – A espécie *C. nicolauensis* é mais antiga do que *C. fogoensis.*

(A) I e III são verdadeiras; II é falsa.
(B) I e II são verdadeiras; III é falsa.
(C) II e III são verdadeiras; I é falsa.
(D) I é verdadeira; II e III são falsas.

Teste formativo

2 Explica o último parágrafo do texto com base nos conceitos de evolução gradual e evolução súbita.

3 Estabelece a correspondência correta entre as frases da coluna I e os termos da coluna II.

Coluna I	Coluna II
1. Os genes que originam caracteres desfavoráveis tendem a reduzir a sua frequência nos indivíduos da população. **2.** As espécies atuais apresentam as mesmas características morfológicas e fisiológicas que apresentavam no passado. **3.** A sobrevivência e a reprodução diferencial dos indivíduos com características vantajosas tendem a aumentar essas características na população. **4.** Os caracteres resultantes de adaptações individuais tendem a ser transmitidos aos descendentes. **5.** O ambiente provoca a mudança dos indivíduos, dando origem a novas características. **6.** A seleção natural favorece os indivíduos com combinações genéticas mais favoráveis.	**A** – Fixismo **B** – Lamarckismo **C** – Darwinismo **D** – Neodarwinismo

4 A figura 2 representa uma cronologia dos principais acontecimentos que contribuíram para o darwinismo.

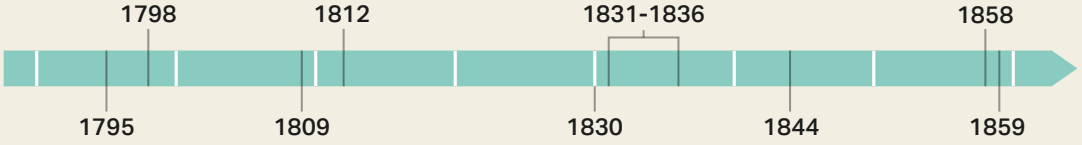


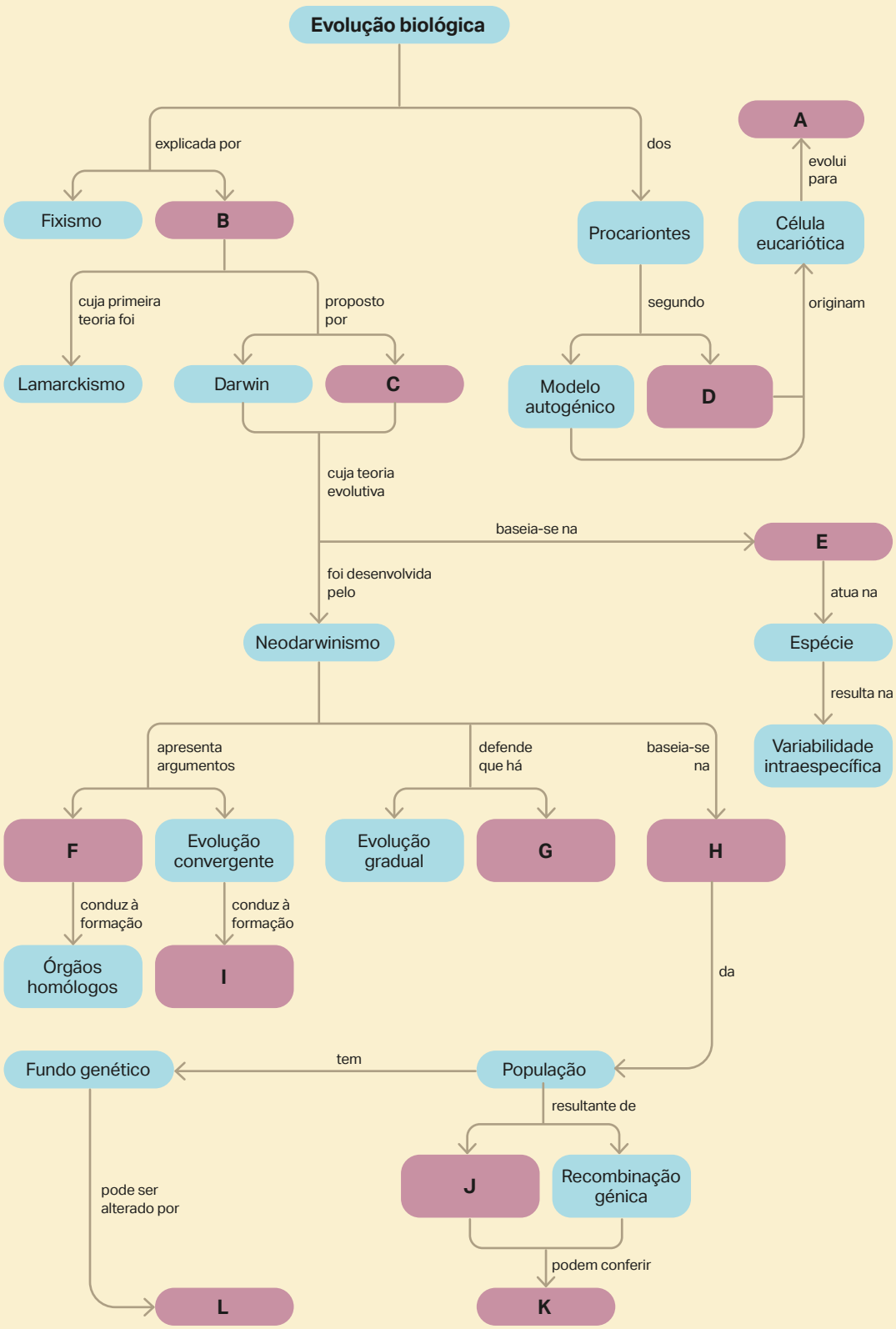
Fig. 2

4.1. Estabelece a correspondência entre cada data da figura 2 e uma das frases seguintes:

A – Cuvier publica os seus estudos de fósseis.
B – Nascimento de Charles Darwin.
C – Malthus publica a obra *An Essay on the Principle of Population.*
D – Lamarck publica a sua hipótese evolutiva.
E – Lyell publica a obra *Principles of Geology.*
F – Darwin escreve um ensaio sobre descendência com modificações.
G – Hutton apresenta o seu princípio do gradualismo.
H – Publicação da obra *The Origin of Species.*
I – Wallace, estudando espécies no arquipélago Malaio, enviou a Darwin a sua hipótese de seleção natural.
J – Darwin viaja a bordo do *HMS Beagle*.

4.2. Acrescenta uma data e uma frase sobre a estadia de Darwin em Cabo Verde.

Mapa de conceitos



Layout & design:
» Rui M. Freitas
www.ruifreitas.info

© **Photos contributed by** S Floeter, C Rangel, P Wirtz, R Freitas, C Ferreira, A Boyra, P Pinhero, C Fernández, T Melo, P Silva, T Peixoto, C Afonso, G Mascarenhas, G Louzara.

» **This poster was produced for didactic purposes only and is not available commercially.** Only 25% (80/315) of the total number of coastal fishes are represented (cf. Wirtz et al.), including endemic & cryptobenthic species. Sep 13.

Sistemática dos seres vivos

4.1. Sistemática de classificação

4.2. Sistemática de classificação de Whittaker modificado

4.3. Novas perspetivas na classificação

A sistemática é uma necessidade prática da Biologia para organizar e comunicar o conhecimento existente sobre a ampla diversidade de seres vivos. Cabo Verde faz parte dos dez *hotspots* da biodiversidade marinha mundial, o que significa que está entre os principais lugares do mundo com maior número de espécies únicas. Como foi expresso na Conferência dos Oceanos das Nações Unidas 2025, Cabo Verde não é um país pequeno; é sim um grande país oceânico com 99% de mar. A biodiversidade marinha do arquipélago apresenta uma alta riqueza com numerosos endemismos nas zonas costeiras, em mar aberto, nas planícies abissais e nos montes submarinos. É tarefa de todos conhecer, valorizar e proteger a biodiversidade cabo-verdiana para as gerações futuras.

4.1. Sistemática de classificação

Estudar a enorme biodiversidade da Terra torna necessária a sua **classificação** – agrupar os seres vivos de acordo com determinadas características comuns e atribuir um nome a cada um dos grupos formados. Em Biologia, a **sistemática** é a área que se dedica ao estudo da classificação da diversidade dos seres vivos, das suas relações evolutivas e desenvolve sistemas de classificação que refletem essas relações de parentesco.

Os **sistemas de classificação** dos seres vivos organizam a diversidade biológica em categorias. Consideram-se dois grupos de sistemas de classificação: práticos e racionais.

Os **sistemas de classificação práticos** organizam os seres vivos empregando critérios de utilidade para as pessoas, como a alimentação e a defesa. Por exemplo, quando se identificam os animais e as plantas pela sua perigosidade, perigosos e não perigosos ou comestíveis e não comestíveis, está a usar-se uma classificação prática. As primeiras classificações feitas pelo ser humano eram classificações práticas.

Os **sistemas de classificação racionais** organizam os seres vivos utilizando as características estruturais dos seres considerados.

Aristóteles (384-322 a. C.) estabeleceu as bases dos sistemas racionais, agrupando os seres vivos de acordo com critérios morfológicos e fisiológicos, como animais com sangue vermelho e animais sem sangue vermelho. À medida que aumentava o conhecimento sobre os seres vivos, muitos séculos mais tarde, **Lineu** (1707-1778) propôs, na sua obra *Systema Naturae*, um sistema de classificação hierarquizado, baseado em semelhanças estruturais, como o número de cavidades do coração e o tipo de respiração. Também estabeleceu as bases da **taxonomia** – ramo da sistemática que agrupa e classifica os seres vivos. Os sistemas de Aristóteles e de Lineu são **sistemas artificiais**, pois baseiam-se num pequeno número de características resultando em grupos muito heterogéneos.

No sistema hierárquico de classificação iniciado por Lineu e desenvolvido por outros autores, o **reino** é a categoria taxonómica mais abrangente, seguindo-se, por ordem decrescente, o **filo**, a **classe**, a **ordem**, a **família**, o **género** e a **espécie**. Cada uma destas categorias taxonómicas é designada por **táxon**, no singular, e **táxones**, no plural (em latim, *taxa*).

Aprende mais

O naturalista John Ray (1627-1705) desenvolveu um sistema de **nomenclatura** polinomial. A abelha-do-mel, *Apis melifera*, era designada da seguinte forma: *Apis, pubescens, thorace subgriseo, abdomine fusco, pedibus, posticis glabris utrinque margine ciliatis*; Abelha, pubescente, com tórax acinzentado, abdómen escuro, pernas e patas traseiras glabras com cerdas em ambos os lados.

A **espécie** é a unidade básica de classificação e corresponde a um grupo natural de indivíduos que partilham o mesmo fundo genético, sendo, por isso, semelhantes, e que se podem cruzar entre si produzindo descendência fértil. Os indivíduos da mesma espécie formam populações que, sob o ponto de vista reprodutivo, estão isoladas de outras populações de outras espécies.

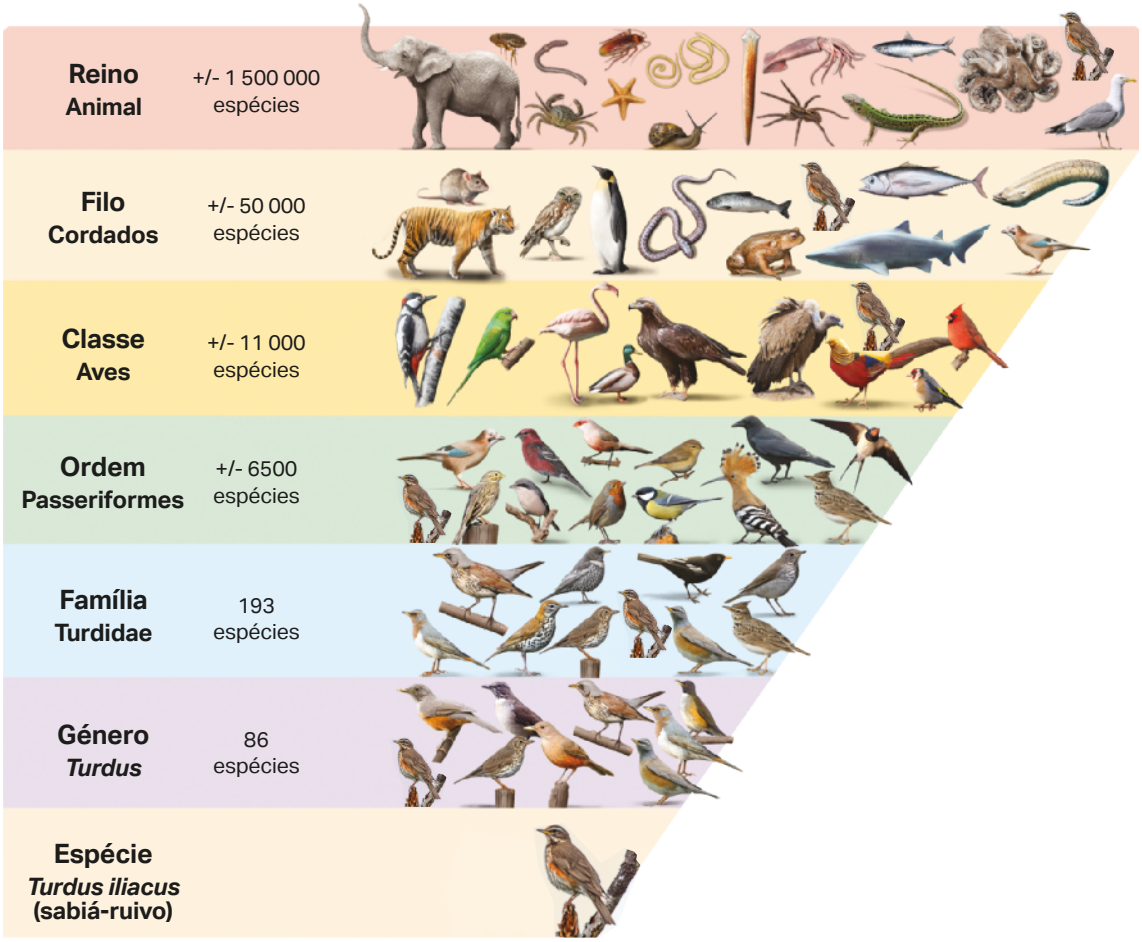


Fig. 1 Classificação do sabiá-ruivo, *Turdus iliacus*, uma ave migratória que viaja entre o norte da Europa e o norte de África e que, ocasionalmente, pode ser observada em Cabo Verde.

Responde tu

1. Identifica o táxon a que pertence *Turdus iliacus*.
2. Refere o táxon com maior número de indivíduos e menor especificidade.
3. Indica as categorias taxonómicas comuns ao sabiá-ruivo e ao rato.
4. Nomeia o grupo natural, ou seja, presente na Natureza, independentemente de qualquer critério de classificação. Justifica a tua resposta.

A taxonomia também inclui a **nomenclatura** – conjunto de regras de atribuição de um nome científico a cada táxon. Antes da obra de Lineu, estava em vigor a **nomenclatura polinomial** – designação do grupo taxonómico por um conjunto de termos em latim que indicavam as principais características desse grupo. Lineu adotou a **nomenclatura binominal** – designação da espécie com dois termos em latim. Acima da espécie utiliza-se a **nomenclatura uninominal** – designação do táxon com um termo em latim.

Existem associações internacionais de taxonomia que oficializam os nomes científicos das espécies de acordo com as regras de nomenclatura binominal. Deste modo, há universalidade na classificação biológica, pois o nome de uma espécie é o mesmo em todo o mundo, o que facilita a comunicação nas várias áreas da ciência que trabalham com seres vivos.

Fig. 2 O mato-botão também é conhecido como medronha. O seu nome científico, *Globularia amygdalifolia*, permite uma identificação inequívoca desta planta endémica, restrita a zonas húmidas das ilhas de Santo Antão, São Nicolau, Santiago, Fogo e Brava, e que se encontra avaliada como "Em Perigo" na Lista Vermelha de Cabo Verde.

Algumas regras de nomenclatura

- O nome da espécie é formado por duas palavras em latim ou latinizadas. A primeira é o nome do género a que pertence a espécie, escrita com inicial maiúscula, e a segunda é o restritivo específico ou epíteto específico, com inicial minúscula e que só pode ser usado quando acompanhado do nome do género.
- A designação dos grupos acima da espécie é uninominal, ou seja, é uma palavra em latim ou latinizada escrita com inicial maiúscula.
- Quando uma espécie tem subespécies, para designar cada uma delas utiliza-se a nomenclatura trinominal, em que a seguir ao nome da espécie se acrescenta o restritivo subespecífico. Por exemplo, *Papaver gorgonium theresias*.
- Os nomes do género, espécie e subespécie são escritos num tipo de letra diferente da do texto, por exemplo, itálico, ou são sublinhados.
- O nome da espécie pode ser complementado com o nome do taxonomista que a descreveu e a data em que a classificou.

Sistemas de classificação fenética e filogenética

A partir de Lineu, os taxonomistas foram substituindo os sistemas de classificação artificiais por **sistemas de classificação naturais** que se baseiam num grande número de características para agrupar os seres vivos. Os grupos formados nestes sistemas reúnem seres vivos com maior grau de semelhança e com maior coerência no seu agrupamento. Atualmente, existem dois sistemas de classificação naturais: os fenéticos e os filogenéticos.

A **classificação fenética** estabelece relações de afinidade entre os seres vivos com base em características morfológicas ou fisiológicas observáveis, ou seja, características fenotípicas. Nesta classificação, o grau de afinidade entre os seres vivos depende do número comum das características consideradas: quanto maior for o número de características, mais fiável será o resultado da classificação. O fenograma é o diagrama que ilustra o grau de semelhança entre os seres vivos estudados.

A **classificação filogenética** agrupa os seres vivos de acordo com o seu grau de parentesco evolutivo. Nesta classificação, as semelhanças entre os seres vivos resultam de possuírem um ancestral comum, a partir do qual os vários grupos foram divergindo ao longo do tempo. O cladograma ou árvore filogenética é o diagrama que ilustra as relações evolutivas entre os seres vivos estudados.

Por exemplo, a classificação de um lagarto, um crocodilo e uma ave no sistema fenético e no sistema filogenético apresenta resultados diferentes. Em termos filogenéticos, o crocodilo e a ave estão mais relacionados um com o outro do que qualquer um destes com o lagarto. No entanto, o lagarto e o crocodilo desenvolveram revestimentos semelhantes, pele com escamas, num processo de evolução convergente, o que os liga em termos fenéticos.

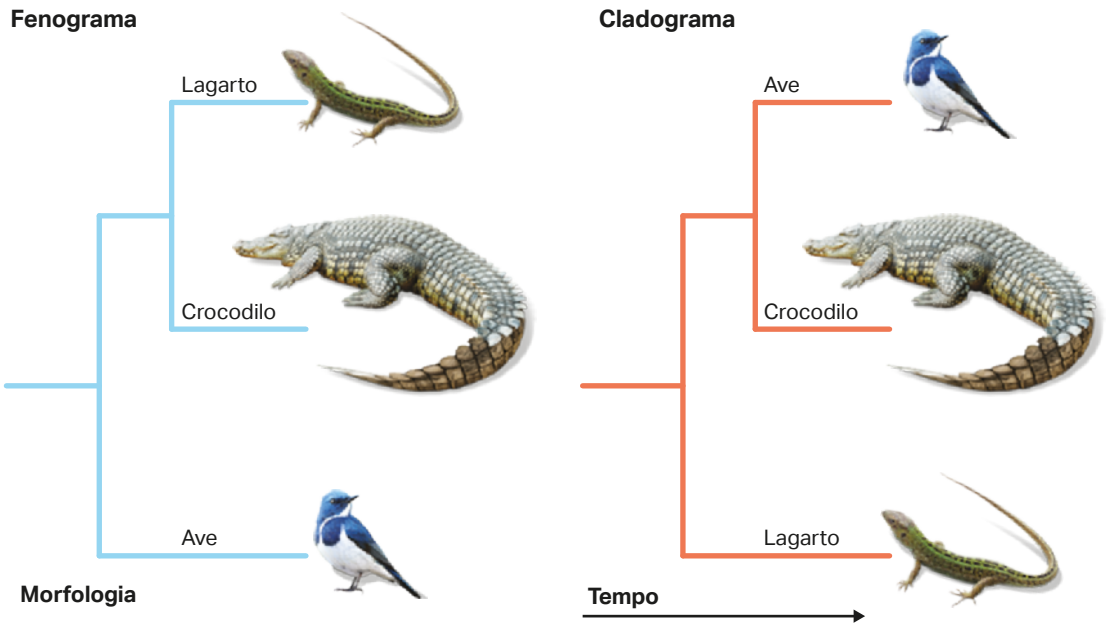


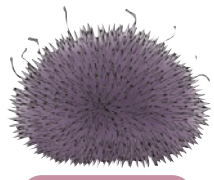
Fig. 3 Diagramas simplificados das relações fenética e filogenética entre três animais do Filo Chordata.

Chaves dicotómicas

A **chave dicotómica** é um método para identificar seres vivos que apresenta em cada nível duas alternativas mutuamente exclusivas. Cada conjunto de alternativas antítese deverá encaminhar para dois grupos distintos de seres vivos, com as mesmas características. As chaves dicotómicas são úteis para localizar um ser vivo no grupo de classificação a que pertence.

1	Corpo sem simetria, aquáticos e fixos.	Porifera
	Corpo com simetria.	2
2	Corpo com simetria radial.	3
	Corpo com simetria bilateral.	4
3	Aquáticos, livres, com simetria pentarradial.	Echinodermata
	Aquáticos, livres ou fixos, com tentáculos.	Cnidaria
4	Com corda dorsal ou com esqueleto interno.	Chordata
	Sem esqueleto interno ou com exosqueleto.	5
5	Corpo formado por vários anéis (segmentos).	6
	Corpo sem segmentos.	7
6	Com apêndices articulados, corpo revestido por exosqueleto; passam por mudas periódicas.	Arthropoda
	Sem apêndices articulados, corpo revestido por uma cutícula.	Annelida
7	Corpo mole, achatado, em forma de folha ou fita; a maioria é parasita.	Platyhelminthes
	Corpo mole, não achatado.	8
8	Corpo cilíndrico, afilado nas duas extremidades; muitos são parasitas.	Nematoda
	Corpo geralmente com cabeça, massa visceral e pé musculoso ou tentáculos; muitos têm concha.	Mollusca

Esponja
Filo Porifera

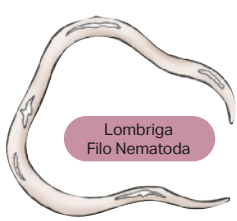

Mato
Filo Echinodermata

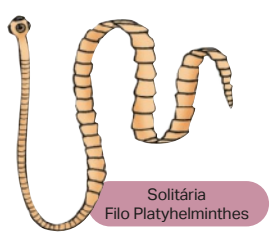
Medusa
Filo Cnidaria

Cão
Filo Chordata

Ferro-de-solda
Filo Arthropoda

Caracol
Filo Mollusca


Lombriga
Filo Nematoda


Solitária
Filo Platyhelminthes

Minhoca
Filo Annelida

Fig. 4 Chave dicotómica simplificada do Reino Animalia para identificação de Filos.

4.2. Sistemática de classificação de Whittaker modificado

O biólogo Robert Harding Whittaker propôs, em 1969, uma classificação dos seres vivos tendo-a modificado em 1979. O sistema de classificação de Whittaker modificado organiza os seres vivos em cinco reinos: **Monera**, **Protista**, **Fungi**, **Plantae** e **Animalia**.

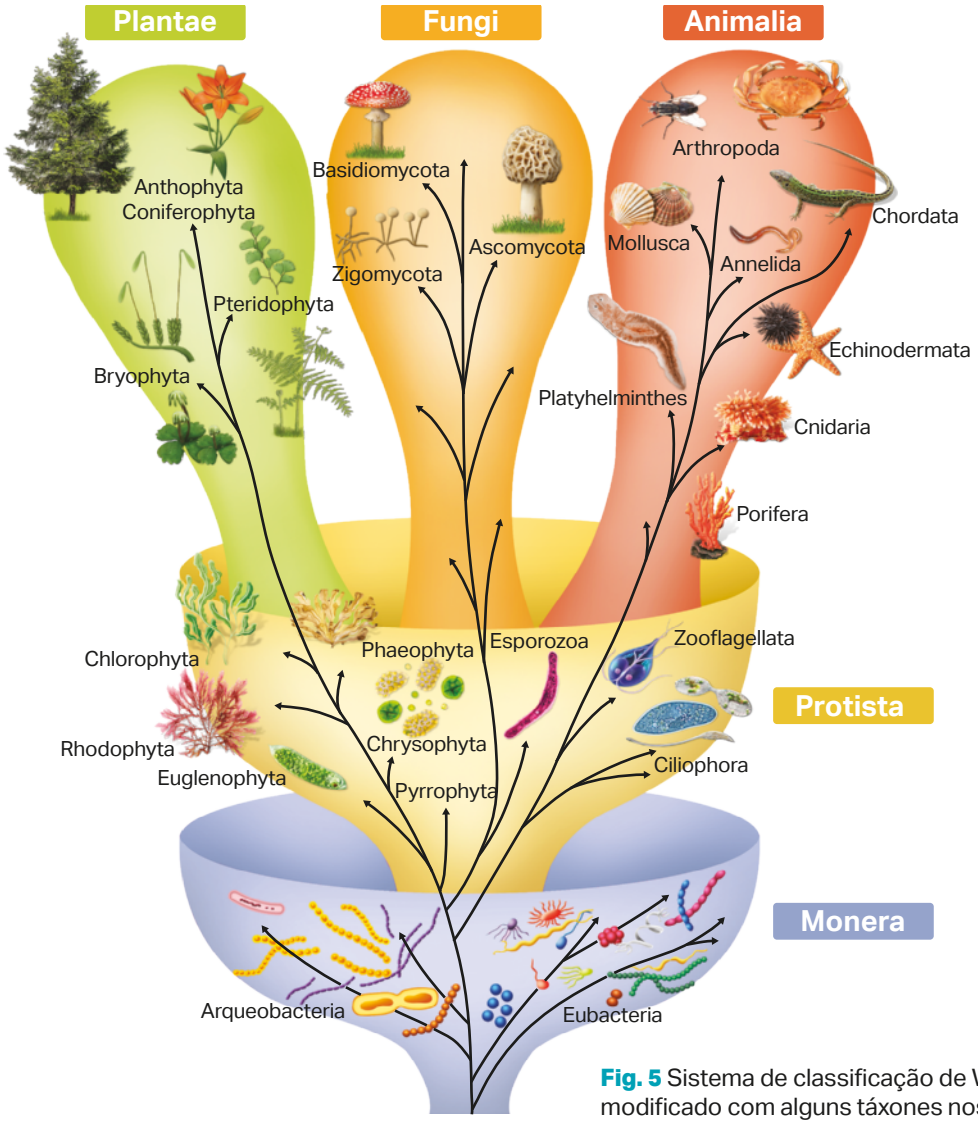


Fig. 5 Sistema de classificação de Whittaker modificado com alguns táxones nos cinco reinos.

São três os critérios subjacentes à classificação de Whittaker: nível de organização celular, modo de nutrição e interações nos ecossistemas.

O **nível de organização celular** diz respeito ao tipo de célula do ser vivo: eucariótica, dos eucariontes, e procariótica, dos procariontes. O **modo de nutrição** diz respeito ao modo como os seres vivos obtêm a matéria orgânica: autotróficos e heterotróficos por ingestão ou por absorção. As **interações nos ecossistemas** dizem respeito à posição dos seres vivos na cadeia alimentar: produtores, macroconsumidores e microconsumidores.

Os **produtores** são autotróficos. Os **macroconsumidores** são heterotróficos que se alimentam por ingestão. Os **microconsumidores** são heterotróficos que decompõem a matéria orgânica, absorvem alguns produtos resultantes da decomposição e libertam matéria inorgânica para o meio. Os microconsumidores também são denominados **saprófitos** ou decompositores.

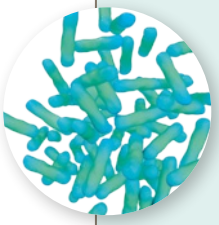
Critério / Reino	Nível de organização		Modo de nutrição	Interações nos ecossistemas
	Celular	Estrutural		
Monera  Microrganismo da shigelose, *Shigella dysenteriae*	Procariontes	Unicelulares	Autotróficos fotossintéticos ou Autotróficos quimiossintéticos ou Heterotróficos por absorção	Produtores ou Microconsumidores
Protista Microrganismo da malária, *Plasmodium falciparum*	Eucariontes	Unicelulares ou Multicelulares com baixo grau de diferenciação	Autotróficos fotossintéticos (algas) ou Heterotróficos por ingestão (protozoários) ou por absorção	Produtores (algas) ou Macroconsumidores (protozoários) ou Microconsumidores
Fungi/Fungos Cogumelo, *Podaxis pistillaris*	Eucariontes	Unicelulares ou Multicelulares com baixo grau de diferenciação	Heterotróficos por absorção	Microconsumidores
Plantae/Plantas Palha-de--engodo, *Frankenia ericifolia caboverdeana*	Eucariontes	Multicelulares com elevado grau de diferenciação	Autotróficos fotossintéticos	Produtores
Animalia/Animais Corvo, *Corvus ruficollis*	Eucariontes	Multicelulares com elevado grau de diferenciação	Heterotróficos por ingestão	Macroconsumidores

Fig. 6 Aplicação dos critérios de classificação de Whittaker na organização dos seres vivos em reinos.

4.3. Novas perspetivas na classificação

Em 1970, a equipa liderada pelo biólogo Carl Woese, baseada em critérios moleculares, principalmente sequências de nucleótidos do RNA ribossómico, propôs a divisão dos procariontes em dois grupos distintos: Archaebacteria e Eubacteria. As arqueobactérias são um grupo de procariontes, muitos dos quais extremófilos, com mais semelhanças com os eucariontes do que com os procariontes do grupo das eubactérias. Atendendo às diferenças moleculares entre eubactérias, arqueobactérias e eucariontes, os sistematas criaram o **domínio**, um nível de classificação superior ao reino. Deste modo, propuseram a organização dos seres vivos em três domínios. O domínio **Eukaria** inclui todos os seres eucariontes. O domínio **Archaea** inclui os procariontes arqueias. O domínio **Bacteria** inclui os procariontes bactérias.

Os sistemas de classificação continuam a ser modificados à medida que surgem novos dados, não havendo acordo entre os sistematas quanto ao número de reinos dos seres vivos, o que comprova o dinamismo da ciência.

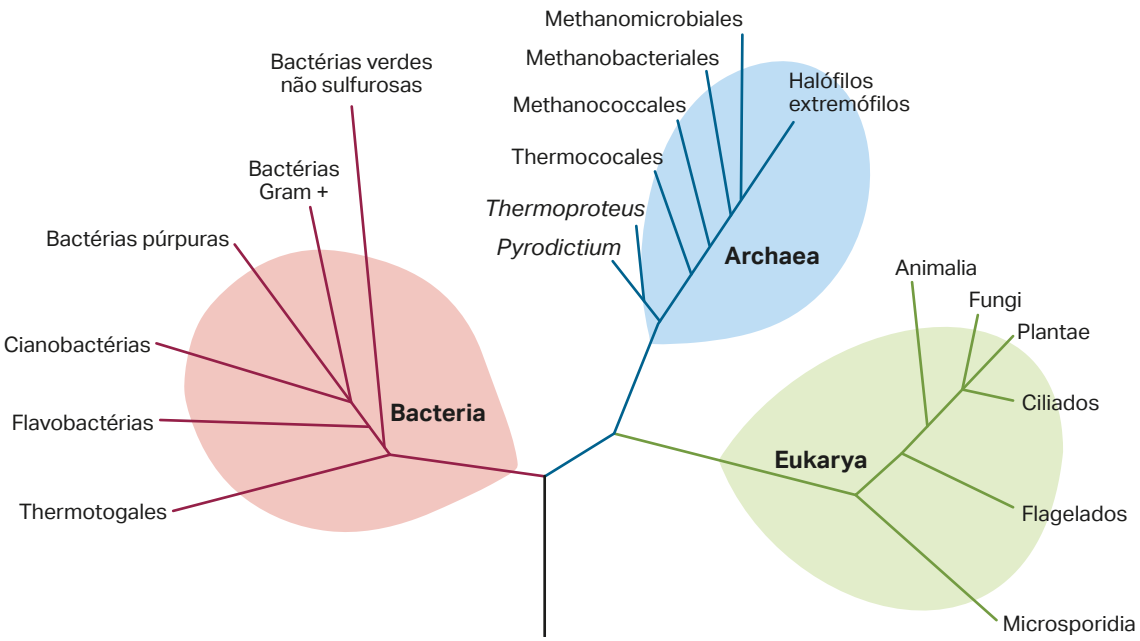


Fig. 7 Sistema de classificação em três domínios. O comprimento dos ramos e a ordem das ramificações traduzem a divergência evolutiva baseada na comparação das sequências de rRNA dos táxones representados no diagrama.

Aprende mais

Muitos procariontes do Domínio Archaea são **extremófilos**: estão adaptados a condições ambientais extremas. Os metanogénicos produzem metano, como os microrganismos do cólon. Os halófilos vivem em altas concentrações de sais, como, por exemplo, nas salinas da ilha do Sal. Os hipertermófilos vivem em temperaturas que podem ser superiores a 100 °C, como nos fundos oceânicos profundos em que as altas pressões aumentam o ponto de ebulição da água.

Atividade prática

Identificação de plantas e animais

Podes identificar plantas, até ao filo, e animais, até à classe, utilizando chaves dicotómicas.

Material

- Animais e plantas da escola ou imagens
- Lupa
- Chaves dicotómicas

Procedimento

1. Observa atentamente as plantas e os animais.
2. Para identificares as plantas, utiliza a chave dicotómica desta página.
3. Para os animais, utiliza a chave dicotómica da página 110 para identificar o filo e a da página 115 para identificar a classe. Segue o exemplo:

Identificação do animal da fig. 1:
1 → 2 → 4 → 5 → 7 → 8 → Filo Moluscos
1 → 2 → Classe Cefalópodes

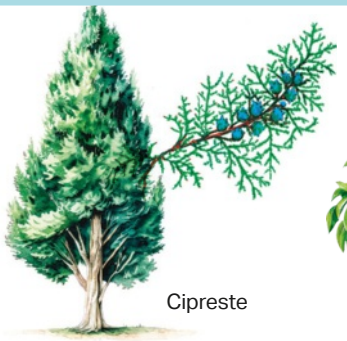
Fig. 1 O choco tem o corpo mole e o pé forma uma coroa de tentáculos com ventosas que rodeia a cabeça.

Chave dicotómica simplificada do Reino Plantae para identificação de Filos

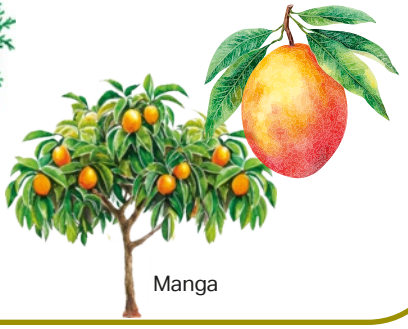
1	Plantas com rizoides, cauloides e filídios.	Briófitas
	Plantas com raiz, caule e folhas.	2
2	Plantas que produzem esporos.	Polipodiófitas
	Plantas que produzem sementes.	3
3	Plantas com flor e com sementes não encerradas nos ovários.	Pinófitas
	Plantas com flor e com sementes encerradas nos ovários.	Magnoliófitas

Musgo

Feto



Cipreste

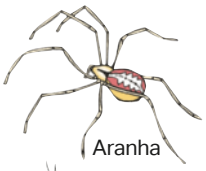


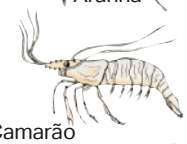
Manga

Chave dicotómica simplificada do Filo Artrópodes para identificação de Classes

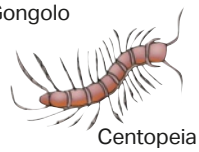
1	Sem antenas; com quatro pares de apêndices locomotores	Aracnídeos
	Com antenas	2
2	Dois pares de antenas	Crustáceos
	Um par de antenas	3
3	Três pares de apêndices locomotores; geralmente com um ou dois pares de asas; corpo dividido em cabeça, tórax e abdómen	Insetos
	Numerosos pares de apêndices locomotores; corpo divido em cabeça e tronco segmentado	4
4	Um par de apêndices locomotores por segmento; corpo achatado; antenas longas	Quilópodes
	Dois pares de apêndices locomotores por segmento; corpo cilíndrico; antenas curtas	Diplópodes

Coladeira


Aranha

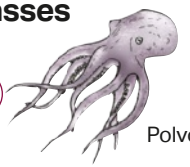

Camarão

Gongolo


Centopeia

Chave dicotómica simplificada do Filo Moluscos para identificação de Classes

1	Geralmente com concha univalve, que em alguns casos é reduzida ou ausente; cabeça quase sempre com tentáculos; pé em forma de palmilha	Gastrópodes
	Com ou sem concha; pé com forma diferente de palmilha	2
2	Com concha bivalve; pé cónico	Bivalves
	Pé na região da cabeça, rodeando a boca, formando uma coroa de tentáculos com ventosas	Cefalópodes


Polvo

Lapa

Amêijoa

Chave dicotómica simplificada do Filo Cordados para identificação de Classes

1	Revestimento da pele com escamas	2
	Revestimento de pele nua, pele com penas ou pele com pelos	3
2	Escamas de origem dérmica	Peixes
	Escamas de origem epidérmica	Répteis
3	Pele nua	Anfíbios
	Pele com penas ou pelos	4
4	Pele com penas	Aves
	Pele com pelos	Mamíferos

Lagartixa

Macaco-
-verde

Passarinha

Sapo-comum-
-africano

Cavala

Atividade prática

Árvore filogenética ou cladograma

Os sistemas de classificação filogenéticos agrupam os seres vivos segundo o seu grau de parentesco evolutivo. Segundo Willi Hennig, as semelhanças entre os organismos surgem como consequência de possuírem um ancestral comum, a partir do qual vários grupos foram divergindo ao longo do tempo. Os sistemas filogenéticos permitem construir árvores filogenéticas ou cladogramas que ilustram as relações ancestrais entre grupos de seres vivos.

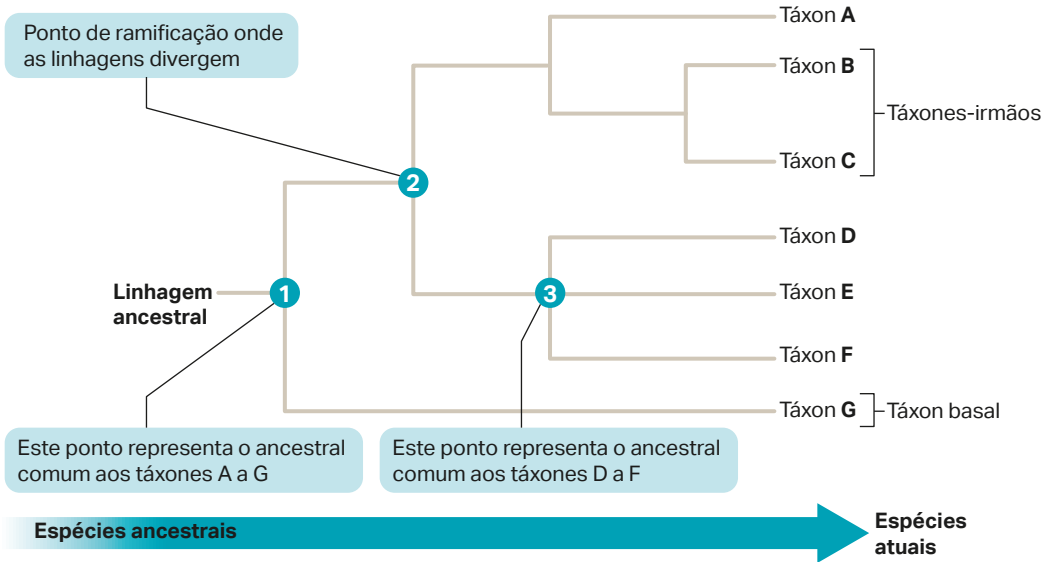


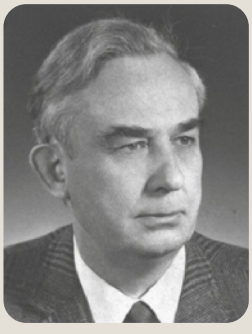
Fig. 1 Interpretação de uma árvore filogenética.

Aprende mais

O biólogo alemão **Emil Hans Willi Hennig** (1913-1976) é considerado o pai da sistemática filogenética.

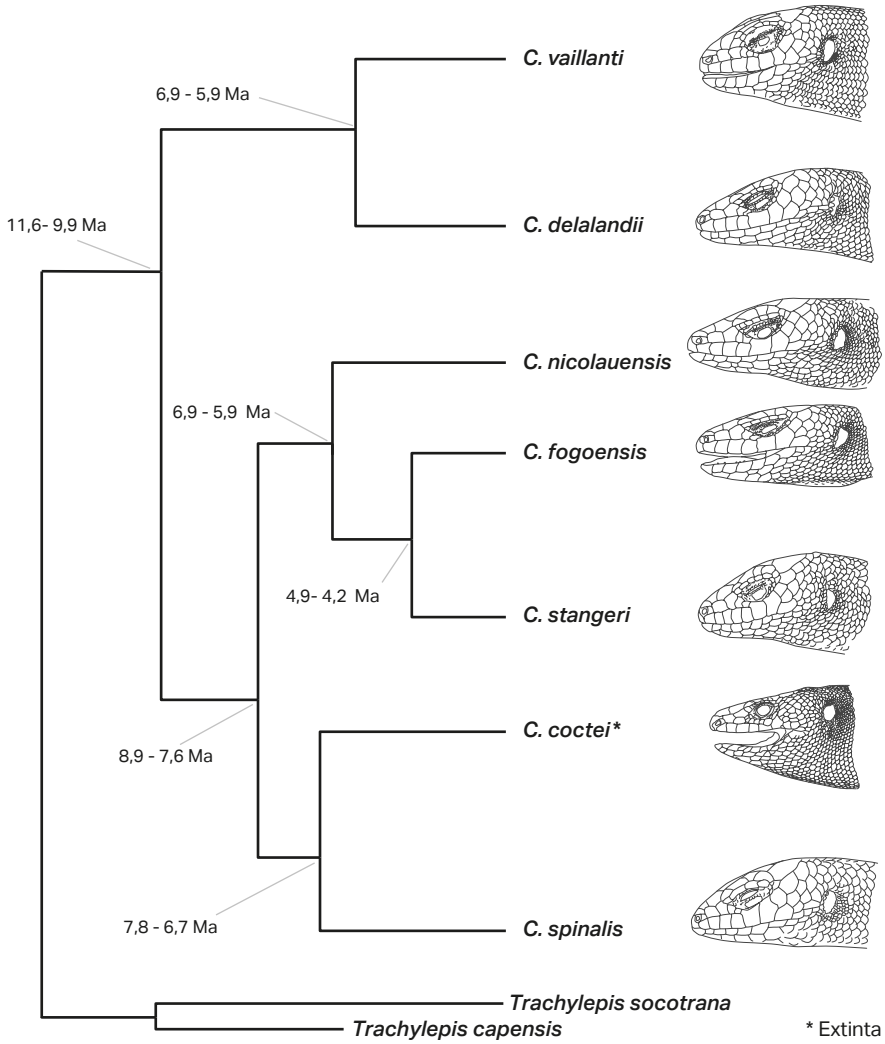
Especializou-se no estudo dos insetos e foi entomólogo no Instituto de Medicina Tropical e Higiene em Berlim. Quando foi convocado para servir no exército alemão, foi enviado para Itália para combater a malária e outras doenças transmitidas por insetos.

Em 1945, perto do fim da guerra, Hennig foi capturado pelos aliados e levado para o serviço de combate à malária das tropas britânicas. Enquanto prisioneiro, esboçou o seu trabalho de sistemática filogenética e publicou vários artigos científicos. Embora não conste como autora, foi a sua esposa Irma que contribuiu para estas publicações, fazendo grande parte da pesquisa bibliográfica e estabelecendo correspondência com outros cientistas.



Fonte: Por Gerd Hennig, CC BY-SA 3.0

Um cladograma pode ilustrar a história evolutiva de um conjunto de espécies relacionadas entre si, como as lagartixas do género *Chioninia*.



Baseado em: Vasconcelos, R. *et al.* 2010. Doi:10.1111/j.1463-6409.2010.00453.x

Fig. 2 Cladograma do género *Chioninia* (* espécie extinta).

1. Refere o ancestral comum às espécies do género *Chioninia*.
2. Indica há quanto tempo divergiu a *C. fogoensis* da *C. strangeri*.
3. Nomeia a espécie extinta.
4. Apresenta um exemplo de táxones irmãos.

Atividade prática

Critérios de classificação

A utilização de um sistema de classificação permite organizar os seres vivos em grupos. Os grupos de seres vivos formados dependem dos critérios adotados nessa classificação. Na figura 1 estão representados alguns animais da biodiversidade europeia que se distinguem por algumas características morfológicas. A presença ou ausência de certas características permitem organizar estes animais em grupos diferentes.

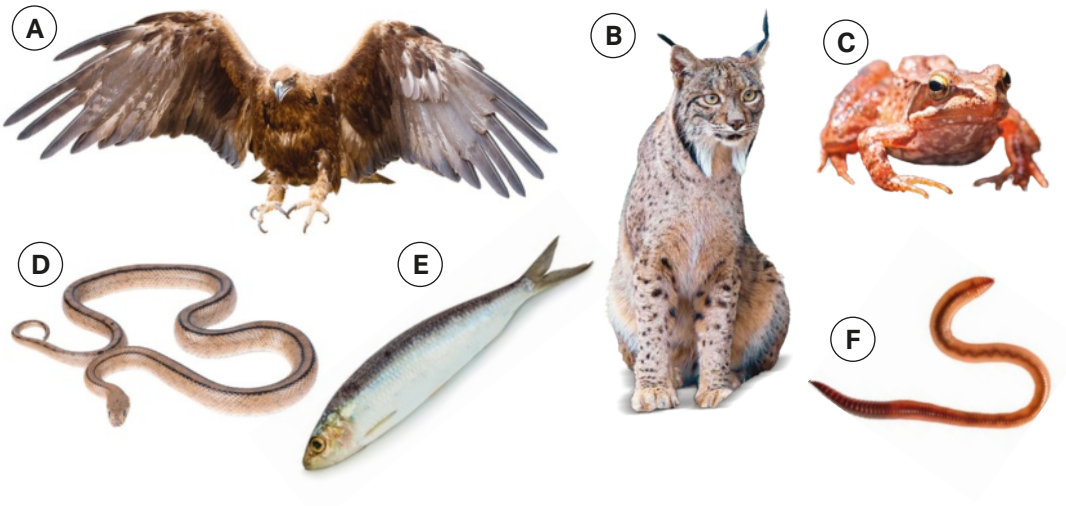


Fig. 1 Espécies de animais designadas pelo nome vulgar e pelo nome científico: A – Águia-real, *Aquila chrysaetos*; B – Lince-ibérico, *Lynx pardinus*; C – Rã-ibérica, *Rana ibérica*; D – Cobra-de-escada, *Zamenis scalaris*; E – Sardinha, *Sardina pilchardus*; F – Minhoca, *Lumbricus terrestres*.

1. Refere quantos grupos poderias formar com os animais da figura 1, atendendo à presença ou ausência de membros locomotores.
2. Identifica os animais em cada um dos grupos que formaste na questão anterior.
3. Agrupa os animais utilizando como critério de classificação a presença ou ausência de coluna vertebral.
4. Indica, relativamente ao critério da questão 1 e ao critério da questão 3, aquele que agrupa os animais da figura 1 de forma mais artificial. Justifica a tua resposta.
5. Relaciona o número de características utilizado numa classificação com a afinidade entre os organismos incluídos em cada um dos grupos formados.

Em resumo…

O que é a sistemática?

- A **sistemática** é a área que se dedica ao estudo da classificação da diversidade dos seres vivos, das suas relações evolutivas e desenvolve sistemas de classificação que refletem essas relações de parentesco.

O que são sistemas de classificação?

- Os **sistemas de classificação práticos** organizam os seres vivos empregando critérios de utilidade para as pessoas.
- Os **sistemas de classificação racionais** organizam os seres vivos utilizando as características estruturais dos seres considerados.

Quais são as categorias taxonómicas?

- A **taxonomia** é o ramo da sistemática que agrupa e classifica os seres vivos.
- No sistema hierárquico de classificação iniciado por Lineu e desenvolvido por outros autores, o **reino** é a categoria taxonómica mais abrangente, seguindo-se, por ordem decrescente, o **filo**, a **classe**, a **ordem**, a **família**, o **género** e a **espécie**.
- A **espécie** é a unidade básica de classificação e corresponde a um grupo natural de indivíduos que partilham o mesmo fundo genético, sendo, por isso, semelhantes entre si, e que se podem cruzar entre si produzindo descendência fértil.
- Cada uma destas categorias taxonómicas é designada por **táxon**, no singular, e **táxones**, no plural.

O que são regras de nomenclatura?

- A **nomenclatura** é o conjunto de regras de atribuição de um nome científico a cada táxon.
- A **nomenclatura polinomial** é a designação do grupo taxonómico por um conjunto de termos em latim que significavam as principais características desse grupo.
- A **nomenclatura binominal** é a designação da espécie com dois termos em latim.
- A **nomenclatura uninominal** é a designação do táxon com um termo em latim.

O que são sistemas de classificação?

- Os **sistemas artificiais** baseiam-se num pequeno número de características resultando em grupos de seres vivos muito heterogéneos.
- Os **sistemas de classificação naturais** baseiam-se num grande número de características para agrupar os seres vivos. Os grupos formados nestes sistemas reúnem seres vivos com maior grau de semelhança e com maior coerência no seu agrupamento. Existem dois sistemas de classificação naturais: os fenéticos e os filogenéticos.

Em resumo…

Como se distinguem sistemas de classificação fenéticos de filogenéticos?

- A **classificação fenética** estabelece relações de afinidade entre os seres vivos com base em características morfológicas ou fisiológicas observáveis, ou seja, características fenotípicas.
- A **classificação filogenética** agrupa os seres vivos de acordo com o seu grau de parentesco evolutivo.
- O cladograma ou **árvore filogenética** é o diagrama que ilustra as relações evolutivas entre os seres vivos estudados.

O que é a chave dicotómica?

- A **chave dicotómica** é um método para identificar seres vivos que apresenta em cada nível duas alternativas mutuamente exclusivas.

O que é o sistema de classificação de Whittaker modificado?

- O sistema de classificação de Whittaker modificado organiza os seres vivos em cinco reinos: **Monera**, **Protista**, **Fungi**, **Plantae** e **Animalia**.
- O **nível de organização celular** diz respeito ao tipo de célula do ser vivo: eucariótica, dos eucariontes, e procariótica, dos procariontes.
- O **modo de nutrição** diz respeito ao modo como os seres vivos obtêm a matéria orgânica: autotróficos e heterotróficos por ingestão ou por absorção.
- As **interações nos ecossistemas** dizem respeito à posição dos seres vivos na cadeia alimentar: produtores, macroconsumidores e microconsumidores.
- Os **produtores** são autotróficos. Os **macroconsumidores** são heterotróficos que se alimentam por ingestão. Os **microconsumidores** são heterotróficos que decompõem a matéria orgânica, absorvem alguns produtos resultantes da decomposição e libertam matéria inorgânica para o meio. São denominados **saprófitos** ou decompositores.

O que é a classificação em domínios?

- O **domínio** é um nível de classificação superior ao reino.
- O domínio **Eukaria** inclui todos os seres eucariontes.
- O domínio **Archaea** inclui os procariontes arqueias.
- O domínio **Bacteria** inclui os procariontes bactérias.
- Os sistemas de classificação continuam a ser modificados à medida que surgem novos dados, não havendo acordo entre os sistematas quanto ao número de reinos dos seres vivos, o que comprova o dinamismo da ciência.

Teste formativo

1 **Lê atentamente o texto. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

O Presidente da República de Cabo Verde formalizou a entrega de um exemplar do lagarto-gigante-de-cabo-verde à Universidade Técnica do Atlântico (UTA). Esta é uma espécie endémica, infelizmente já extinta, tendo sido supostamente visto, pela última vez, em 1912 um exemplar vivo no seu habitat natural, os ilhéus de Santa Luzia. Os estudos apontam para uma combinação de fatores ambientais e da atividade humana, inclusive o uso do lagarto para alimentação em tempos de seca, que podem ter estado na origem da extinção da espécie.

O lagarto-gigante, passa agora a integrar, enquanto espécime 0001, o projeto Bio-Catalog – Projeto de Catalogação da Biodiversidade de Cabo Verde, localizado no Instituto de Engenharias e Ciências do Mar, unidade orgânica da UTA. O BioCatalog é um projeto que visa colecionar e preservar tecidos, animais e plantas, incentivando os investigadores a deixarem suas amostras em Cabo Verde em vez de enviá-las para museus no exterior.

A entrega deste espécime à UTA deverá servir de lembrete à necessidade cada vez mais urgente de estudar e de preservar e proteger o património natural de Cabo Verde, em especial as espécies ameaçadas de extinção.

Baseado em: https://uta.cv/index.php?option=com_content&view=article&id=420:2025-02-20-13-07-03&catid=10:noticias&Itemid=140, pesquisado em 01-07-2025

1.1. O sistema de classificação que identificou o lagarto como animal comestível é…

(A) racional. **(B)** fenético.
(C) filogenético. **(D)** prático.

1.2. Os espécimes entregues ao BioCatalog são classificados no sistema…

(A) polinominal. **(B)** dicotómico.
(C) filogenético. **(D)** prático.

1.3. O nome científico do lagarto-gigante-de-cabo-verde é…

(A) *Chioninia coctei*. **(B)** *chioninia coctei*.
(C) *chioninia Coctei*. **(D)** *Chioninia Coctei*.

1.4. No nome científico do lagarto-gigante-de-cabo-verde…

(A) a primeira palavra é o restritivo específico e a segunda palavra é o nome do género.
(B) ambas as palavras derivam do nome do reino a que pertence o lagarto.
(C) a primeira palavra é o nome do género e a segunda palavra é o restritivo específico.
(D) ambas as palavras têm por base o ambiente onde vivia o lagarto.

Teste formativo

1.5. Para as subespécies do lagarto-gigante-de-cabo-verde…

(A) são utilizados dois nomes em latim.

(B) utiliza-se a nomenclatura trinominal em que a seguir ao nome da espécie se acrescenta o restritivo subespecífico.

(C) utiliza-se a nomenclatura binominal em que a seguir ao nome da espécie se acrescenta o restritivo subespecífico.

(D) é utilizado um nome em latim.

1.6. No sistema hierárquico de classificação iniciado por…, a categoria taxonómica mais abrangente é…

(A) Aristóteles… o reino.

(B) Lineu… o reino.

(C) Aristóteles… a espécie.

(D) Lineu… a espécie.

2 **Estabelece a correspondência correta entre os termos da coluna I e da coluna II.**

Coluna I	Coluna II
1. Eucariontes, multicelulares com elevado grau de diferenciação, autotróficos, produtores.	**A.** Monera
2. Procariontes, unicelulares, autotróficos ou heterotróficos, produtores ou microconsumidores.	**B.** Protista
3. Eucariontes, multicelulares com elevado grau de diferenciação, heterotróficos, macroconsumidores.	**C.** Fungi
4. Eucariontes, unicelulares ou multicelulares com baixo grau de diferenciação, heterotróficos, microconsumidores.	**D.** Plantae
5. Eucariontes, unicelulares ou multicelulares com baixo grau de diferenciação, autotróficos ou heterotróficos, produtores, macroconsumidores ou microconsumidores.	**E.** Animalia

3 **Ordena as categorias taxonómicas por ordem decrescente de abrangência.**
A – Ordem; B – Filo; C – Classe; D – Espécie; E – Família; F – Género; G – Reino.

4 **Faz corresponder a cada uma das designações da nomenclatura do lagarto-gigante-de-cabo-verde, uma das categorias taxonómicas da questão anterior.**
Animalia • *Chioninia coctei* • Reptilia • Chordata • Scincidae • Squamata • *Chioninia*

5 **Atende à frase do texto "A entrega deste espécime à UTA deverá servir de lembrete à necessidade cada vez mais urgente de estudar e de preservar e proteger o património natural de Cabo Verde, em especial as espécies ameaçadas de extinção."**

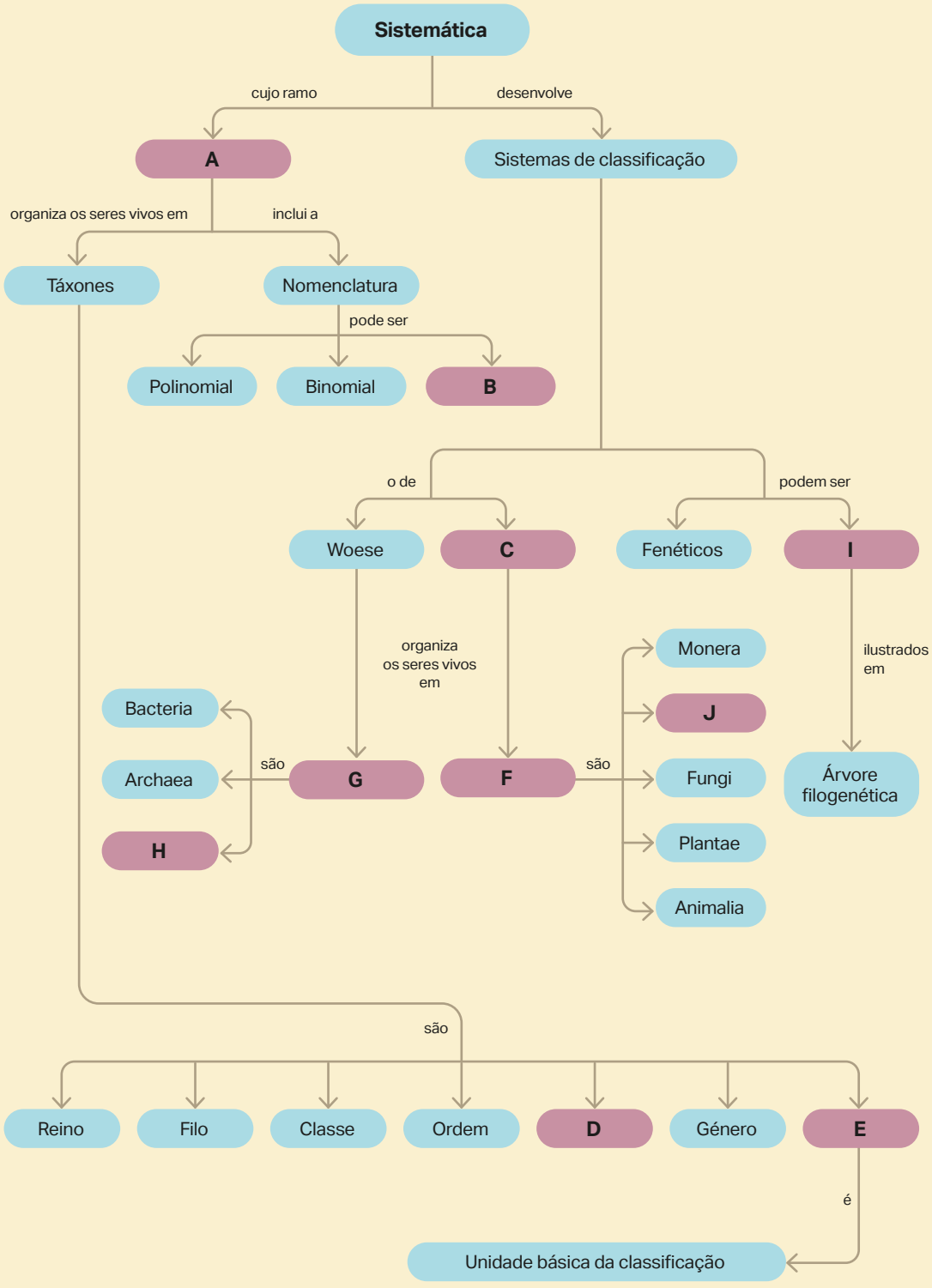
5.1. Descreve o conceito de espécie.

5.2. Refere duas espécies cabo-verdianas a preservar e proteger.

5.3. Relaciona a importância da escolaridade com a preservação da biodiversidade.

5.4. Explica a importância de proteger o património natural.

Mapa de conceitos



Conservação da biodiversidade

A biodiversidade é o pilar da vida na Terra. Antes de existir biodiversidade, o nosso planeta era um lugar inabitável. Além de manter o equilíbrio da natureza e de mitigar as alterações climáticas, a biodiversidade dá às pessoas alimentos, ar puro e medicamentos, entre muitos outros benefícios.

A história da aspirina® é um bom exemplo para ilustrar a importância da conservação da biodiversidade. Desde 1550 a. C. que os egípcios usavam a casca do salgueiro-branco, *Salix alba*, para o alívio da dor e inflamação. Em 1883, o ácido salicílico foi isolado da casca do salgueiro e, em 1987, os investigadores criaram o ácido acetilsalicílico – aspirina®. Em suma, caso algumas pessoas levassem o salgueiro à extinção, não existiria um medicamento para a Humanidade.

A **Estratégia e Plano de Ação Nacional Sobre a Biodiversidade 2014-2030** incorpora a importância da conservação da biodiversidade. Deste importante documento, citam-se alguns excertos das páginas 8 e 9:

Fonte: https://www.cbd.int/doc/world/cv/cv-nbsap-v2-pt.pdf

Cabo Verde possui já uma experiência considerável na implementação de uma política de conservação da biodiversidade, tendo elaborado a sua primeira Estratégia em 1999. No período entre 2000 e 2013, o país produziu avanços, com destaque para a criação de vários instrumentos legais de conservação e uso sustentável da biodiversidade, declaração das áreas protegidas e a implementação de planos de conservação de espécies ameaçadas, embora persistam inúmeras deficiências nos planos legal, institucional, de fiscalização, conhecimento científico e monitorização.

Como resultado da implementação da primeira estratégia, o país operacionalizou 3 parques naturais terrestres de uma rede de 47 áreas protegidas, alcançando em parte as metas que preconizavam recuperar os ecossistemas degradados e criar um corpo de guardas florestais formado e funcional. Estas unidades de conservação têm contribuído de forma significativa para a reposição do coberto vegetal com espécies endémicas ameaçadas de extinção e na proteção da biodiversidade através da conservação *in situ*.

A visão nacional para a conservação da biodiversidade para os próximos 15 anos desenvolve-se em torno de 3 princípios fundamentais: i) A conservação efetiva e a integração dos valores da Biodiversidade; ii) o envolvimento e a participação de toda a sociedade na conservação e uso sustentável da Biodiversidade; iii) e a distribuição justa e equitativa dos benefícios que assegurarão o desenvolvimento do país e o bem-estar da população.

Para amar e proteger é necessário conhecer e, por isso, nas páginas seguintes apresentam-se algumas plantas e animais da biodiversidade cabo-verdiana. Faz uma pesquisa sobre as causas do declínio destas e de outras espécies. Elabora uma apresentação para sensibilizares a tua comunidade para a sua conservação.

Plantas endémicas ameaçadas

Fonte: *Flora endémica. P. N. de Monte Gordo, São Nicolau*

Asteriscus smithii
Nome comum – Macela-do-gordo
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Criticamente em perigo
Ocorrência – São Nicolau

Fonte: *Flora endémica. P. N. de Monte Gordo, São Nicolau*

Launaea gorgadensis
Nome comum – Serralha
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Criticamente em perigo
Ocorrência – Santo Antão, São Vicente, São Nicolau

Fonte: https://www.discover-cape-verde.com/guide/plants-in-cape-verde/

Withania chevalieri
Nome comum – Malagueta-de-galinha
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Criticamente em perigo
Ocorrência – Santo Antão, Sal, Fogo

Fonte: *Flora endémica. P. N. de Monte Gordo, São Nicolau*

Limonium jovibarba
Nome comum – Carqueja
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Criticamente em perigo
Ocorrência – São Vicente, São Nicolau

Fonte: https://terrimar.org.cv

Carex antoniensis
Nome comum – Palha-d'água
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Criticamente em perigo
Ocorrência – Santo Antão

Fonte: https://powo.science.kew.org

Diplotaxis glauca
Nome comum – Mostarda-branca
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Criticamente em perigo
Ocorrência – Sal, Boa Vista

Plantas endémicas ameaçadas

Fonte: *Flora endémica. P. N. de Monte Gordo, São Nicolau*

Dracaena draco caboverdeana
Nome comum – Dragoeiro
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Criticamente em perigo
Ocorrência – Santo Antão, São Nicolau, Fogo

Fonte: *Flora endémica. P. N. de Monte Gordo, São Nicolau*

Sideroxylon marginatum
Nome comum – Marmulano
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Em perigo
Ocorrência – Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Santiago, Fogo, Brava

Fonte: *Flora endémica. P. N. de Monte Gordo, São Nicolau*

Periploca chevalieri
Nome comum – Curcabra, Lantisco
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Em perigo
Ocorrência – Santo Antão, Santa Luzia, São Nicolau, Santiago, Fogo, Brava

Fonte: *Flora endémica. P. N. de Monte Gordo, São Nicolau*

Conyza varia
Nome comum – Marcelinha
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Em perigo
Ocorrência – Santo Antão, São Nicolau, Fogo e Brava

Fonte: Por Ji-Elle - Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

Echium vulcanorum
Nome comum – Língua-de-vaca
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Em perigo
Ocorrência – Fogo

Fonte: https://www.discover-cape-verde.com

Helianthemum gorgoneum
Nome comum – Piorno-de-flor-amarela
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 2015 – Em perigo
Ocorrência – Branco, Santo Antão, Brava, Fogo

Aves endémicas ameaçadas

Fonte: © Stephane Cault

Alauda razae
Nome comum – Laverca-do-raso
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 1996 – Raro
Ocorrência – Raso, Santa Luzia

Fonte: ©Stock.Adobe.com

Calonectris edwardsii
Nome comum – Cagarra-de-cabo-verde
Estatuto de conservação da UICN – Quase ameaçada
Lista vermelha de Cabo Verde, 1996 – Em perigo
Ocorrência – Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Santa Luzia, Boa Vista, Santiago, Fogo, Brava, Raso, Branco e Rombo

Fonte: Por Richard Crossley – Richard Crossley, CC BY-SA 3.0

Pterodroma feae
Nome comum – Gongon
Estatuto de conservação da UICN – Quase ameaçada
Lista vermelha de Cabo Verde, 1996 – Vulnerável
Ocorrência – Santo Antão, São Nicolau, Santiago, Fogo

Répteis endémicos ameaçados

Fonte: © Raquel Vasconcelos

Hemidactylus bouvieri razoensis
Nome comum – Osga-de-bouvier
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 1996 – Em perigo crítico
Ocorrência – Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Santa Luzia, Raso

Fonte: © Raquel Vasconcelos

Tarentola gigas
Nome comum – Osga-gigante
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 1996 – Em perigo
Ocorrência – Branco, Raso

Fonte: ©Stock.Adobe.com

Caretta caretta
Nome comum – Tartaruga-cabeçuda
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Lista vermelha de Cabo Verde, 1996 – Em perigo
Ocorrência – Boa Vista, São Vicente, Santo Antão, São Nicolau

Aracnídeos endémicos ameaçados

Fonte: © Stock.Adobe.com

Hottentotta caboverdensis
Nome comum – Escorpião, Lacrau
Estatuto de conservação da UICN – Não avaliado
Ocorrência – Santiago

Fonte: *Catálogo Nacional de Espécies Endémicas e Ameaçadas em Cabo Verde*

Scotophaeus insularis
Nome comum – Aranha
Estatuto de conservação da UICN – Não avaliado
Ocorrência – Santo Antão, São Nicolau, Sal, Boa Vista, Santiago, Fogo

Fonte: *Catálogo Nacional de Espécies Endémicas e Ameaçadas em Cabo Verde*

Misumenops spinulosissimus
Nome comum – Aranha
Estatuto de conservação da UICN – Não avaliado
Ocorrência – Santo Antão, São Vicente, Sal, Boa Vista, Maio, Santiago

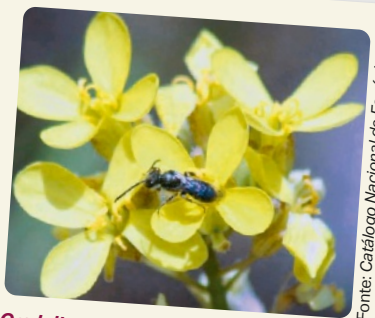
Insetos endémicos ameaçados

Fonte: *Catálogo Nacional de Espécies Endémicas e Ameaçadas em Cabo Verde*

Chilades evorae
Nome comum – Borboleta
Estatuto de conservação da UICN – Não avaliado
Ocorrência – Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, Raso, Fogo

Fonte: *Catálogo Nacional de Espécies Endémicas e Ameaçadas em Cabo Verde*

Dolichoiulus obscuripes
Nome comum – Gongolo
Estatuto de conservação da UICN – Não avaliado
Ocorrência – São Nicolau, Santiago, Fogo



Fonte: *Catálogo Nacional de Espécies Endémicas e Ameaçadas em Cabo Verde*

Ceylalictus capverdensis
Nome comum – Abelha
Estatuto de conservação da UICN – Não avaliado
Ocorrência – Santo Antão, São Vicente, Branco, São Nicolau, Boa Vista, Fogo, Brava

Moluscos endémicos ameaçados

Fonte: Almed2 - Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

Conus salreiensis
Nome comum – Cone-de-sal-rei
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Ocorrência – Sal Rei – Boa Vista

Fonte: Almed2 - Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

Conus mordeirae
Nome comum – Cone
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo
Ocorrência – Baía da Murdeira – Sal

Fonte: Almed2 - Obra do próprio, CC BY-SA 3.0

Conus fernandesi
Nome comum – Cone
Estatuto de conservação da UICN – Em perigo
Ocorrência – Porto Novo – Santo Antão

Peixes ameaçados

Fonte: ©Stock.Adobe.com

Sphyrna lewini
Nome comum – Tubarão-martelo-recortado
Estatuto de conservação da UICN – Criticamente em perigo

Fonte: ©Stock.Adobe.com

Mycteroperca marginata
Nome comum – Garoupa
Estatuto de conservação da UICN – Vulnerável

Fonte: ©Stock.Adobe.com

Mola mola
Nome comum – Peixe-lua
Estatuto de conservação da UICN – Vulnerável

Biologia e Geologia

Componente de Geologia

11.º ano

Ministério da Educação

Este livro foi aprovado pelo Ministério da Educação para utilização obrigatória nas escolas

ONLINE +OFFLINE +DOWNLOAD

Manual Digital na app **EV Smart Book** e em **www.escolavirtual.cv**

Biologia e Geologia

Componente de Geologia

11.º ano

Manual Revisto

O presente manual foi revisto e validado pela Universidade de Cabo Verde.

Explora o teu manual digital

https://escolavirtual.cv

Acesso e condições de utilização em
www.escolavirtual.cv

Ministério da Educação

Podes também aceder ao teu livro através da **app EV Smart Book**

DISPONÍVEL NO Google Play

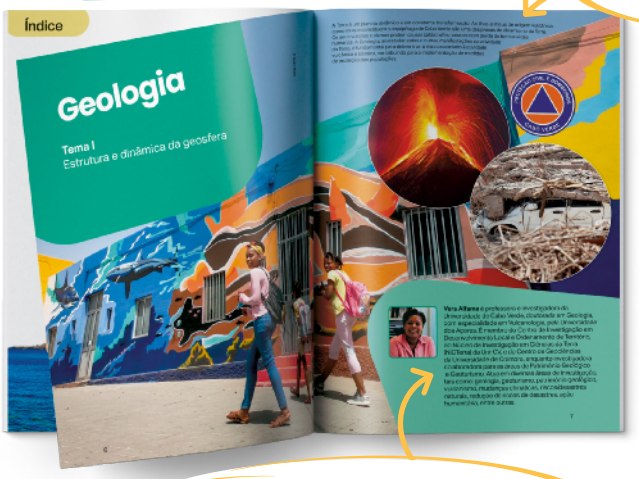
Descarregar na App Store

Conhece o teu manual

O manual está organizado de modo que consigas ter sucesso e aprender de forma autónoma. Está dividido em duas componentes – Biologia e Geologia – organizadas em temas. Cada tema contribuirá para desenvolveres saberes, capacidades, atitudes e valores, que te permitirão atingir os objetivos da disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano.

Cada componente inicia com…

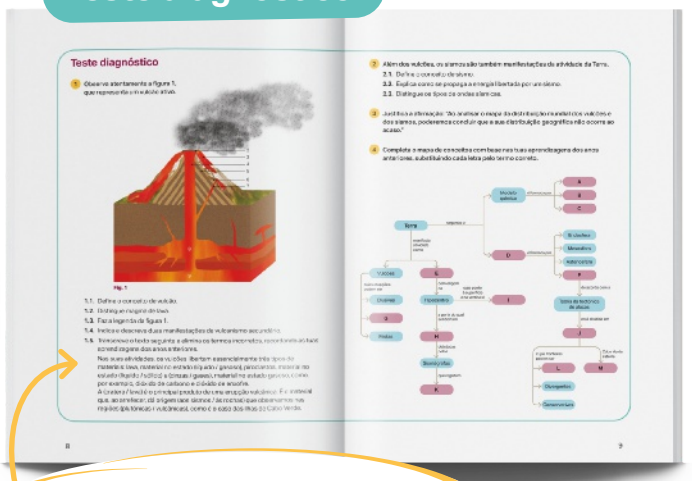
Separador de Geologia



Legenda da fotografia relacionada com a componente de Geologia

Personalidade cabo-verdiana que investiga na área da Geologia

Teste diagnóstico



Questões sobre as aprendizagens dos anos anteriores

Cada tema é composto por subtemas

Separador do tema

Subtemas

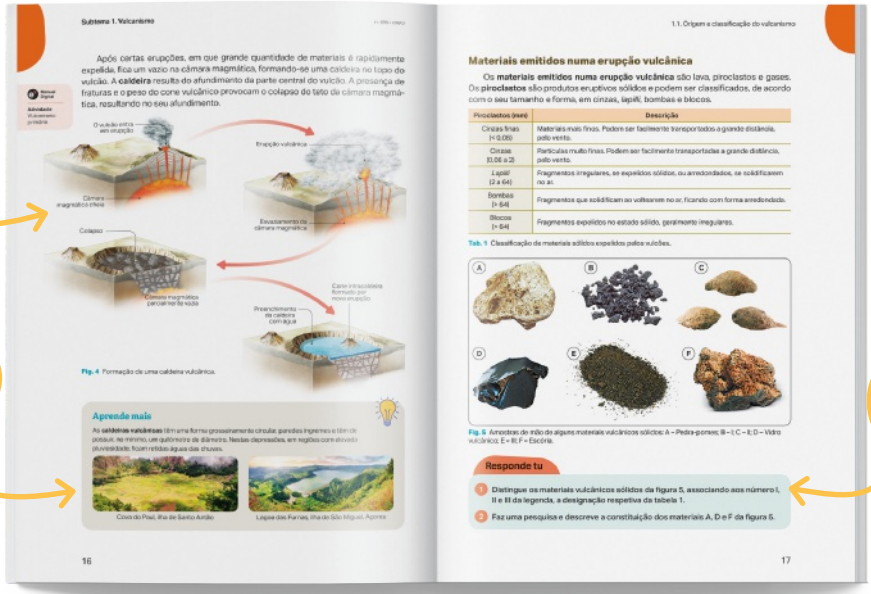
Objetivos do tema

Conteúdos do subtema

Separador do subtema

Desenvolvimento de conteúdos

Imagens infográficas


Subtema 1. Vulcanismo

Após certas erupções, em que grande quantidade de materiais é rapidamente expelida, fica um vazio na câmara magmática, formando-se uma caldeira no topo do vulcão. A **caldeira** resulta do afundimento da parte central do vulcão. A presença de fraturas e o peso do cone vulcânico provocam o colapso do teto da câmara magmática, resultando no seu afundimento.

Fig. 4 Formação de uma caldeira vulcânica.

Aprende mais

As **caldeiras vulcânicas** têm uma forma grosseiramente circular, paredes íngremes e têm de possuir, no mínimo, um quilómetro de diâmetro. Nestas depressões, em regiões com elevada pluviosidade, ficam retidas águas das chuvas.

Cova do Peixe, Ilha de Santo António — Lagoa das Furnas, Ilha de São Miguel, Açores

16

1.1. Origem e classificação do vulcanismo

Materiais emitidos numa erupção vulcânica

Os **materiais emitidos numa erupção vulcânica** são lava, piroclastos e gases. Os **piroclastos** são produtos eruptivos sólidos e podem ser classificados, de acordo com o seu tamanho e forma, em cinzas, lapili, bombas e blocos.

Piroclastos (rocha)	Descrição
Cinzas finas (< 0,05)	Materiais mais finos. Podem ser facilmente transportados a grande distância, pelo vento.
Cinzas (0,06 a 2)	Partículas muito finas. Podem ser facilmente transportadas a grande distância, pelo vento.
Lapili (2 a 64)	Fragmentos irregulares, se expelidos sólidos, ou arredondados, se solidificarem no ar.
Bombas (> 64)	Fragmentos que solidificam ao voltearem no ar, ficando com forma arredondada.
Blocos (> 64)	Fragmentos expelidos no estado sólido, geralmente irregulares.

Tab. 1 Classificação de materiais sólidos expelidos pelos vulcões.

Fig. 5 Amostras de três de alguns materiais vulcânicos sólidos: A – Pedra-pomes; B – I; C – II; D – Vidro vulcânico; E – III; F – Escória.

Responde tu

1. Distingue os materiais vulcânicos sólidos da figura 5, associando aos número I, II e III da legenda, a designação respetiva da tabela 1.
2. Faz uma pesquisa e descreve a constituição dos materiais A, D e F da figura 5.

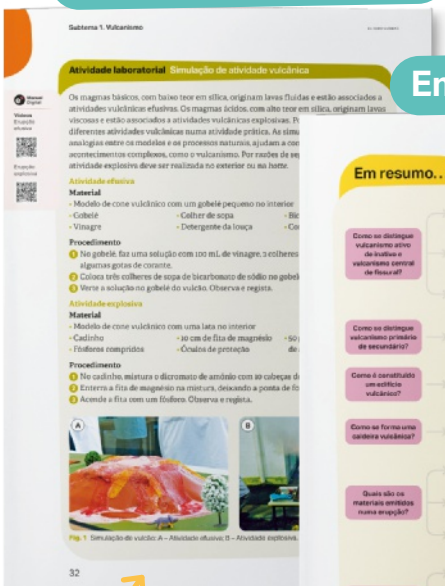
17

Aprende mais com informação adicional sobre o conteúdo

Responde tu com questões de verificação das aprendizagens

Ao longo do teu manual…

Atividade laboratorial


Subtema 1. Vulcanismo

Atividade laboratorial Simulação de atividade vulcânica

Os magmas básicos, com baixo teor em sílica, originam lavas fluidas e estão associados a atividades vulcânicas efusivas. Os magmas ácidos, com alto teor em sílica, originam lavas viscosas e estão associados a atividades vulcânicas explosivas. P… diferentes atividades vulcânicas numa atividade prática. As simu… análogias entre os modelos e os processos naturais, ajudam a co… acontecimentos complexos, como o vulcanismo. Por razões de se… atividade explosiva deve ser realizada no exterior ou na hote…

Atividade efusiva

Material

- Modelo de cone vulcânico com um gobelé pequeno no interior
- Gobelé
- Colher de sopa
- Vinagre
- Detergente da louça

Procedimento

1. No gobelé, faz uma solução com 100 mL de vinagre, 2 colheres… algumas gotas de corante.
2. Coloca três colheres de sopa de bicarbonato de sódio no gobel…
3. Verte a solução no gobelé do vulcão. Observa e regista.

Atividade explosiva

Material

- Modelo de cone vulcânico com uma lata no interior
- Cadinho
- 10 cm de fita de magnésio
- Fósforos compridos
- Óculos de proteção

Procedimento

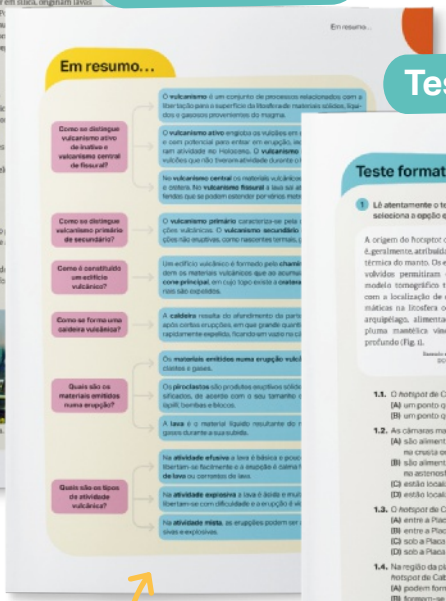
1. No cadinho, mistura o dicromato de amónio com 10 colheres d…
2. Enterra a fita de magnésio na mistura, deixando a ponta de fo…
3. Acende a fita com um fósforo. Observa e regista.

Fig. 1 Simulação de vulcão: A – Atividade efusiva; B – Atividade explosiva.

32

Consolidação dos conhecimentos de forma prática

Em resumo…


Em resumo…

Em resumo…

Como se distingue vulcanismo ativo de inativo e vulcanismo central de fissural?

O **vulcanismo** é um conjunto de processos relacionados com a libertação para a superfície da litosfera de materiais sólidos, líqui… dos e gasosos provenientes do magma.

O **vulcanismo ativo** engloba os vulcões em… e com potencial para entrar em erupção, in… ram atividade no Holoceno. O **vulcanismo** … vulcões que não tiveram atividade durante o…

Como se distingue vulcanismo primário de secundário?

vulcanismo central os materiais vulcânicos… e lava. No **vulcanismo fissural** a lava sai a… fendas que se podem estender por vários …

O **vulcanismo primário** caracteriza-se pela… ções vulcânicas. O **vulcanismo secundário** … ções não eruptivas, como nascentes termais, …

Como é constituído um edifício vulcânico?

Um edifício vulcânico é formado pelo **chami**… dem os materiais vulcânicos que se acumu… **cone principal**, em cujo topo existe a **cratera** … rios não expelidos.

Como se forma uma caldeira vulcânica?

A **caldeira** resulta do afundimento da parte… após certas erupções, em que grande quanti… rapidamente expelida, ficando em vazio no c…

Quais são os materiais emitidos numa erupção?

Os **materiais emitidos numa erupção vulcâ**… clastos e gases.

Os **piroclastos** são produtos eruptivos sólid… sificados, de acordo com o seu tamanho e … lapili, bombas e blocos.

A **lava** é o material líquido resultante do … gases durante a sua subida.

Quais são os tipos de atividade vulcânica?

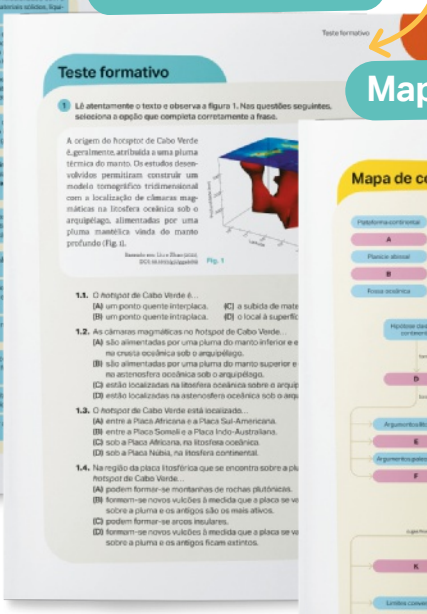
Na **atividade efusiva** a lava é básica e pouc… libertam-se facilmente e a erupção é calma. … **de lava** ou correntes de lava.

Na **atividade explosiva** a lava é ácida e mui… libertam-se com dificuldade e a erupção é vi…

Na **atividade mista**, as erupções podem ser … sivas e explosivas.

Síntese dos conteúdos aprendidos

Teste formativo


Teste formativo

Teste formativo

1. Lê atentamente o texto e observa a figura 1. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.

A origem do hotspot de Cabo Verde é, geralmente, atribuída a uma pluma térmica do manto. Os estudos desenvolvidos permitiram construir um modelo tomográfico tridimensional com a localização de câmaras magmáticas na litosfera oceânica sob o arquipélago, alimentadas por uma pluma mantélica vinda do manto profundo (Fig. 1).

Fig. 1

1.1. O hotspot de Cabo Verde é…
(A) um ponto quente interplaca. (C) a subida de mat…
(B) um ponto quente intraplaca. (D) o local à superfíc…

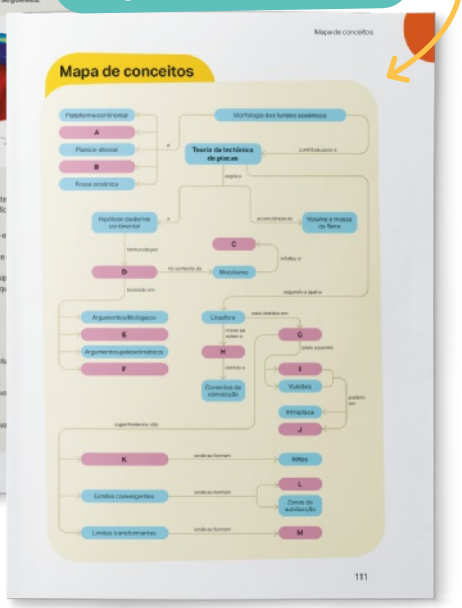
1.2. As câmaras magmáticas no hotspot de Cabo Verde…
(A) são alimentadas por uma pluma do manto inferior e e… na crusta oceânica sob o arquipélago.
(B) são alimentadas por uma pluma do manto superior e… na astenosfera oceânica sob o arquipélago.
(C) estão localizadas na litosfera oceânica sobre o arqui…
(D) estão localizadas na astenosfera oceânica sob o arq…

1.3. O hotspot de Cabo Verde está localizado…
(A) entre a Placa Africana e a Placa Sul-Americana.
(B) entre a Placa Somali e a Placa Indo-Australiana.
(C) sob a Placa Africana, na litosfera oceânica.
(D) sob a Placa Núbia, na litosfera continental.

1.4. Na região da placa litosférica que se encontra sobre a pl… hotspot de Cabo Verde…
(A) podem formar-se montanhas de rochas plutónicas.
(B) formem-se novos vulcões à medida que a placa se ve… sobre a pluma e os antigos são os mais ativos.
(C) podem formar-se arcos insulares.
(D) formam-se novos vulcões à medida que a placa se ve… sobre a pluma e os antigos ficam extintos.

Questões sobre os conteúdos aprendidos

Mapa de conceitos


Mapa de conceitos

Mapa de conceitos

Plataforma continental — Planície abissal — Fossa oceânica — Montanhas dos fundos oceânicos — Teoria da tectónica de placas — Hipótese clássica continental — Volume e massa da Terra — Mobilismo — Argumentos Biológicos — Argumentos paleoclimáticos — Litosfera — Vulcões — Intraplaca — Limites convergentes — Limites transformantes — Rifts — Zonas de subducção

111

Diagrama para completar com conceitos-chave da matéria

Índice

Geologia

Teste diagnóstico 8

TEMA I: Estrutura e dinâmica da geosfera 10

1

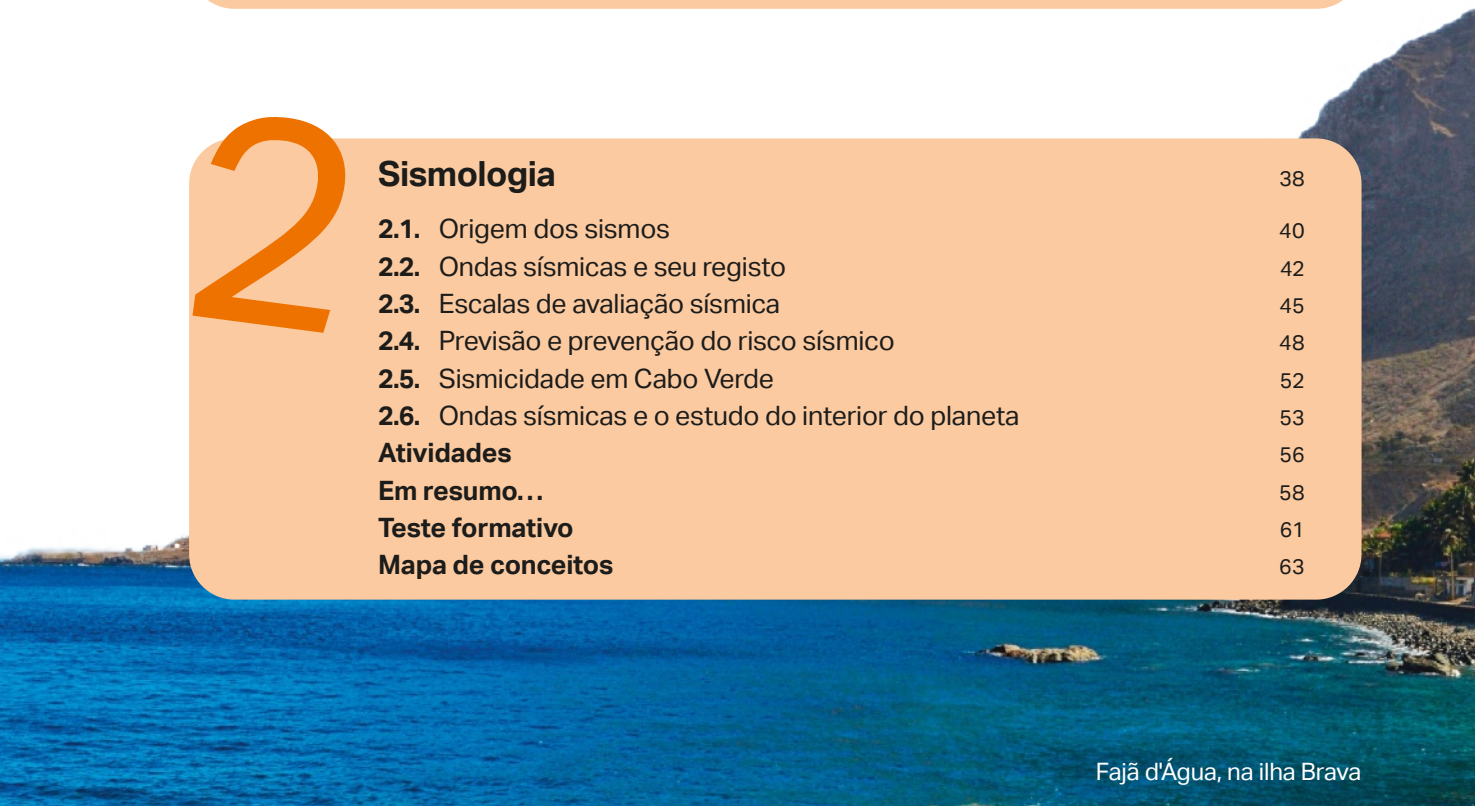
Vulcanismo 12

1.1. Origem e classificação do vulcanismo 14
1.2. Previsão e prevenção de riscos vulcânicos 23
1.3. Impacto socioeconómico da atividade vulcânica 25
1.4. Vulcanismo em Cabo Verde 26
Atividades 30
Em resumo... 33
Teste formativo 35
Mapa de conceitos 37

2

Sismologia 38

2.1. Origem dos sismos 40
2.2. Ondas sísmicas e seu registo 42
2.3. Escalas de avaliação sísmica 45
2.4. Previsão e prevenção do risco sísmico 48
2.5. Sismicidade em Cabo Verde 52
2.6. Ondas sísmicas e o estudo do interior do planeta 53
Atividades 56
Em resumo... 58
Teste formativo 61
Mapa de conceitos 63



Fajã d'Água, na ilha Brava

Índice

3 **Estudo da estrutura interna da geosfera** 64

3.1. Métodos diretos e indiretos para o estudo da estrutura interna da Terra 66
3.2. Estrutura interna da Terra 72
Atividades 74
Em resumo… 77
Teste formativo 79
Mapa de conceitos 81

4 **A teoria da tectónica de placas** 82

4.1. Da hipótese da deriva continental à teoria da tectónica de placas 84
4.2. Sismos, vulcões e tectónica de placas 97
Atividades 101
Em resumo… 106
Teste formativo 109
Mapa de conceitos 111

Geologia

Tema I
Estrutura e dinâmica da geosfera

© Pedro Moita

A Terra é um planeta dinâmico e em constante transformação. As ilhas e ilhéus de origem vulcânica, como os que constituem o arquipélago de Cabo Verde, são uma das provas do dinamismo da Terra. Os seus vulcões e sismos podem causar catástrofes naturais com perda de bens e vidas humanas. A Geologia, ao estudar estas e outras manifestações da atividade da Terra, é fundamental para determinar o risco associado à atividade vulcânica e sísmica, contribuindo para a implementação de medidas de proteção das populações.

Vera Alfama é professora e investigadora da Universidade de Cabo Verde, doutorada em Geologia, com especialidade em Vulcanologia, pela Universidade dos Açores. É membro do Centro de Investigação em Desenvolvimento Local e Ordenamento de Território, no Núcleo de Investigação em Ciências da Terra (NICTerra) da Uni-CV, e do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, enquanto investigadora colaboradora para as áreas de Património Geológico e Geoturismo. Atua em diversas áreas de investigação, tais como: geologia, geoturismo, património geológico, vulcanismo, mudanças climáticas, riscos/desastres naturais, redução de riscos de desastres, ação humanitária, entre outras.

Teste diagnóstico

1 **Observa atentamente a figura 1, que representa um vulcão ativo.**

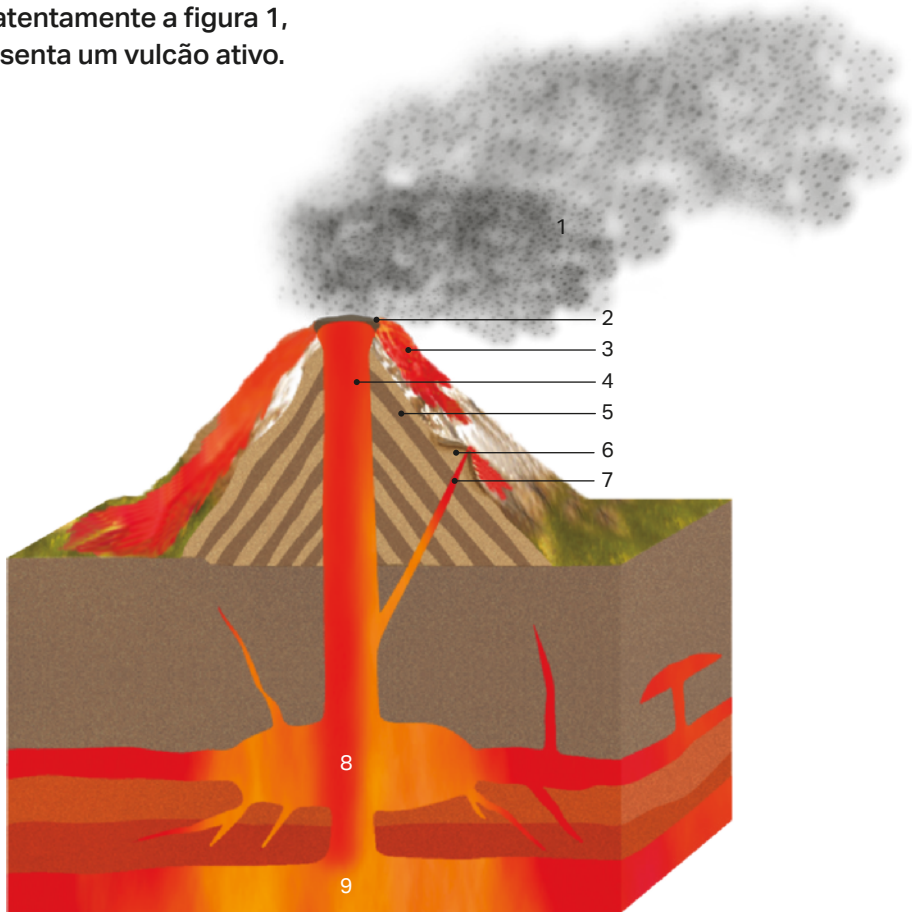


Fig. 1

1.1. Define o conceito de vulcão.

1.2. Distingue magma de lava.

1.3. Faz a legenda da figura 1.

1.4. Indica e descreve duas manifestações de vulcanismo secundário.

1.5. Transcreve o texto seguinte e elimina os termos incorretos, recordando as tuas aprendizagens dos anos anteriores.

Nas suas atividades, os vulcões libertam essencialmente três tipos de materiais: lava, material no estado (líquido / gasoso), piroclastos, material no estado (líquido / sólido) e (cinzas / gases), material no estado gasoso, como, por exemplo, dióxido de carbono e dióxido de enxofre.
A (cratera / lava) é o principal produto de uma erupção vulcânica. É o material que, ao arrefecer, dá origem (aos sismos / às rochas) que observamos nas regiões (plutónicas / vulcânicas), como é o caso das ilhas de Cabo Verde.

2 **Além dos vulcões, os sismos são também manifestações da atividade da Terra.**

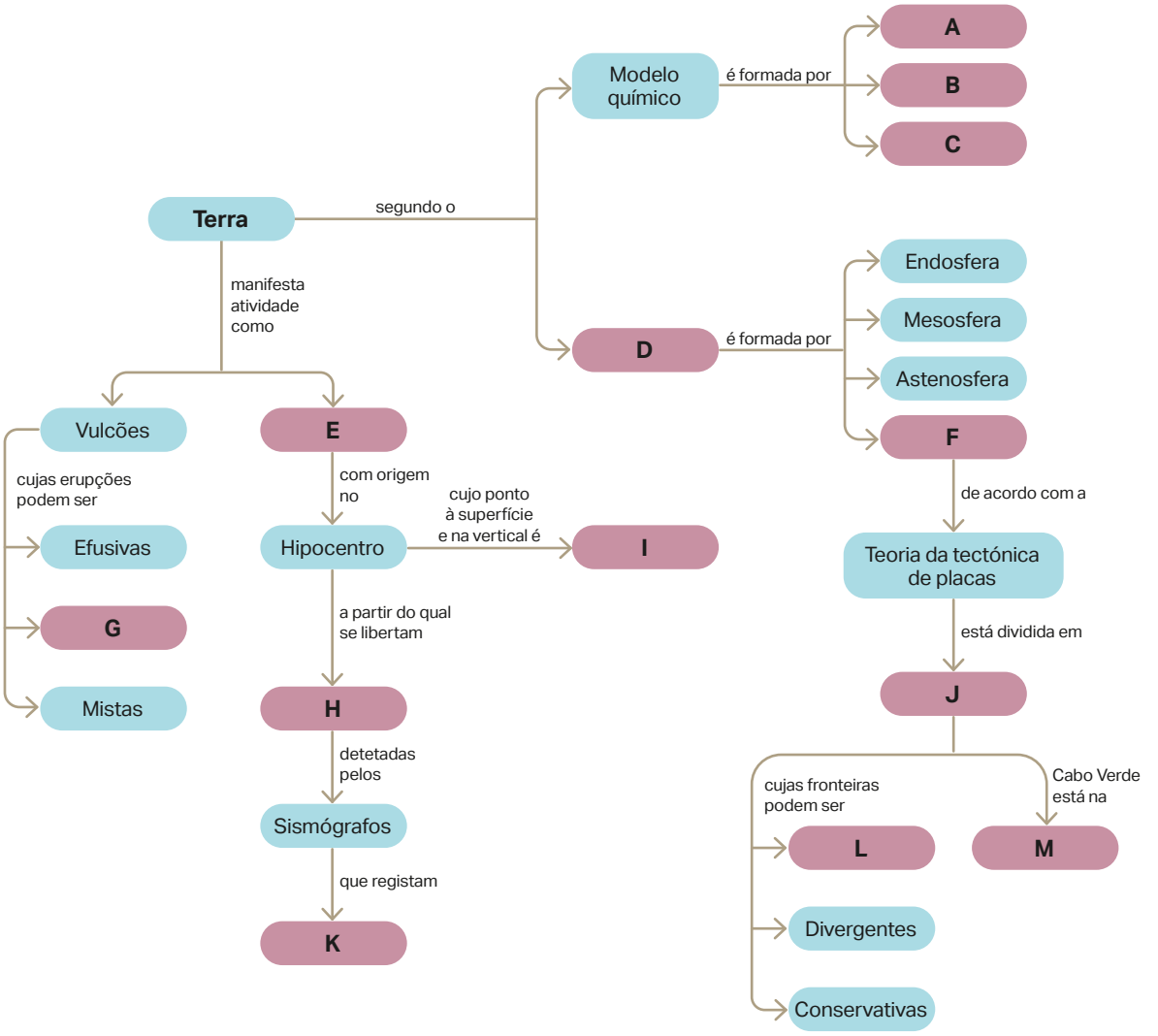
2.1. Define o conceito de sismo.

2.2. Explica como se propaga a energia libertada por um sismo.

2.3. Distingue os tipos de ondas sísmicas.

3 **Justifica a afirmação: "Ao analisar o mapa da distribuição mundial dos vulcões e dos sismos, poderemos concluir que a sua distribuição geográfica não ocorre ao acaso."**

4 **Completa o mapa de conceitos com base nas tuas aprendizagens dos anos anteriores, substituindo cada letra pelo termo correto.**



Tema I

Estrutura e dinâmica da geosfera

Subtema 1
Vulcanismo

Subtema 2
Sismologia

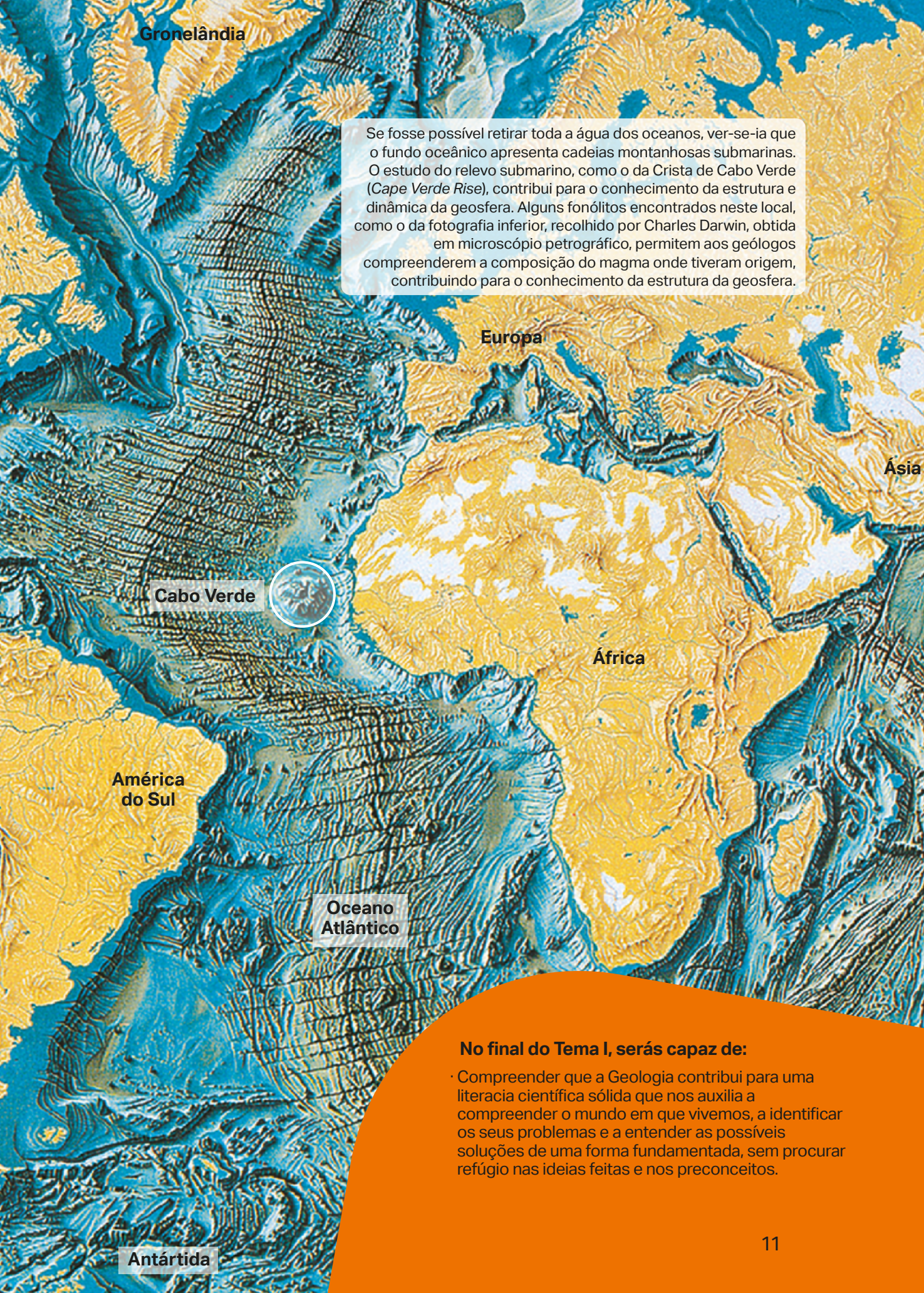
Subtema 3
Estudo da estrutura interna da geosfera

Subtema 4
A teoria da tectónica de placas

América do Norte

Oceano Pacífico

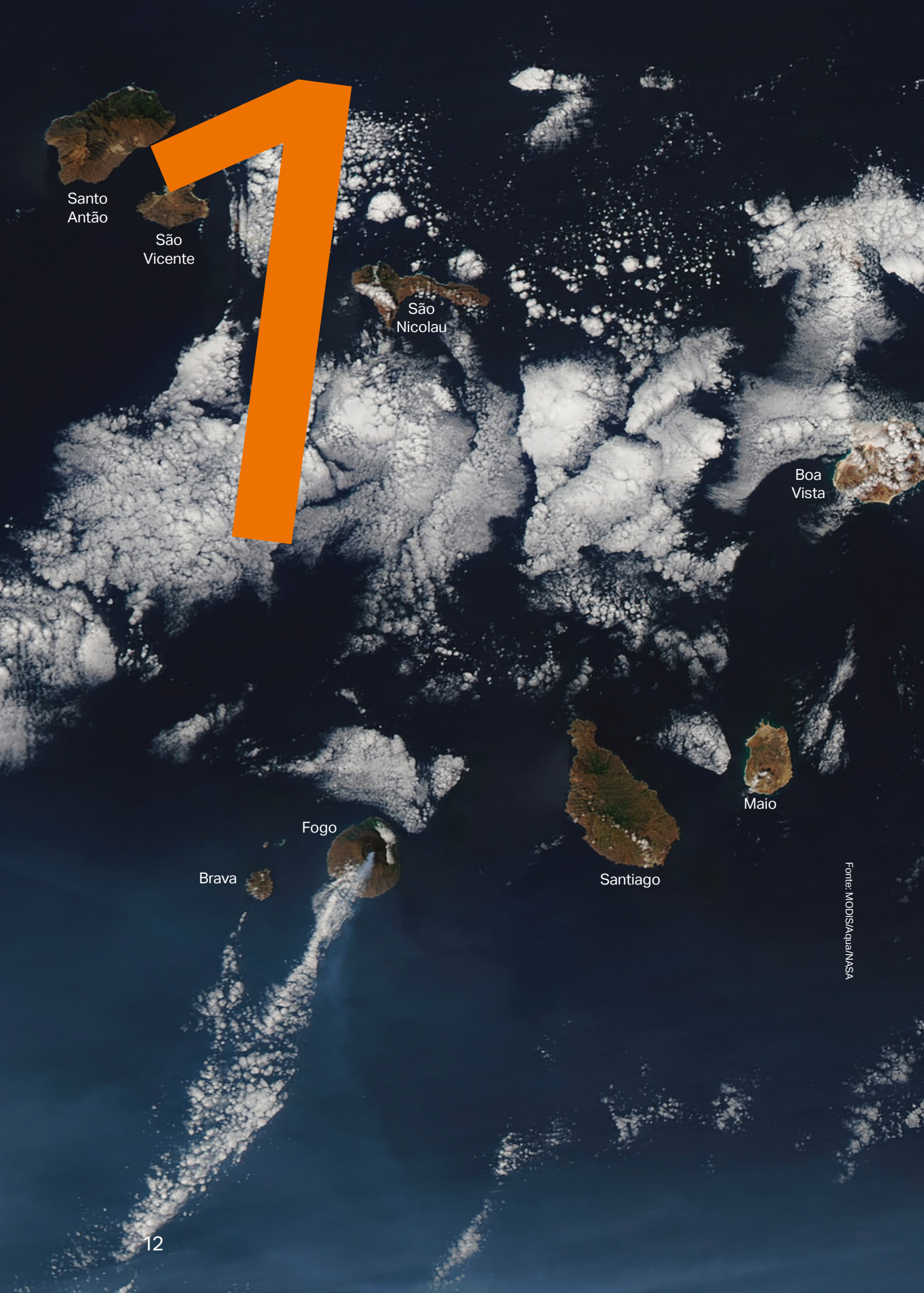
Fonte 2025; Sedgwick Museum of Earth Sciences, University of Cambridge, reproduced with permission



Se fosse possível retirar toda a água dos oceanos, ver-se-ia que o fundo oceânico apresenta cadeias montanhosas submarinas. O estudo do relevo submarino, como o da Crista de Cabo Verde (*Cape Verde Rise*), contribui para o conhecimento da estrutura e dinâmica da geosfera. Alguns fonólitos encontrados neste local, como o da fotografia inferior, recolhido por Charles Darwin, obtida em microscópio petrográfico, permitem aos geólogos compreenderem a composição do magma onde tiveram origem, contribuindo para o conhecimento da estrutura da geosfera.

No final do Tema I, serás capaz de:

- Compreender que a Geologia contribui para uma literacia científica sólida que nos auxilia a compreender o mundo em que vivemos, a identificar os seus problemas e a entender as possíveis soluções de uma forma fundamentada, sem procurar refúgio nas ideias feitas e nos preconceitos.


1
Santo Antão
São Vicente
São Nicolau
Boa Vista
Maio
Fogo
Brava
Santiago
Fonte: MODIS/Aqua/NASA

Vulcanismo

1.1. Origem e classificação do vulcanismo

1.2. Previsão e prevenção de riscos vulcânicos

1.3. Impacto socioeconómico da atividade vulcânica

1.4. Vulcanismo em Cabo Verde

O vulcanismo é uma manifestação do dinamismo interno da Terra. Os vulcões do arquipélago de Cabo Verde, devido ao contexto geológico onde se localizam, constituem verdadeiros "laboratórios" para investigadores cabo-verdianos e mundiais, fornecendo informações sobre os processos que ocorrem no interior da geosfera. Na erupção do dia 23 de novembro de 2014, o vulcão do Fogo emitiu uma nuvem eruptiva visível do Espaço.

1.1. Origem e classificação do vulcanismo

O **vulcanismo** é um conjunto de processos relacionados com a libertação para a superfície da litosfera de materiais sólidos, líquidos e gasosos provenientes do magma. Designa-se por vulcanismo subaéreo e vulcanismo submarino se esta libertação ocorre, respetivamente, acima ou abaixo do nível de água do mar.

O estudo histórico da atividade vulcânica tem por referência o Holoceno – a mais recente época geológica da Era Cenozoica, que abrange, aproximadamente, os últimos 11 700 anos da história da Terra. Assim, podem distinguir-se dois tipos de vulcanismo. O **vulcanismo ativo** engloba os vulcões em erupção atualmente e com potencial para entrar em erupção, incluindo os que tiveram atividade no Holoceno. O **vulcanismo inativo** engloba os vulcões que não tiveram atividade durante o Holoceno.

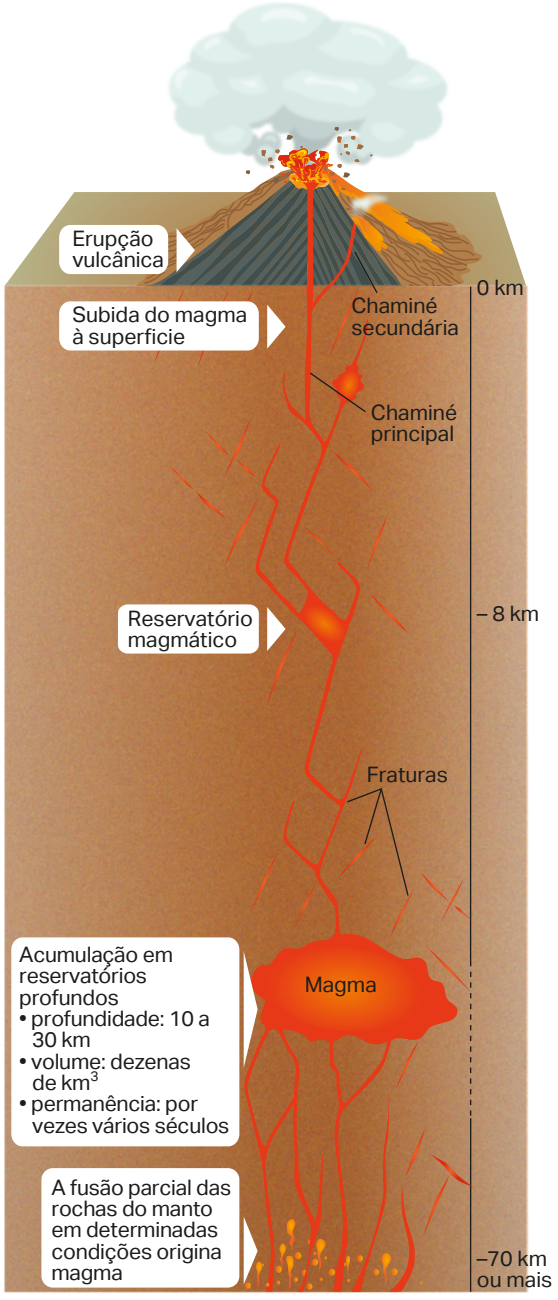


Fig. 1 Ascensão do magma e erupção de materiais vulcânicos.

O **magma** é uma mistura rochosa que pode estar total ou parcialmente fundida, a altas temperaturas, na ordem dos 1300 ºC, localizado na litosfera ou sob esta, na astenosfera. Pelo facto de serem maioritariamente líquidos, os magmas possuem menor densidade do que as rochas que os circundam e podem ascender, abrindo caminho por entre as rochas da litosfera, provocando a sua fusão, e acumularem-se em **câmaras magmáticas**. Esta acumulação faz com que o magma, por vezes, abra caminho até à superfície, perdendo gases e transformando-se em lava. A **lava** corresponde ao magma desgaseificado e alterado durante a ascensão a partir da câmara magmática.

Consideram-se dois tipos principais de vulcanismo, consoante as manifestações vulcânicas que apresentam: primário e secundário. O **vulcanismo primário** caracteriza-se pela ocorrência de erupções vulcânicas. O **vulcanismo secundário** ou residual inclui as manifestações não eruptivas, como nascentes termais, géiseres e fumarolas.

Vulcanismo primário

O vulcanismo primário pode ser central ou fissural, de acordo com o tipo de conduta por onde são emitidos os materiais vulcânicos.

No **vulcanismo central**, forma-se uma conduta tubular, a **chaminé**, por onde ascendem os materiais vulcânicos. Estes, ao acumularem-se na superfície, originam uma estrutura cónica, o **cone principal**. Frequentemente, a parte superior da chaminé termina numa depressão afunilada, no topo do cone vulcânico, a **cratera**, por onde os materiais são expelidos. Nos flancos do cone principal abrem-se, por vezes, crateras secundárias ou adventícias, ao redor das quais se acumulam materiais, originando **cones secundários** ou adventícios. O edifício vulcânico do vulcanismo central denomina-se **vulcão**.

O edifício vulcânico de um **vulcão submarino** pode crescer e ultrapassar o nível da água do mar, formando ilhas vulcânicas, como as do **arquipélago de Cabo Verde**.

No **vulcanismo fissural**, a lava sai através de fraturas ou fendas que se podem estender por vários metros ou quilómetros. As erupções fissurais estão, geralmente, associadas a magmas basálticos. Quando ocorrem à superfície dos continentes, a lava espalha-se e forma planaltos basálticos. Quando são submarinas, formam os basaltos dos fundos oceânicos.

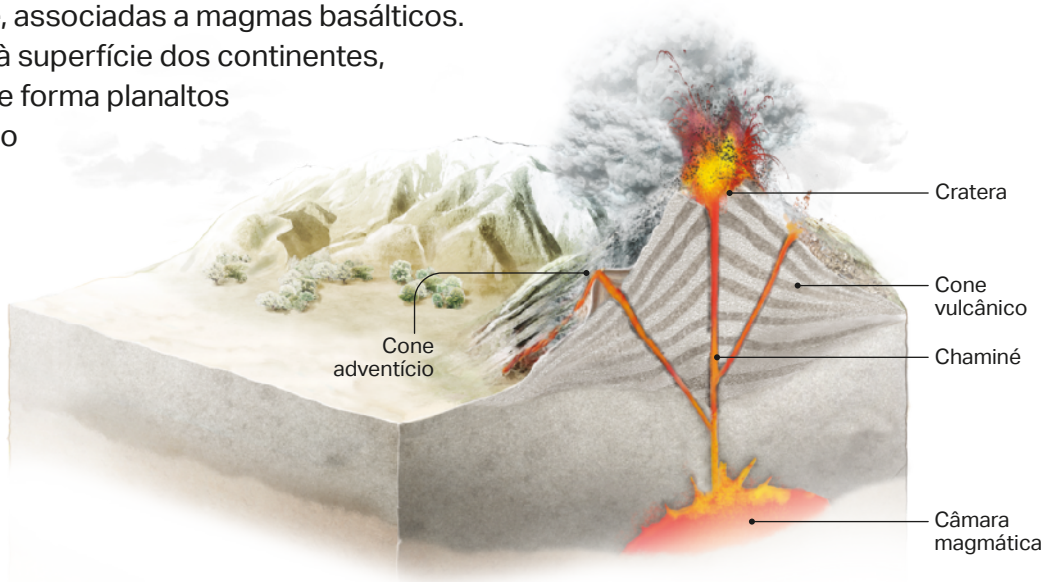


Fig. 2 Vulcanismo central: estrutura geral de um vulcão.

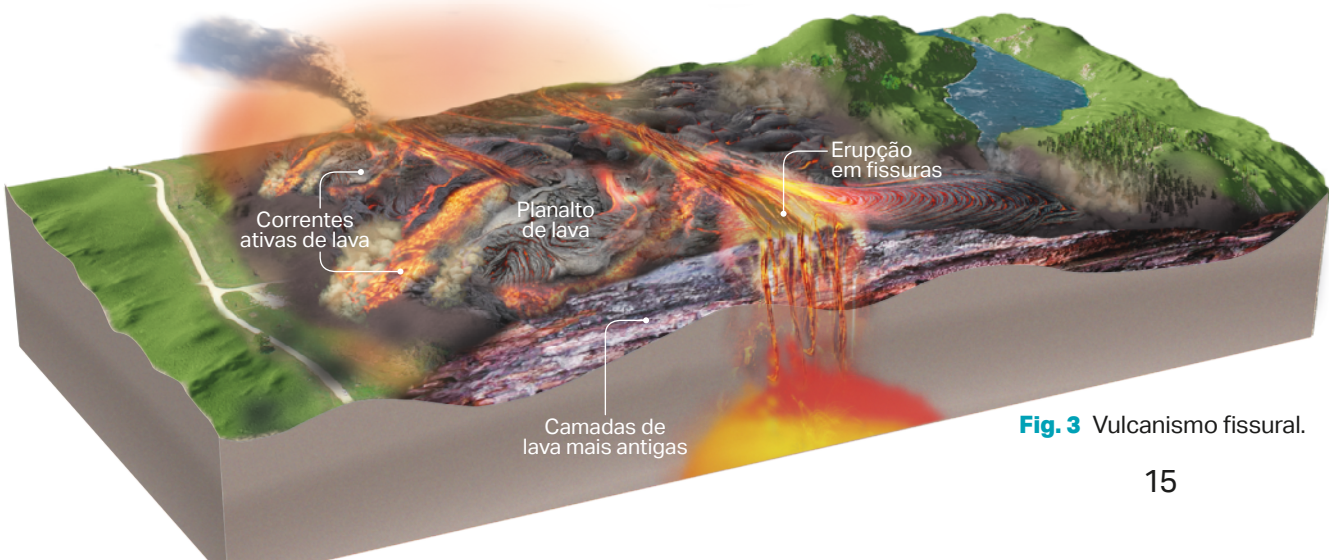


Fig. 3 Vulcanismo fissural.

Após certas erupções, em que grande quantidade de materiais é rapidamente expelida, fica um vazio na câmara magmática, formando-se uma caldeira no topo do vulcão. A **caldeira** resulta do afundimento da parte central do vulcão. A presença de fraturas e o peso do cone vulcânico provocam o colapso do teto da câmara magmática, resultando no seu afundimento.

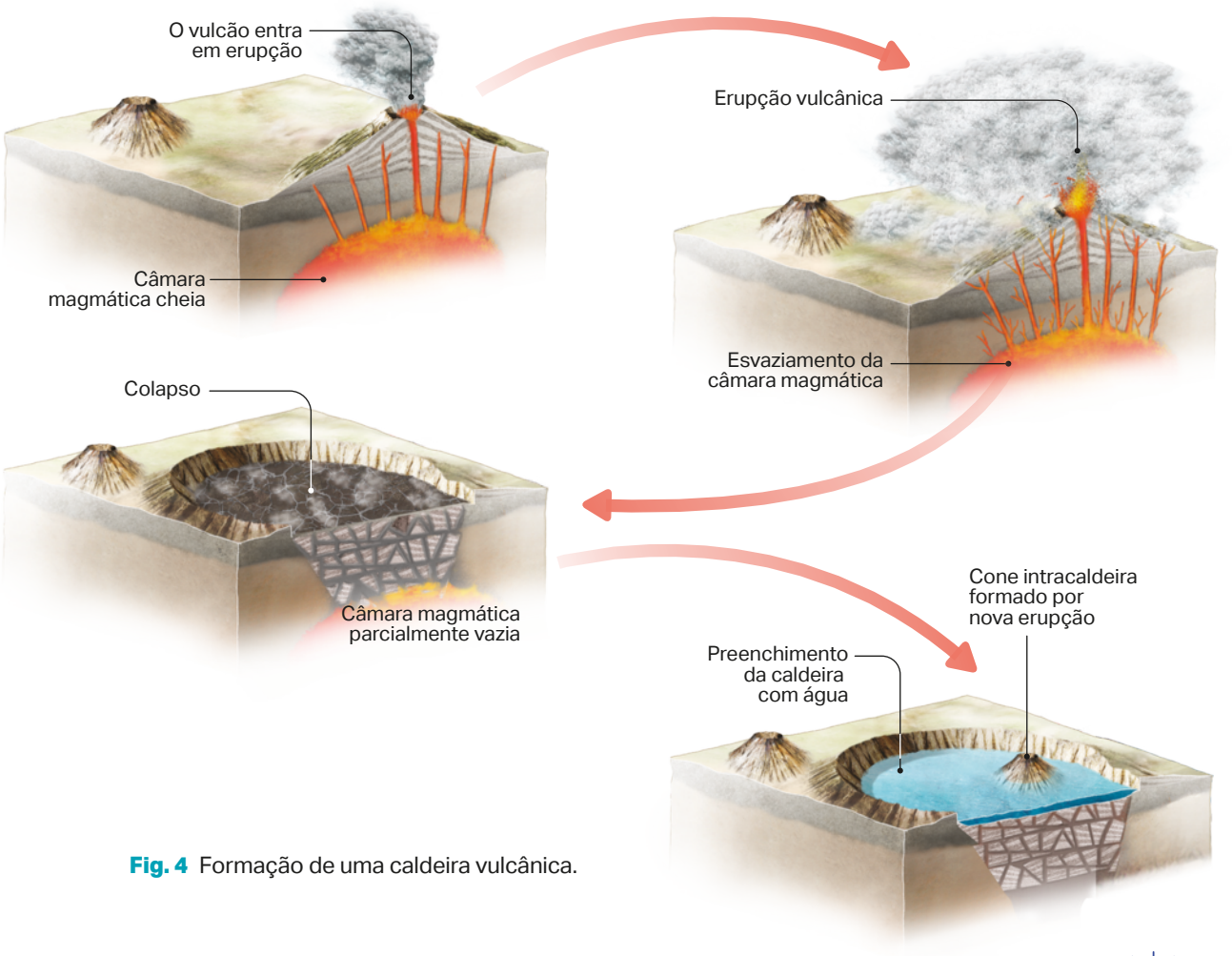


Fig. 4 Formação de uma caldeira vulcânica.

Aprende mais

As **caldeiras vulcânicas** têm uma forma grosseiramente circular, paredes íngremes e têm de possuir, no mínimo, um quilómetro de diâmetro. Nestas depressões, em regiões com elevada pluviosidade, ficam retidas águas das chuvas.

Cova do Paul, ilha de Santo Antão

Lagoa das Furnas, ilha de São Miguel, Açores

Materiais emitidos numa erupção vulcânica

Os **materiais emitidos numa erupção vulcânica** são lava, piroclastos e gases. Os **piroclastos** são produtos eruptivos sólidos e podem ser classificados, de acordo com o seu tamanho e forma, em cinzas, *lapilli*, bombas e blocos.

Piroclastos (mm)	Descrição
Cinzas finas (< 0,06)	Materiais mais finos. Podem ser facilmente transportados a grande distância, pelo vento.
Cinzas (0,06 a 2)	Partículas muito finas. Podem ser facilmente transportadas a grande distância, pelo vento.
Lapilli (2 a 64)	Fragmentos irregulares, se expelidos sólidos, ou arredondados, se solidificarem no ar.
Bombas (> 64)	Fragmentos que solidificam ao voltearem no ar, ficando com forma arredondada.
Blocos (> 64)	Fragmentos expelidos no estado sólido, geralmente irregulares.

Tab. 1 Classificação de materiais sólidos expelidos pelos vulcões.

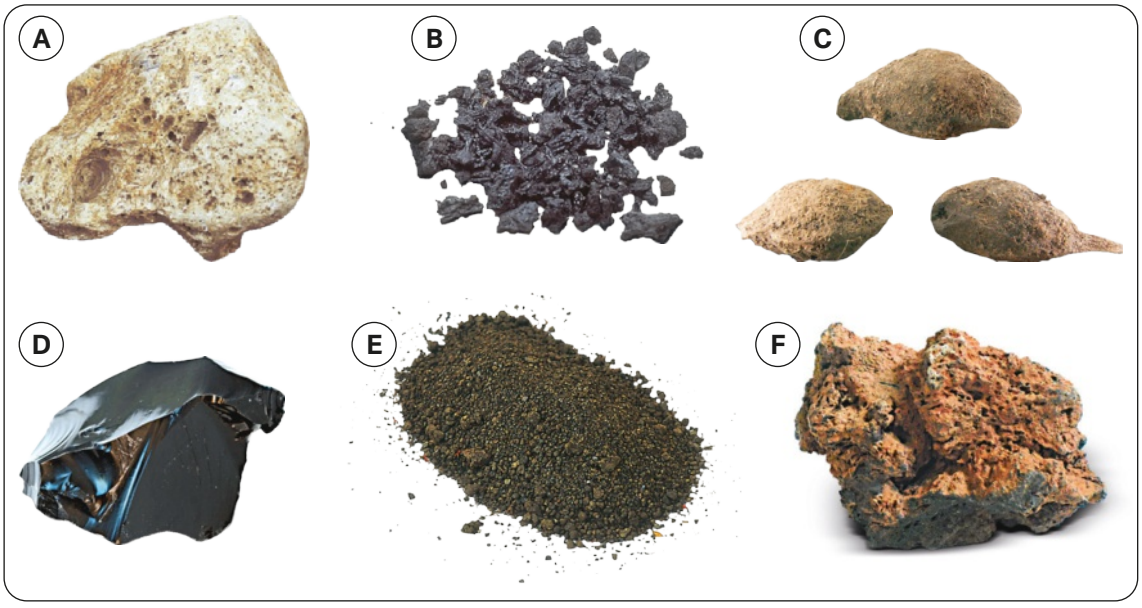


Fig. 5 Amostras de mão de alguns materiais vulcânicos sólidos: A – Pedra-pomes; B – I; C – II; D – Vidro vulcânico; E – III; F – Escória.

Responde tu

1. Distingue os materiais vulcânicos sólidos da figura 5, associando aos número I, II e III da legenda, a designação respetiva da tabela 1.
2. Faz uma pesquisa e descreve a constituição dos materiais A, D e F da figura 5.

A **lava** é o material líquido resultante do magma que perdeu gases durante a sua subida. Assim, tal como os magmas, as lavas podem ser classificadas de acordo com o **teor em sílica**: a **lava básica** provém de um magma basáltico, com 45 a 50% de sílica; a **lava intermédia** provém de um magma andesítico, com 50 a 65% de sílica; a **lava ácida** provém de um magma riolítico, com mais de 65% de sílica.

O teor em sílica e em gases e a temperatura conferem diferente **viscosidade** à lava. A **lava muito viscosa** tem alto teor em sílica e em gases, temperatura entre 800 ºC e 1000 ºC e retém gases, tendo dificuldade em os libertar. A **lava pouco viscosa** tem baixo teor em sílica e em gases, temperatura da ordem de 1300 ºC e liberta os gases facilmente.

Os **gases** emitidos numa erupção são o vapor de água, que predomina, o dióxido de carbono, o monóxido de carbono, o hidrogénio, o cloro e o dióxido de enxofre, por exemplo. Alguns destes gases reagem com a água e dão origem a ácidos clorídrico e sulfúrico. Também podem originar aerossóis que refletem a luz solar, contribuindo para as alterações climáticas.

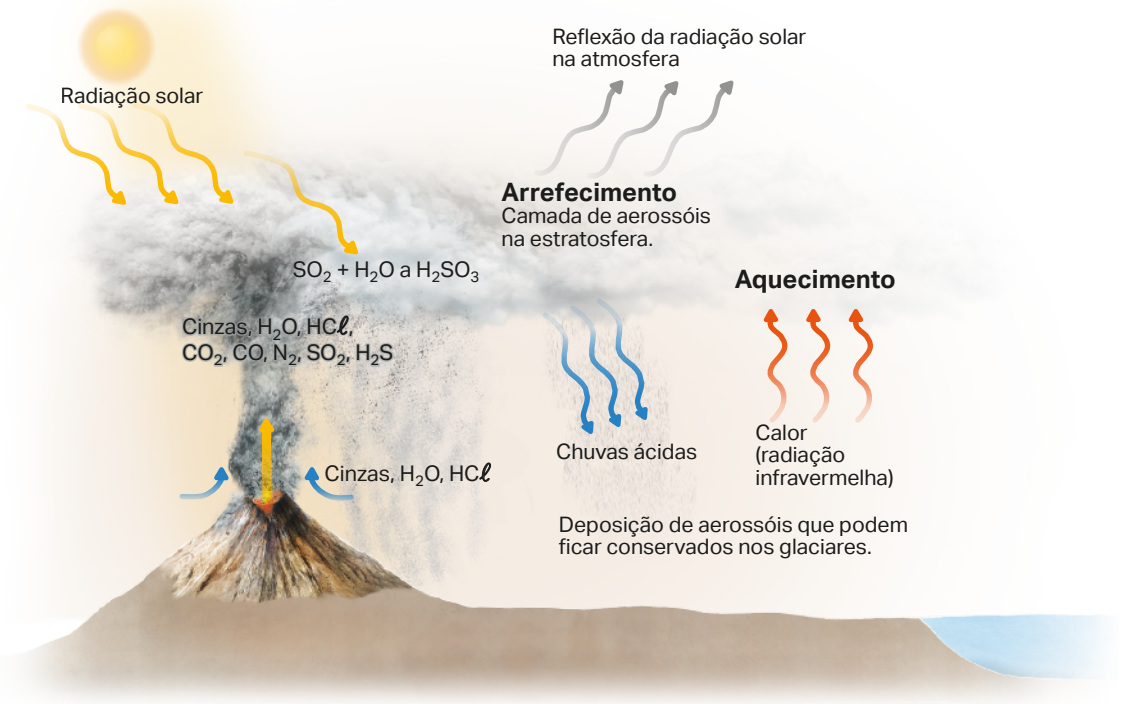


Fig. 6 Alguns efeitos da emissão de gases e cinzas.

Aprende mais

Um **fluido** é uma substância que toma facilmente a forma do recipiente que a contém, devido à mobilidade das suas moléculas que podem deslizar umas sobre as outras, no caso dos líquidos, ou deslocar-se autonomamente, no caso dos gases.

A **viscosidade** é uma propriedade dos fluidos que se traduz por oferecerem resistência ao escoamento. Nos líquidos, a viscosidade diminui quando a temperatura aumenta, mas nos gases aumenta com o aumento da temperatura. Se dissolveres uma colher de açúcar em água, obténs um fluido pouco viscoso, mas se aqueceres a mistura até ao ponto de caramelo, obténs um fluido muito viscoso.

Tipos de atividade vulcânica

As erupções vulcânicas manifestam-se de diferentes modos em tempos diferentes e, durante a mesma erupção, podem existir períodos com atividades diferentes: efusiva, explosiva e mista.

Na **atividade efusiva** a lava é, normalmente, básica e pouco viscosa, os gases libertam-se facilmente e a erupção é calma. O cone vulcânico lávico, quando existe, é baixo, e a lava escorre, estendendo-se por longas distâncias formando **escoadas de lava** ou correntes de lava. Quando a lava arrefece, solidifica com diferentes formas. As **lavas encordoadas** ou ***pahoehoe*** têm superfícies lisas ou semelhantes a cordas. As **lavas escoriáceas** ou ***aa*** têm superfícies irregulares e com ângulos.

Fig. 7 Atividade efusiva no Havai: A – Escoada de lava; B – Lava *pahoehoe*; C – Lava *aa*.

Em Cabo Verde, e noutros locais onde existem erupções submarinas, formam-se **lavas em almofada**. A lava é expelida e a sua parte superficial, em contacto com a água, solidifica muito mais rapidamente do que a lava interior, que permanece líquida, fazendo pressão sobre a lava sólida e partindo-a, dando origem a mais bolsas de lava que ficam com um aspeto de almofadas sobrepostas umas sobre as outras no fundo oceânico.

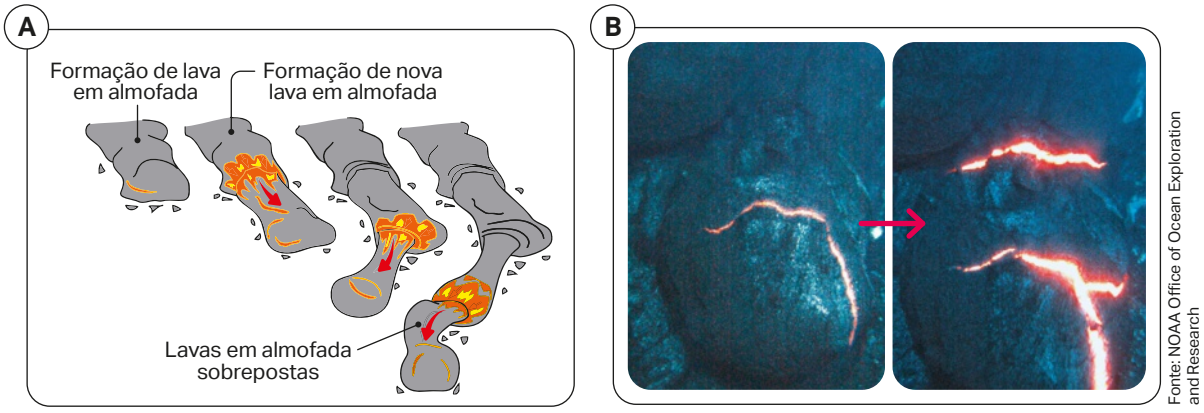


Fig. 8 A – Esquema de formação de lavas em almofada; B – Formação de lavas em almofada no Havai.

Na **atividade explosiva**, a lava é, maioritariamente, ácida e muito viscosa, os gases libertam-se com dificuldade e a erupção é violenta, ocorrendo explosões que podem destruir o cone vulcânico, essencialmente piroclástico, alto e com grande declive. Em certas erupções explosivas, por vezes, não há derrame de lava, solidificando esta no topo da chaminé, formando uma **agulha vulcânica**, ou no interior da cratera, formando uma cúpula ou **domo vulcânico**. Nas erupções mais explosivas os piroclastos são projetados a grande velocidade e distância, podendo formar uma **nuvem ardente** que desce a vertente do cone, podendo atingir 100 km/h, destruindo tudo no seu trajeto.

Na **atividade mista**, as erupções podem ser alternadamente efusivas e explosivas. A viscosidade da lava varia de pouco a muito viscosa e o cone tem camadas alternadas de piroclastos e de lava.

Fig. 9 O Pico Cão Grande, na ilha de São Tomé, é uma agulha vulcânica fonolítica, visível após erosão do cone vulcânico.

Fig. 10 Nuvem ardente numa erupção na Indonésia.

Fig. 11 O Monte Etna, em Itália, tem erupções explosivas (A) e efusivas (B).

Responde tu

1. **Distingue os tipos de atividade vulcânica.**
2. **Descreve a formação de lavas em almofada.**
3. **Apresenta um exemplo de locais em Cabo Verde onde podem ser observadas lavas:**

   3.1. escoriáceas; **3.2.** encordoadas; **3.3.** em almofada.

Vulcanismo secundário

O **vulcanismo secundário** ou **vulcanismo residual** inclui as manifestações não eruptivas, como nascentes termais, géiseres e fumarolas. Estas expressões de vulcanismo podem acontecer após o vulcanismo primário ter terminado e resultam do calor emitido pelo magma que aquece as rochas sobrejacentes e a água subterrânea, emitindo à superfície gases e água quentes.

As **nascentes termais** são fontes de água quente subterrânea que emergem à superfície, muitas vezes com temperaturas elevadas, devido ao calor geotérmico ou processos vulcânicos, e muito mineralizadas, por dissolverem minerais no seu percurso.

Os **géiseres** são repuxos intermitentes de água e vapor de água, libertados à superfície mais ou menos regularmente. A água superficial que se infiltra pode ficar acumulada em depósitos subterrâneos, nos quais é superaquecida, uma parte dessa água líquida ferve e passa ao estado gasoso, aumentando a pressão no depósito. O vapor de água ascende, arrastando água líquida, e surge à superfície como um jato, esvaziando o depósito que volta a encher, e o processo repete-se ciclicamente.

As **fumarolas** são emissões de vapor de água ou misturas com outros gases e resultam da água infiltrada e aquecida até ferver. Designam-se por **mofetas** quando as emissões contêm dióxido ou monóxido de carbono, e por **sulfataras** quando emitem gases ricos em enxofre.

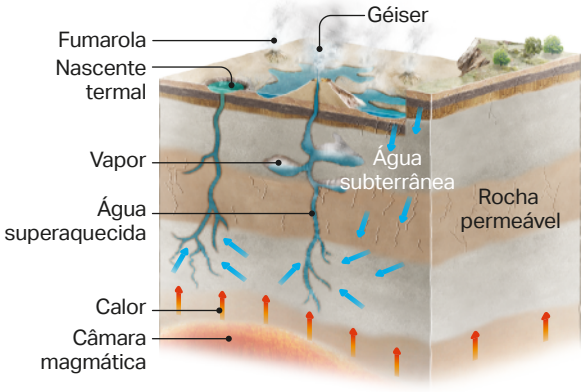


Fig. 12 Manifestações de vulcanismo secundário.

Fig. 13 O Old Faithful, géiser em Yellowstone, EUA, emite regularmente jatos com 32-56 m.

Fig. 14 Nascente termal e mofeta na Islândia.

Fig. 15 Sulfata em Kamchatka, Rússia.

Zonas de vulcanismo na Terra

A distribuição da atividade vulcânica na Terra não é uniforme. Está relacionada com as placas litosféricas, incidindo principalmente nas zonas de fronteira entre as placas. No **vulcanismo interplaca**, a grande maioria dos vulcões situa-se em fronteiras onde as placas convergem, seguindo-se os localizados em zonas onde as placas divergem, como é o caso do **Anel de Fogo** do Pacífico. No **vulcanismo intraplaca** os vulcões, como os de Cabo Verde, localizam-se no interior de placas litosféricas, estando geralmente associados a pontos quentes ou *hotspots*.

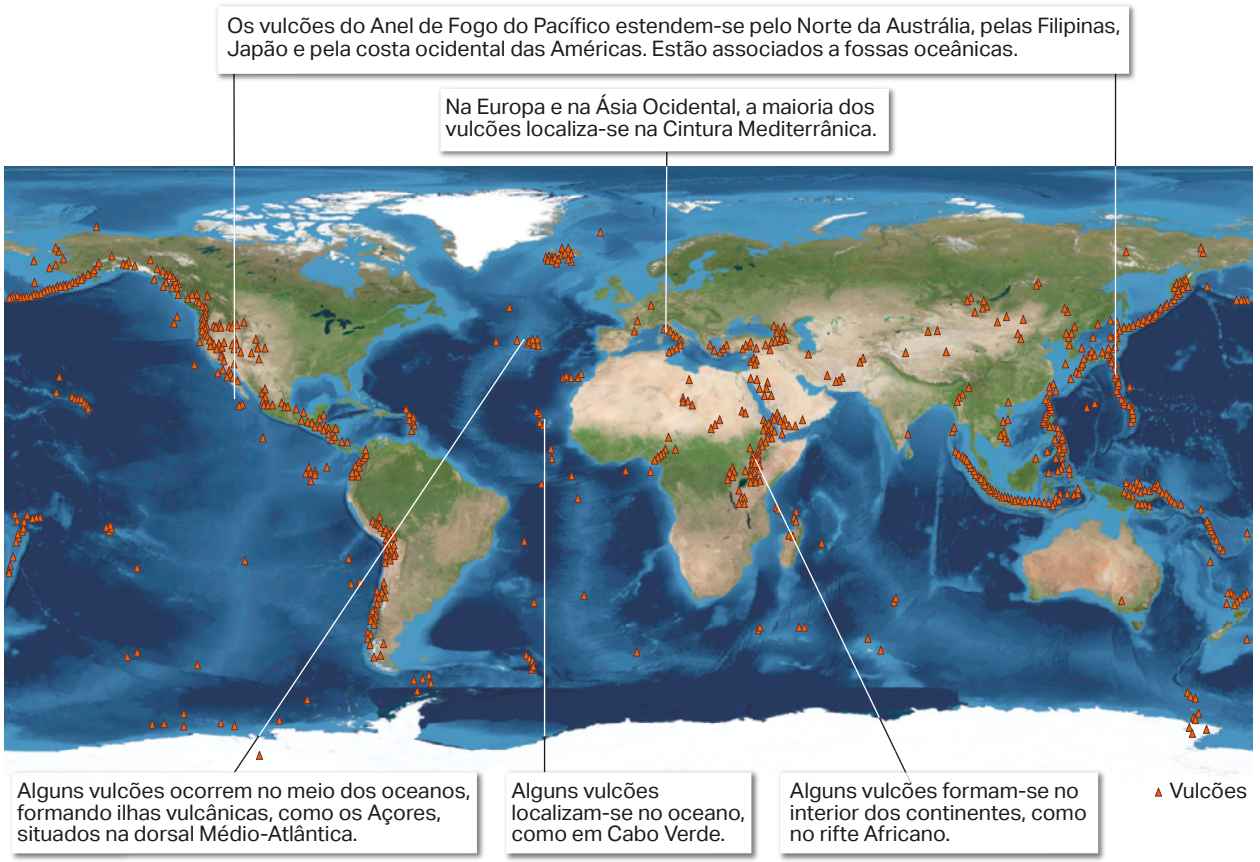


Fig. 16 Zonas da Terra com maior frequência de atividade vulcânica.

Responde tu

1. **Distingue vulcanismo interplaca de vulcanismo intraplaca.**
2. **Localiza no planisfério da figura 16:**
   - **2.1.** as principais zonas de atividade vulcânica;
   - **2.2.** o arquipélago de Cabo Verde.

1.2. Previsão e prevenção de riscos vulcânicos

A intensa atividade do sistema Terra desencadeia catástrofes naturais, como as erupções vulcânicas, situações de perigo que podem colocar em risco as populações humanas. Numa situação de **perigo**, que não pode ser evitado nem controlado, a existência ou integridade das pessoas encontra-se ameaçada. Numa situação de **risco**, existe a probabilidade de as pessoas ficarem ou não expostas ao perigo. A ocorrência de uma erupção representa o perigo vulcânico que, geralmente, muda de acordo com o tipo de atividade vulcânica. São exemplos de **perigos vulcânicos** as escoadas lávicas, a queda de piroclastos, os fluxos piroclásticos, a emissão de gases, as nuvens ardentes, os sismos, os *tsunamis* e os ***lahars*** – torrentes de lama com materiais vulcânicos que se deslocam ao longo da encosta do vulcão, de modo semelhante a uma avalanche. Estes perigos vulcânicos podem conduzir a **riscos vulcânicos**, caso existam danos em pessoas e bens a eles expostos. Por exemplo, em caso de ocorrer uma erupção vulcânica, o risco vulcânico é igual ao perigo vulcânico multiplicado pela exposição a este perigo vulcânico. O risco vulcânico é nulo se não existirem pessoas e bens nas regiões vulcânicas, ou seja, o perigo vulcânico existe, mas o risco não. O risco vulcânico é reduzido se as pessoas viverem longe dos vulcões.

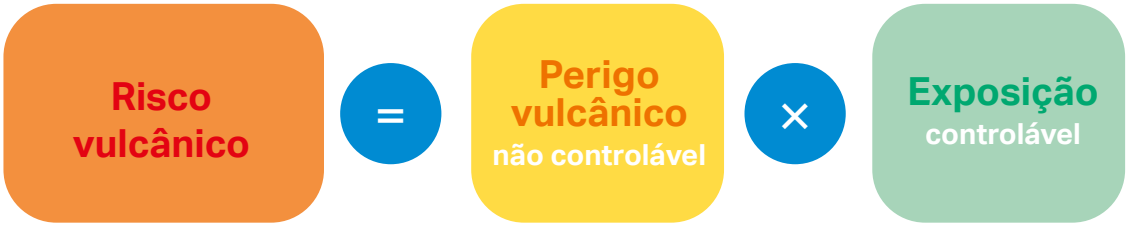


Fig. 17 Conceito de risco vulcânico.

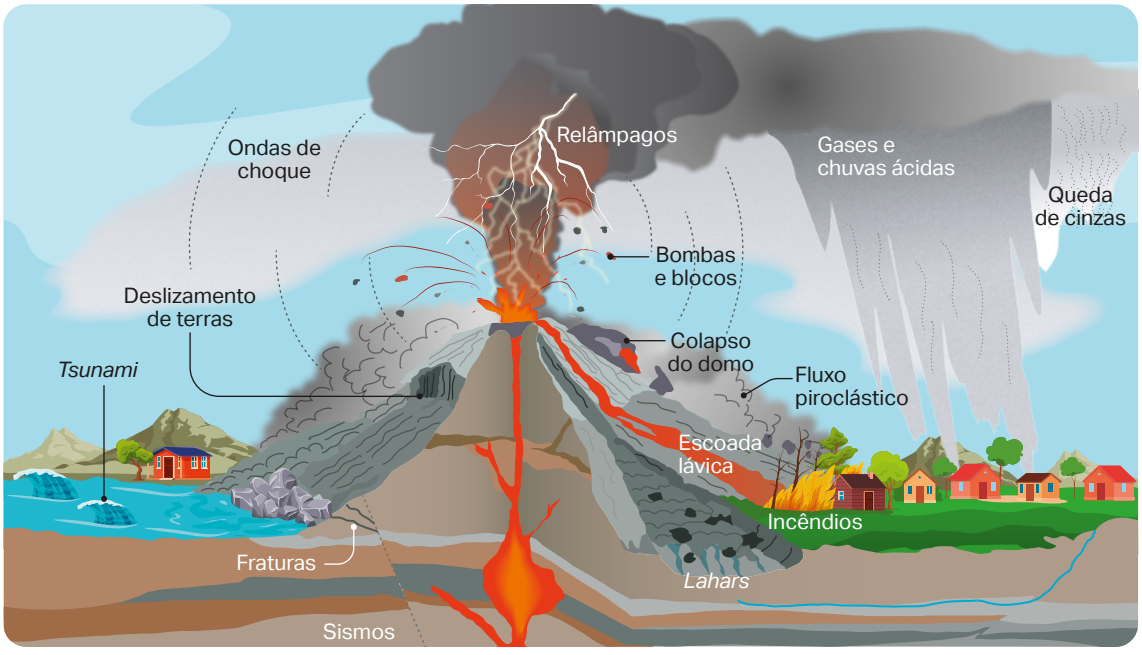


Fig. 18 Exemplos de perigos vulcânicos.

O conhecimento dos riscos vulcânicos contribuem para o desenvolvimento de métodos e medidas de **previsão**, **mitigação** e **minimização de riscos** associados aos episódios de vulcanismo. A **ciência** e a **tecnologia** investigam e desenvolvem instrumentos para monitorizar o vulcão e prever a ocorrência de uma erupção vulcânica. Com os dados, os cientistas e técnicos definem **zonas de riscos vulcânicos** – áreas de maior perigo vulcânico e de ameaças associadas a erupções. Em seguida, com vista a mitigar o risco, são elaboradas **cartas de riscos vulcânicos** – mapas que informam as populações sobre as zonas de ocorrência de manifestações vulcânicas perigosas, a partir dos quais se elaboram **planos de evacuação** das populações e de **ordenamento do território**. Finalmente, as pessoas devem minimizar o risco, adotando **medidas de proteção** em caso de erupção vulcânica.

Fig. 19 Monitorização da atividade vulcânica.

Usar óculos para proteger os olhos das cinzas.

Usar máscara para evitar inalar fumos e poeiras.

Usar capacete para proteger a cabeça da queda dos piroclastos maiores.

Usar vestuário que cubra o mais possível todo o corpo, como calças compridas, camisas de manga comprida, luvas e botas.

Fig. 20 Algumas medidas de proteção das pessoas durante a atividade vulcânica.

1.3. Impacto socioeconómico da atividade vulcânica

Os **impactos socioeconómicos negativos** da atividade vulcânica estão relacionados com o tipo de perigo vulcânico. As escoadas lávicas e as projeções de piroclastos podem destruir edifícios, terrenos cultivados e estradas, levando ao corte de vias de comunicação, e, no caso das cinzas vulcânicas, pode levar ao encerramento de aeroportos. Os sismos de origem vulcânica podem fazer colapsar os edifícios sem construção antissísmica e os *tsunamis* podem destruir as zonas litorais, nomeadamente em regiões sem ordenamento do território.

Apesar da destruição provocada por certas erupções, são numerosos os **impactos socioeconómicos positivos** da atividade vulcânica, como na agricultura, turismo, geotermia, construção civil e exploração mineira. A maioria dos solos vulcânicos são muito férteis e as paisagens vulcânicas são espetaculares, atraindo muitos turistas que contribuem com benefícios económicos. O calor emanado pelas rochas vulcânicas pode aquecer água para utilização sanitária, em estufas e em centrais geotérmicas. As rochas e outros produtos vulcânicos são usados como materiais de construção de edifícios e vias de comunicação. Muitas zonas vulcânicas são locais de exploração mineira e os vulcões submarinos têm grande atividade hidrotermal com depósito de minerais de cobre, zinco e chumbo, por exemplo. Alguns depósitos de piroclastos e rochas vulcânicas podem ser utilizados em tratamentos de fisioterapia. As nascentes termais podem ser utilizadas para terapias e lazer.

Fig. 21 Benefícios do vulcanismo: A – Solos férteis, Açores; B – Nascente termal, Islândia; C – Central geotérmica, El Salvador; D – Mineração de enxofre, Indonésia.

1.4. Vulcanismo em Cabo Verde

O arquipélago de Cabo Verde fica situado num contexto tectónico de intraplaca e, segundo muitos cientistas, a sua origem parece decorrer de um mecanismo de ponto quente ou *hotspot*. Os **pontos quentes** são locais à superfície da crosta que resultam de uma sequência de processos com início no aquecimento de rochas do manto profundo, perto do núcleo. Os cientistas admitem que os pontos quentes estão relacionados com as **plumas mantélicas** ou plumas térmicas – longas colunas de material quente e pouco denso que ascendem até à base da litosfera. Ao subir, o material da coluna fica sujeito a menor pressão, descomprimindo, o que pode levar à sua fusão e originar o magma alcalino que é a fonte dos processos de vulcanismo dos pontos quentes.

As **rochas vulcânicas de Cabo Verde** resultaram, fundamentalmente, da solidificação de magmas basálticos alcalinos e com baixo teor em sílica. No entanto, ocorrem também rochas resultantes de processos de evolução e diferenciação magmática, como fonólitos e sienitos nefelínicos.

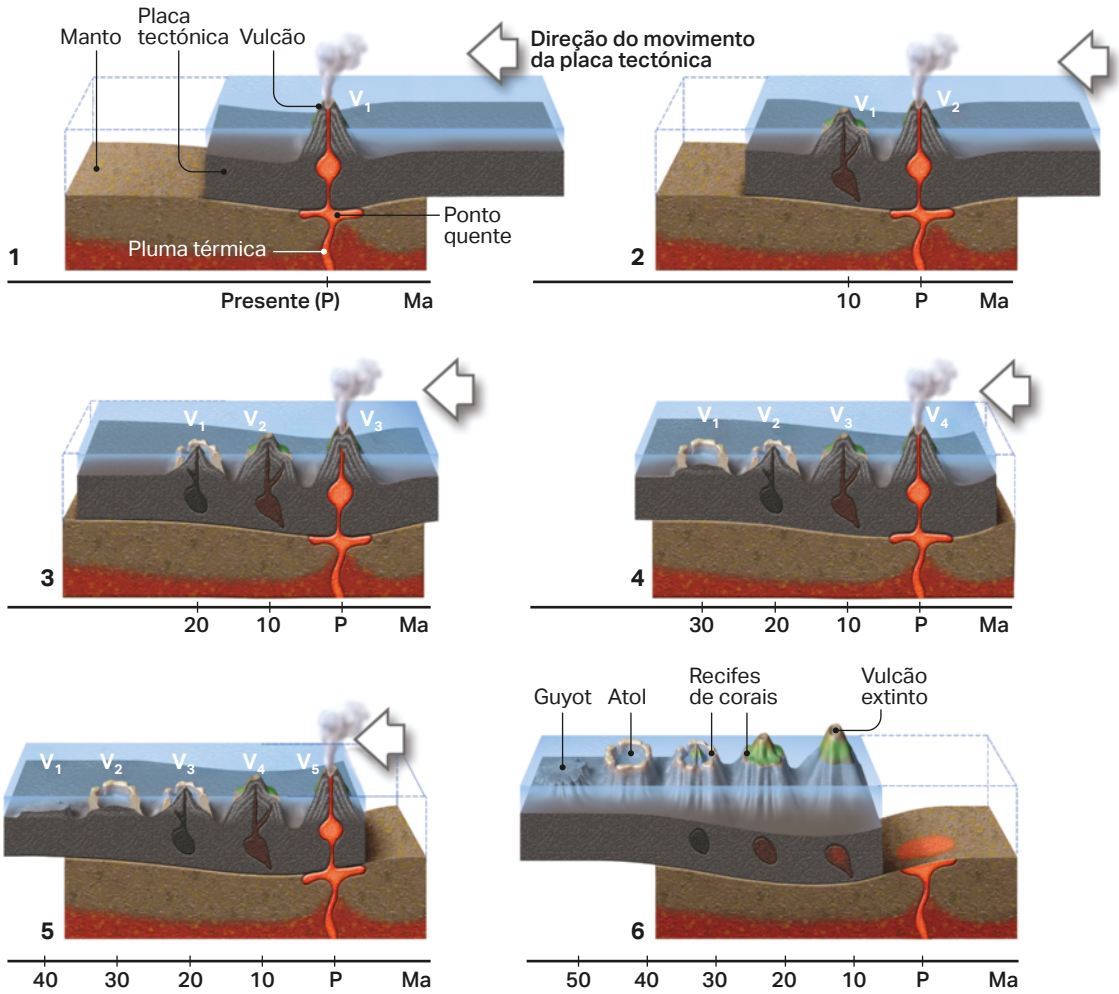
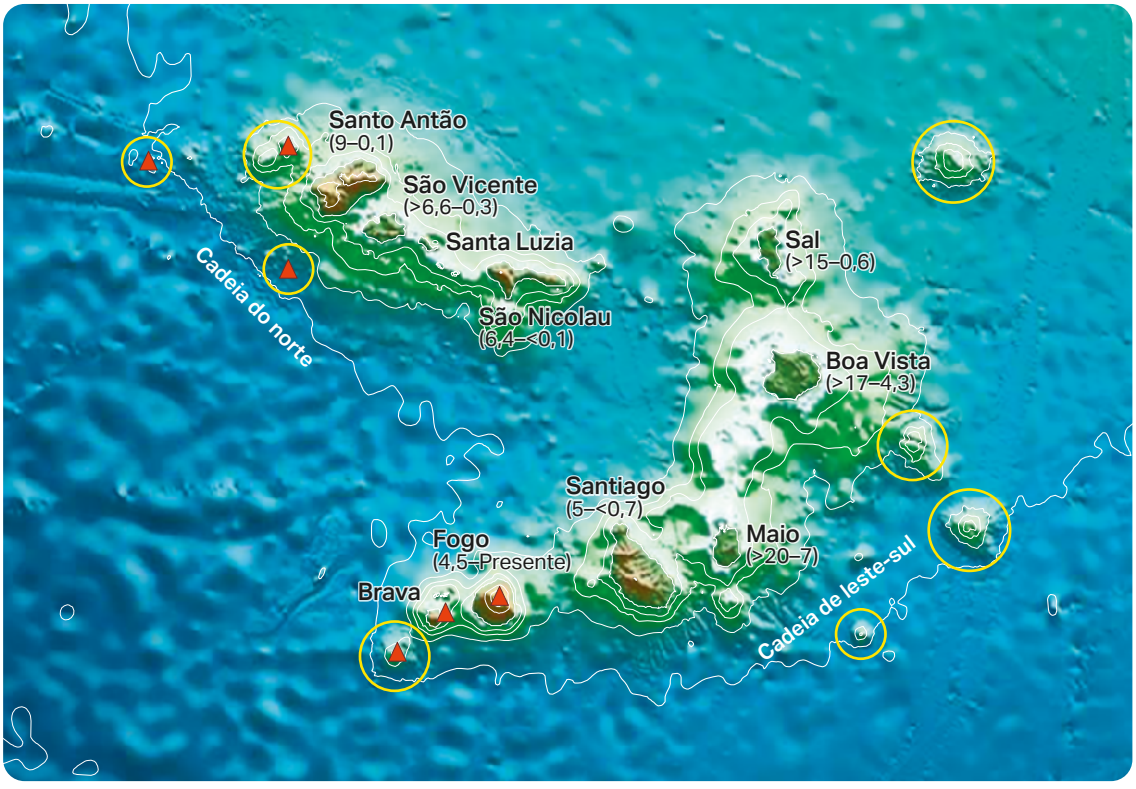


Fig. 22 Modelo explicativo da formação de uma cadeia de vulcões a partir de um ponto quente (Ma – milhões de anos).

Cabo Verde faz parte da **Macaronésia** – região biogeográfica que compreende outros três arquipélagos: Açores, Madeira e Canárias. Todas as ilhas são vulcânicas e mantêm entre si afinidades biológicas, geológicas e humanas, abundando as espécies endémicas. O arquipélago encontra-se na plataforma continental da Placa Africana, a leste do rifte da crista média atlântica, na antiga litosfera oceânica com idade de 115 a 140 milhões de anos. É formado por dez ilhas e vários ilhéus, em forma de ferradura aberta para oeste. A atividade do ponto quente que originou o arquipélago ter-se-á iniciado há cerca de **20 milhões de anos**, resultando num levantamento do fundo oceânico, fazendo parte da **Crista de Cabo Verde**. Na vertical das ilhas a espessura da crosta é grande, atingindo os 22 quilómetros, mas entre elas a espessura é menor e de cerca de 7 quilómetros.

As **ilhas são todas de origem vulcânica**, embora tenham diferentes características geológicas, e podem ser agrupadas com base na coalescência dos seus pedestais submarinos. Vários cientistas consideram o arquipélago de Cabo Verde constituído por duas cadeias: a **cadeia do norte**, que inclui as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia e São Nicolau e os ilhéus Boi, Pássaros, Branco e Raso, e a **cadeia de leste-sul**, que inclui as ilhas de Sal, Boa Vista, Maio, Santiago, Fogo e Brava e os ilhéus Rabo de Junco, Curral do Dadó, Fragata, Chano, Baluarte, Rombo, Secos e de Santa Maria. Além disso, existem vários **montes submarinos** na vizinhança das principais ilhas.



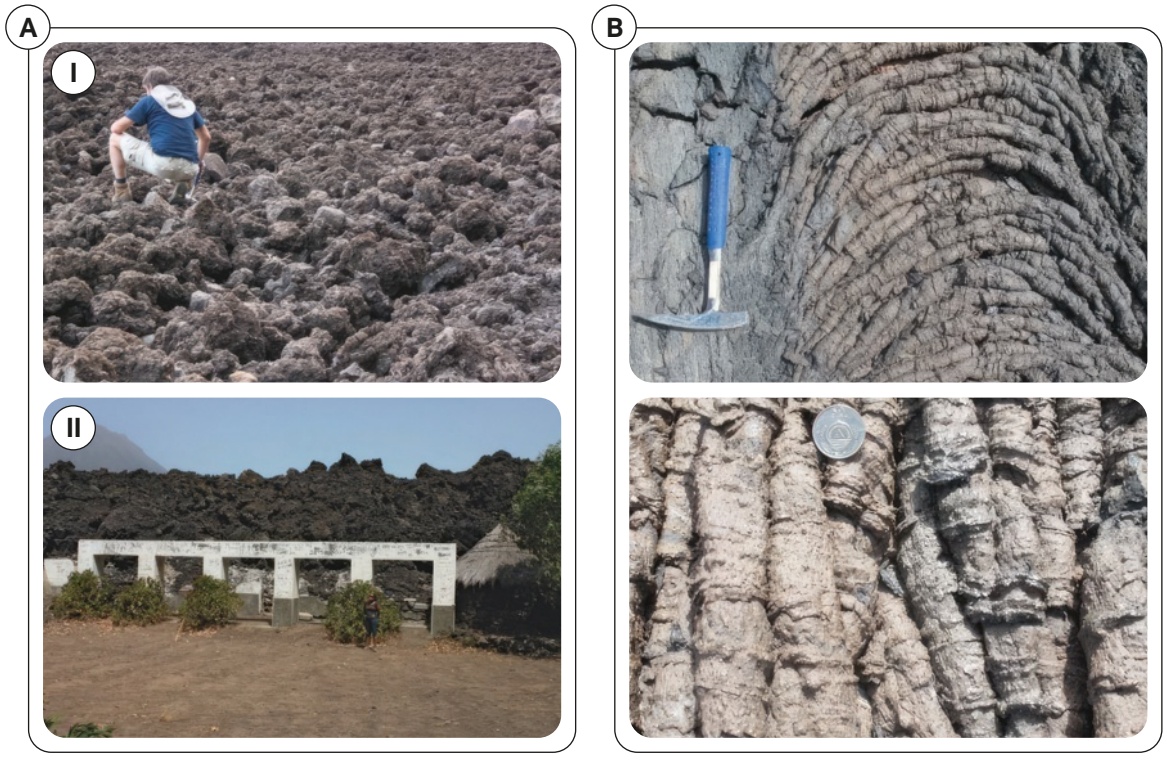
Fonte: Carvalho, Joana. (2020). *Imaging the Cape Verde hotspot structure*. 10.13140/RG.2.2.26072.78086

Fig. 23 Ilhas e montes submarinos de Cabo Verde. A idade das ilhas (Ma) diminui de este para oeste. Montes submarinos (amarelo) e vulcanismo ativo (vermelho).

De acordo com diversas investigações, as ilhas de Cabo Verde não se formaram ao mesmo tempo nem a atividade vulcânica foi contínua. O vulcanismo terá começado nas ilhas de Sal, Boa Vista e Maio e posteriormente progredido para nordeste e sudoeste. Vários cientistas consideram que o **vulcanismo mais recente** é o das ilhas de Santo Antão, Brava e Fogo, com erupções vulcânicas no Holoceno – a mais recente época geológica da Era Cenozoica, que abrange, aproximadamente, os últimos 11 700 anos da história da Terra.

A **ilha do Fogo** é a única com registo de erupções históricas, e, desde a sua descoberta e povoamento, foram registadas nesta ilha cerca de 30 erupções vulcânicas. A ilha do Fogo tem cerca de 3000 metros de altitude e, desde o fundo oceânico, forma um edifício vulcânico de forma cónica com cerca de 7000 metros de altura que, no seu topo, tem uma imponente caldeira. Desta eleva-se uma segunda estrutura cónica, o vulcão central do **Pico do Fogo**, e vários cones de escórias com escoadas lávicas associadas, quer no interior da caldeira, quer nos flancos do edifício principal.

O estudo geológico da **história eruptiva do vulcão** do Fogo demonstra que as numerosas erupções foram do tipo central e fissural, resultando numa sucessão de escoadas lávicas e piroclastos. As **escoadas lávicas** cobrem a maior parte da ilha e apresentam diferentes estruturas, que resultam, nomeadamente, das propriedades do magma em que tiveram origem e das características da superfície de escoamento. Deste modo, foram identificadas na ilha do Fogo, escoadas de **lava *aa*** e de **lava *pahoehoe***, mantos lávicos submarinos e outros produtos vulcânicos.



Fonte: *Tese Jeremias Alves Cabral, p. 57, 59*

Fig. 24 Escoadas lávicas no Fogo: A – Lava *aa* (I – superfície áspera; II – frente da escoada); B – Lava *pahoehoe*.

Vários trabalhos de cientistas cabo-verdianos descrevem com detalhe e rigor as erupções da ilha do Fogo, relatando os procedimentos de evacuação das populações e as consequências na sua saúde, bem como os avultados prejuízos materiais. As escoadas piroclásticas e os *surges* são **devastadores produtos eruptivos**, e a única medida para minimizar os riscos vulcânicos é a **evacuação** atempada das populações.

Com o objetivo de mitigar os riscos vulcânicos, estão a decorrer em Cabo Verde diversos programas de monitorização que, juntamente com a história eruptiva, permitem elaborar mapas de suscetibilidade, perigosidade e vulnerabilidade e **delimitar as zonas de maior risco**. Cientistas, governo, ONU e serviços de proteção civil, trabalham em conjunto na **promoção do ordenamento do território**, na **elaboração de planos de emergência** e na **educação das populações**, contribuindo para preparar a resposta mais adequada em caso de um evento vulcânico perigoso. No entanto, apesar dos impactos socioeconómicos negativos destes eventos, existem vários **impactos positivos** que contribuem para o desenvolvimento socioeconómico de Cabo Verde, como solos férteis, materiais de construção, paisagens de atração turística, entre outros.

INMG
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA

Fig. 25 O INMG é a entidade responsável pela monitorização sismovulcânica em Cabo Verde.

Fonte: https:www.oto.pt

Fig. 26 Benefícios do vulcanismo em Cabo Verde: A – Solos férteis, hortícolas no mercado da Assomada, na ilha de Santiago; B – Turismo, na ilha de Santo Antão; C – Materiais de construção, Sede do Parque Natural do Fogo, na ilha do Fogo.

Responde tu

1. Comenta a afirmação: "As ilhas do arquipélago de Cabo Verde têm todas a mesma idade geológica."
2. Faz uma pesquisa sobre o termo *surge* e apresenta uma definição. Podes consultar o departamento de Vulcanologia da Universidade de Cabo Verde.

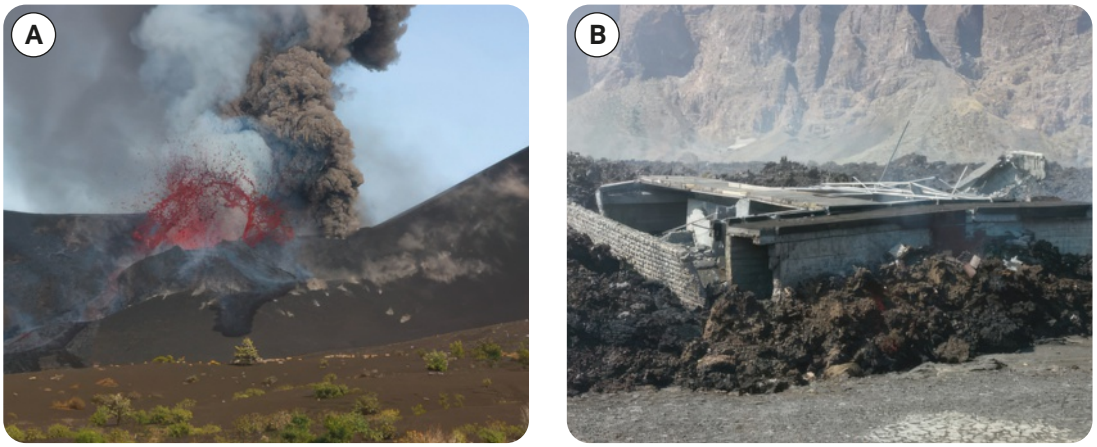
Atividade prática

Erupção do Fogo em 2014

A erupção de 2014 iniciou-se às 9h45 do dia 23 de novembro e foi precedida de alguns sismos de baixa magnitude e intensidade. O evento centrou-se na mesma estrutura que havia sido palco da erupção de 1995, envolveu a produção de escoadas lávicas e colunas eruptivas verticais de cinzas que chegaram a alcançar mais de 5 km. Ao longo dos cerca de dois meses e meio que durou a erupção foi coberta uma área da ordem dos 4,67 km^2 no interior de Chã das Caldeiras.

Esta erupção, tal como as que a antecederam, confirmaram que os principais riscos das escoadas lávicas estão relacionados com o edificado, infraestruturas e a cobertura de terrenos agrícolas, e que se os habitantes das zonas em risco se aperceberem atempadamente do perigo, conseguem deslocar-se para locais seguros a tempo, apesar do avanço rápido que por vezes a frente de lava evidencia. Mas a segurança das pessoas e o seu tempo de reação é muito relativo e está fortemente dependente da localização do(s) foco(s) eruptivo(s) e da morfologia dos terrenos por onde as lavas se propagam. Assim, a existência de um sistema de alerta e aviso pode fazer a diferença entre o escapar ileso e conseguir salvar os seus bens e animais, ou ser-se vítima do fenómeno.

Na erupção de 2014 não se registaram vítimas humanas, tendo apenas perdido a vida alguns animais. Não obstante, o grau de destruição e os prejuízos observados foram muito significativos e Chã das Caldeiras ficou irremediavelmente diferente. As localidades de Bangaeira e Portela praticamente desapareceram, com as escoadas lávicas a contornar, e frequentemente a destruir, habitações e outras estruturas. Para além das questões de monitorização e de proteção civil, o evento de 2014 deveria fazer repensar a política de ordenamento do território em Chã das Caldeiras.



Fonte: *Tese Jeremias Alves Cabral, p. 226, 227*

Fig. 1 Erupção do Fogo, 2014: A – Em primeiro plano, fontes de lava e explosões de grandes bolhas lávicas. Em segundo plano, uma coluna eruptiva vertical de cinzas emitidas a partir da boca 7 (27/11/2014); B – Resto do edifício sede do Parque Natural do Fogo a ser arrastado por uma frente de lava *aa* (30/11/2014).

Após a elaboração das cartas de suscetibilidade e da análise de vulnerabilidades, ocorreu uma nova erupção vulcânica na ilha do Fogo que não foi alvo de qualquer alerta ou aviso de proteção civil. Apesar de, após o início do episódio, se ter afirmado que a sismicidade que se vinha registando ou o aumento da desgaseificação observada indicavam a proximidade de uma erupção vulcânica, certo é que tais indicadores nunca foram utilizados como sinais para se acionarem, antecipadamente, mecanismos de prevenção e proteção. Considera-se, pois, que à semelhança do observado noutros países, é fundamental criar uma estrutura própria que garanta a monitorização e vigilância sismovulcânica em Cabo Verde. A concretização do projeto de criação de um Observatório Vulcanológico é essencial, nele se devendo integrar especialistas para operar num mesmo espaço e tempo, técnicas geofísicas, geodésicas e geoquímicas. Só assim se poderão identificar sinais precursores e emitir alertas e avisos em tempo útil.

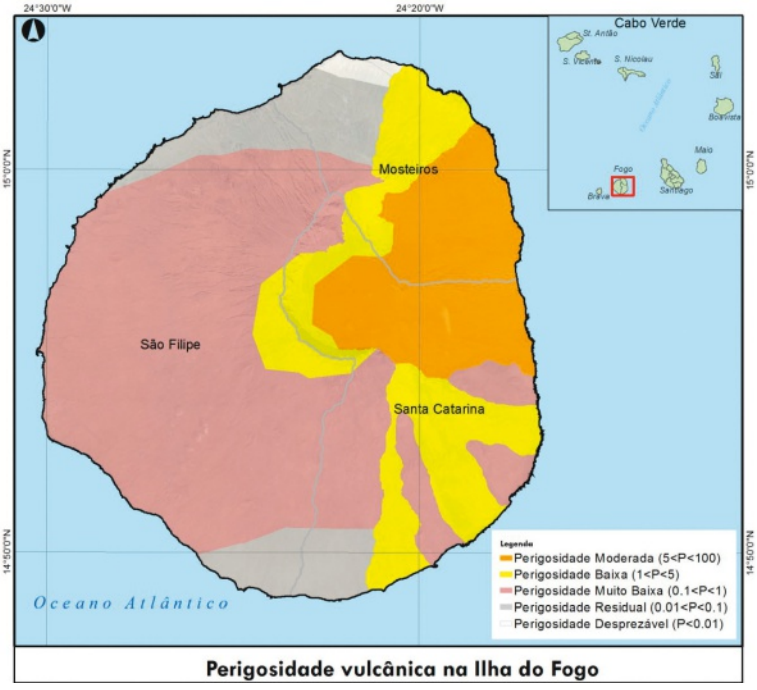


Fig. 2 Carta de perigosidade vulcânica na ilha do Fogo.

Baseado em: Jeremias Alves Cabral. 2015. *Avaliação dos perigos vulcânicos e fenómenos associados na ilha do Fogo (Cabo Verde): implicações para o planeamento de emergência e ordenamento do território (*Tese de doutoramento). Departamento de Geociências da Universidade dos Açores.

1. Classifica a atividade vulcânica da erupção de 2014.
2. Indica a área coberta pela erupção em Chã das Caldeiras.
3. Transcreve do texto os principais riscos das escoadas lávicas.
4. Explica a importância:
   - **4.1.** de um sistema de alerta e aviso vulcânico;
   - **4.2.** da elaboração de cartas, como a da figura 2;
   - **4.3.** da criação de um Observatório Vulcanológico.
5. Consulta na Internet o *site* da *Global Volcanism Program* e transcreve os vulcões em atividade no mundo, em tempo real (https://volcano.si.edu/gvp_currenteruptions.cfm).

Atividade laboratorial Simulação de atividade vulcânica

Os magmas básicos, com baixo teor em sílica, originam lavas fluidas e estão associados a atividades vulcânicas efusivas. Os magmas ácidos, com alto teor em sílica, originam lavas viscosas e estão associados a atividades vulcânicas explosivas. Podes planificar e simular diferentes atividades vulcânicas numa atividade prática. As simulações, embora sendo analogias entre os modelos e os processos naturais, ajudam a compreender acontecimentos complexos, como o vulcanismo. Por razões de segurança, a simulação de atividade explosiva deve ser realizada no exterior ou na *hotte*.

Atividade efusiva

Material

- Modelo de cone vulcânico com um gobelé pequeno no interior
- Gobelé
- Colher de sopa
- Bicarbonato de sódio
- Vinagre
- Detergente da louça
- Corante alimentar vermelho

Procedimento

1. No gobelé, faz uma solução com 100 mL de vinagre, 3 colheres de sopa de detergente e algumas gotas de corante.
2. Coloca três colheres de sopa de bicarbonato de sódio no gobelé do vulcão.
3. Verte a solução no gobelé do vulcão. Observa e regista.

Atividade explosiva

Material

- Modelo de cone vulcânico com uma lata no interior
- Cadinho
- 10 cm de fita de magnésio
- 50 g de dicromato de amónio
- Fósforos compridos
- Óculos de proteção

Procedimento

1. No cadinho, mistura o dicromato de amónio com 10 cabeças de fósforos.
2. Enterra a fita de magnésio na mistura, deixando a ponta de fora.
3. Acende a fita com um fósforo. Observa e regista.

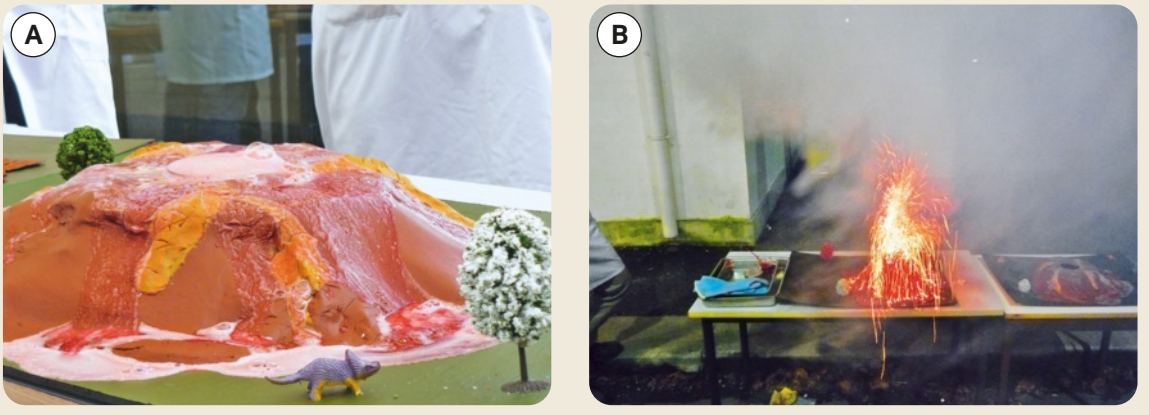


Fig. 1 Simulação de vulcão: A – Atividade efusiva; B – Atividade explosiva.

Em resumo…

Como se distingue vulcanismo ativo de inativo e vulcanismo central de fissural?

- O **vulcanismo** é um conjunto de processos relacionados com a libertação para a superfície da litosfera de materiais sólidos, líquidos e gasosos provenientes do magma.
- O **vulcanismo ativo** engloba os vulcões em erupção atualmente e com potencial para entrar em erupção, incluindo os que tiveram atividade no Holoceno. O **vulcanismo inativo** engloba os vulcões que não tiveram atividade durante o Holoceno.
- No **vulcanismo central** os materiais vulcânicos saem pela chaminé e cratera. No **vulcanismo fissural** a lava sai através de fraturas ou fendas que se podem estender por vários metros ou quilómetros.

Como se distingue vulcanismo primário de secundário?

- O **vulcanismo primário** caracteriza-se pela ocorrência de erupções vulcânicas. O **vulcanismo secundário** inclui as manifestações não eruptivas, como nascentes termais, géiseres e fumarolas.

Como é constituído um edifício vulcânico?

- Um edifício vulcânico é formado pela **chaminé**, por onde ascendem os materiais vulcânicos que ao acumularem-se originam o **cone principal**, em cujo topo existe a **cratera**, por onde os materiais são expelidos.

Como se forma uma caldeira vulcânica?

- A **caldeira** resulta do afundimento da parte central do vulcão, após certas erupções, em que grande quantidade de materiais é rapidamente expelida, ficando um vazio na câmara magmática.

Quais são os materiais emitidos numa erupção?

- Os **materiais emitidos numa erupção vulcânica** são lava, piroclastos e gases.
- Os **piroclastos** são produtos eruptivos sólidos e podem ser classificados, de acordo com o seu tamanho e forma, em cinzas, *lapilli*, bombas e blocos.
- A **lava** é o material líquido resultante do magma que perdeu gases durante a sua subida.

Quais são os tipos de atividade vulcânica?

- Na **atividade efusiva** a lava é básica e pouco viscosa, os gases libertam-se facilmente e a erupção é calma formando **escoadas de lava** ou correntes de lava.
- Na **atividade explosiva** a lava é ácida e muito viscosa, os gases libertam-se com dificuldade e a erupção é violenta.
- Na **atividade mista**, as erupções podem ser alternadamente efusivas e explosivas.

Em resumo…

Quais são os fenómenos de vulcanismo secundário ou residual?

As **nascentes termais** são fontes de água quente subterrânea muito mineralizadas que emergem à superfície. Os **géiseres** são repuxos intermitentes de água e vapor de água, libertados à superfície mais ou menos regularmente. As **fumarolas** são emissões de vapor de água ou misturas com outros gases e resultam da água infiltrada e aquecida até ferver.

Quais as zonas da Terra com maior frequência de atividade vulcânica?

No **vulcanismo interplaca** os vulcões situam-se em fronteiras onde as placas convergem ou divergem, como é o caso do **Anel de Fogo** do Pacífico. No **vulcanismo intraplaca** os vulcões, como os de Cabo Verde, localizam-se no interior de placas litosféricas, estando geralmente associados a pontos quentes.

Qual é o conceito de risco?

Numa situação de **perigo**, a existência ou integridade das pessoas encontra-se ameaçada. Numa situação de **risco**, existe a probabilidade de as pessoas ficarem ou não afetadas pelo perigo.

Como contribuem a ciência e a tecnologia para a diminuição dos riscos vulcânicos?

A **ciência** e a **tecnologia** investigam e desenvolvem instrumentos para **previsão**, **mitigação** e **minimização de riscos** associados aos episódios de vulcanismo.

Quais são as desvantagens e vantagens do vulcanismo?

As desvantagens da atividade vulcânica são os **impactos socioeconómicos negativos**, como destruição de edifícios, terrenos cultivados e estradas. As vantagens são os **impactos socioeconómicos positivos**, como na agricultura, turismo, geotermia, construção civil e exploração mineira.

Qual é a importância do vulcanismo em Cabo Verde?

O arquipélago de Cabo Verde situa-se num contexto tectónico de intraplaca associado a um mecanismo de **ponto quente** ou *hotspot*.

As **rochas vulcânicas de Cabo Verde** resultaram, fundamentalmente, da solidificação de magmas basálticos.

O arquipélago resulta de um levantamento do fundo oceânico com início há cerca de **20 milhões de anos**, originado a **Crista de Cabo Verde**, constituída por duas cadeias de ilhas e montes submarinos.

O **vulcanismo** é ativo nas ilhas de Santo Antão, Brava e Fogo, com registos de erupções ocorridas no Holoceno, sendo a mais recente a do Fogo, iniciada no dia 23 de novembro de 2014.

Cientistas, governo, ONU e serviços de proteção civil, trabalham em conjunto na **promoção do ordenamento do território** e na **elaboração de planos de emergência**.

Teste formativo

1 **Lê atentamente o texto e observa a figura 1. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

As ilhas de Cabo Verde assentam na denominada *Cape Verde Rise*, que se terá formado com o movimento extremamente lento da placa tectónica africana, sobre um "hotspot" fixo no manto, devido à persistente atividade vulcânica. A atividade vulcânica tem vindo a decorrer desde o Oligocénico até aos dias atuais. Atualmente, o único vulcão ativo do arquipélago situa-se na ilha do Fogo. Contudo, têm vindo a ser registados eventos vulcânico-tectónicos também junto à ilha Brava e à ilha de Santo Antão.

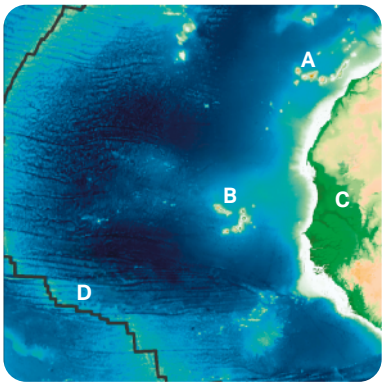


Fig. 1

Baseado em: Carvalho, Joana. (2020). *Imaging the Cape Verde hotspot structure*. 10.13140/RG.2.2.26072.78086.

1.1. O arquipélago de Cabo Verde tem origem… e é formado por…
- **(A)** plutónica… 10 ilhas e alguns ilhéus.
- **(B)** vulcânica… 10 ilhéus e algumas ilhas.
- **(C)** vulcânica… 10 ilhas e alguns ilhéus.
- **(D)** plutónica… 10 ilhéus e algumas ilhas.

1.2. As ilhas assentam… cuja origem deve estar relacionada…
- **(A)** na Crista de Cabo Verde… com a atividade de um ponto quente.
- **(B)** no Pedestal do Barlavento… com a atividade de um ponto quente.
- **(C)** na Crista de Cabo Verde… com a atividade vulcânica exclusivamente explosiva.
- **(D)** no Pedestal do Barlavento… com a atividade vulcânica exclusivamente efusiva.

1.3. As letras A, B, C e D, na figura 1, representam respetivamente…
- **(A)** o arquipélago de Cabo Verde, o arquipélago das Canárias, o continente africano e a dorsal Médio-Atlântica.
- **(B)** Cabo Verde, Canárias, o continente africano e a dorsal Médio-Atlântica.
- **(C)** Madeira, Cabo Verde, a dorsal Médio-Atlântica e o continente africano.
- **(D)** o arquipélago das Canárias, o arquipélago de Cabo Verde, o continente africano e a dorsal Médio-Atlântica.

Teste formativo

2 **Na erupção do vulcão da ilha do Fogo de 24 de janeiro de 1785, os derrames lávicos foram dominantemente do tipo *aa*, mas no final da erupção foram emitidas escoadas *pahoehoe*.**

2.1. Distingue os tipos de lava emitidos na erupção.

2.2. Descreve o tipo de atividade vulcânica.

2.3. Refere a data da última erupção do vulcão.

3 **Ordena as letras de A a E de modo a reconstituir a sequência cronológica dos processos de formação de uma caldeira.**

A – Material fundido entra na câmara magmática, dando início a uma erupção vulcânica.
B – O cimo do cone vulcânico colapsa, devido à falta de sustentação.
C – A câmara magmática esvazia, total ou parcialmente, após a erupção.
D – Se houver acumulação de água da chuva forma-se um lago.
E – Emissão de materiais vulcânicos sólidos, líquidos e gasosos.

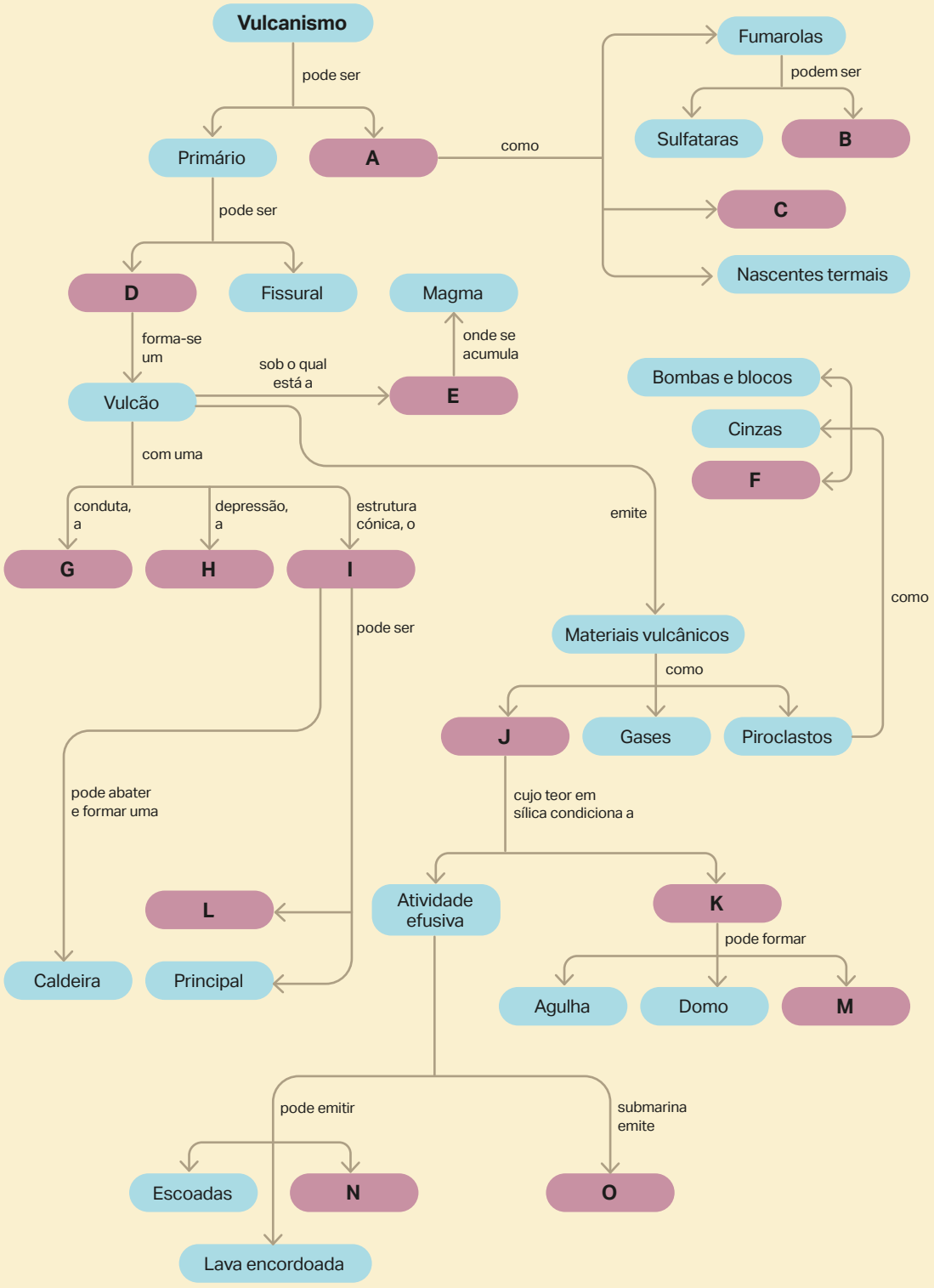
4 **Estabelece a correspondência correta entre as frases da coluna I e os termos da coluna II.**

Coluna I	Coluna II
1. Escoada de material sólido com aspeto de cordas. **2.** Abertura do cone vulcânico. **3.** Piroclastos de menores dimensões. **4.** Local no interior da Terra onde é acumulado material rochoso fundido. **5.** Via de comunicação entre a câmara magmática e o exterior.	**A** – Câmara magmática **B** – Cratera **C** – Chaminé **D** – Cinzas **E** – Lava *pahoehoe*

5 **Lê atentamente as afirmações 1, 2 e 3 sobre vulcanismo residual e seleciona a opção correta.**

1 – Nas nascentes termais, a temperatura da água é menor do que a temperatura ambiente.
2 – Os géiseres são emissões contínuas de jatos de lava.
3 – As fumarolas emitem vapor de água e outros gases.
(A) 1 é verdadeira; 2 e 3 são falsas.
(B) 3 é verdadeira; 1 e 2 são falsas.
(C) 2 é verdadeira; 1 e 3 são falsas.
(D) 3 é verdadeira; 1 e 2 são falsas.

Mapa de conceitos



2

Sismologia

2.1. Origem dos sismos

2.2. Ondas sísmicas e seu registo

2.3. Escalas de avaliação sísmica

2.4. Previsão e prevenção do risco sísmico

2.5. Sismicidade em Cabo Verde

2.6. Ondas sísmicas e o estudo do interior do planeta

A ilha Brava é a que possui maior quantidade de registos de atividade sísmica no arquipélago de Cabo Verde. Diversos estudos de cientistas nacionais e mundiais concluem que as zonas mais ativas em termos sísmicos nas proximidades da ilha Brava correspondem aos ilhéus, à área a sudoeste da ilha perto do vulcão submarino do Cadamosto e à região a noroeste da ilha, a mais ativa de todas.

2.1. Origem dos sismos

A **sismologia** é a ciência que estuda os sismos e os **sismólogos** são os cientistas que se dedicam ao seu estudo. Um **sismo**, abalo sísmico ou tremor de terra, é um movimento vibratório da litosfera devido a uma libertação brusca de energia armazenada nas rochas. Os **macrossismos** têm grande intensidade e são sentidos pelas pessoas. Os **microssismos** têm pequena intensidade e, geralmente, não são sentidos pelas pessoas, sendo apenas detetados por instrumentos.

As rochas da litosfera estão sujeitas a fortes estados de tensão, acumulando energia. O conceito de **tensão** é definido como a força aplicada por unidade de área. As rochas comportam-se de modo diferente quando sujeitas a estados de tensão. Quando as rochas atingem o seu limite de elasticidade, fraturam, libertando bruscamente a energia acumulada e gerando um sismo.

A formação de um sismo é explicada pela **teoria do ressalto elástico** segundo a qual as forças tectónicas criam estados de tensão que vão deformando lentamente as rochas. As rochas vão acumulando energia até um limite máximo em que a resistência à tensão é excedida e ocorre uma **falha** – rotura acompanhada de movimento relativo entre dois blocos rochosos.

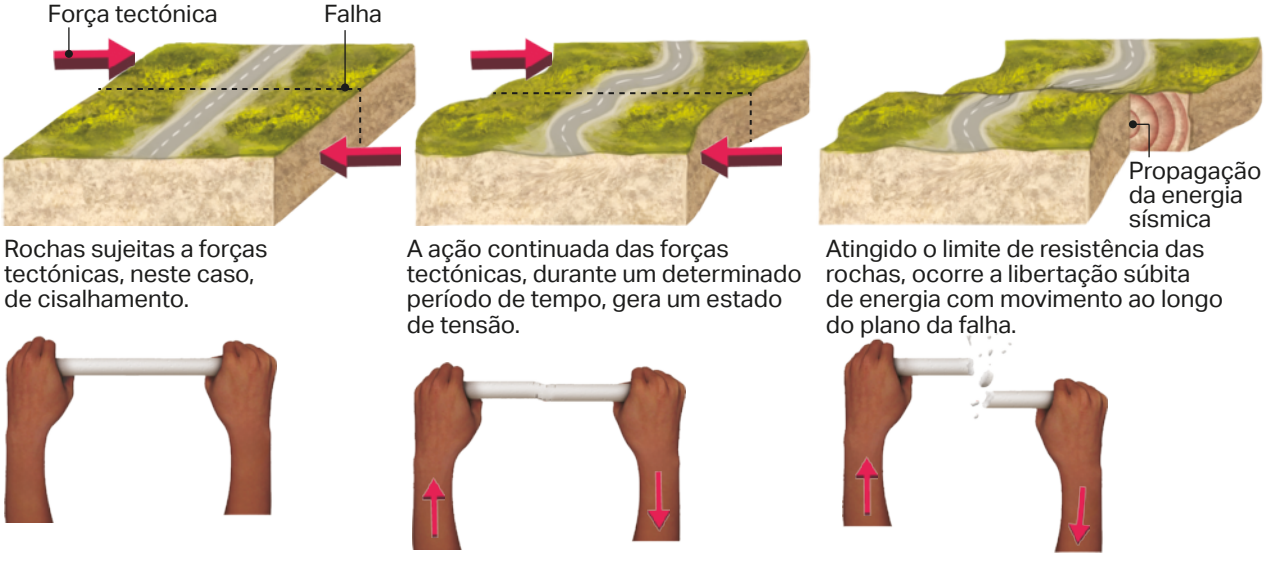


Fig. 1 Ilustração da teoria do ressalto elástico.

Responde tu

1. Distingue macrossismo de microssismo.
2. Explica a teoria do ressalto elástico.

Um sismo pode ser caracterizado por **parâmetros de caracterização sísmica**: hipocentro, epicentro, profundidade focal e raio sísmico.

O **hipocentro** ou foco é o local da litosfera onde acontece a libertação súbita de energia sob a forma de ondas sísmicas. As **ondas sísmicas** são vibrações dos materiais terrestres que se propagam em todas as direções, em círculos concêntricos, a partir do hipocentro. Cada onda tem uma **frente de onda** – superfície esférica formada por um conjunto de pontos que se encontram na mesma fase do movimento das partículas.

O **epicentro** é o local à superfície da litosfera situado na vertical do hipocentro. A **profundidade focal** é a distância entre o epicentro e o hipocentro. De acordo com este parâmetro, um sismo pode ser classificado como: **sismo superficial**, com hipocentro até 70 km; **sismo intermédio**, com hipocentro entre 70 km e 300 km; **sismo profundo**, com hipocentro superior a 300 km.

O **raio sísmico** é a direção perpendicular à frente da onda sísmica com origem no hipocentro.

Um grande sismo é, geralmente, precedido por pequenos sismos, os **abalos premonitórios**. Também pode ser seguido por **réplicas** – outro tipo de abalos que sucedem ao sismo principal e que podem prolongar-se por vários dias.

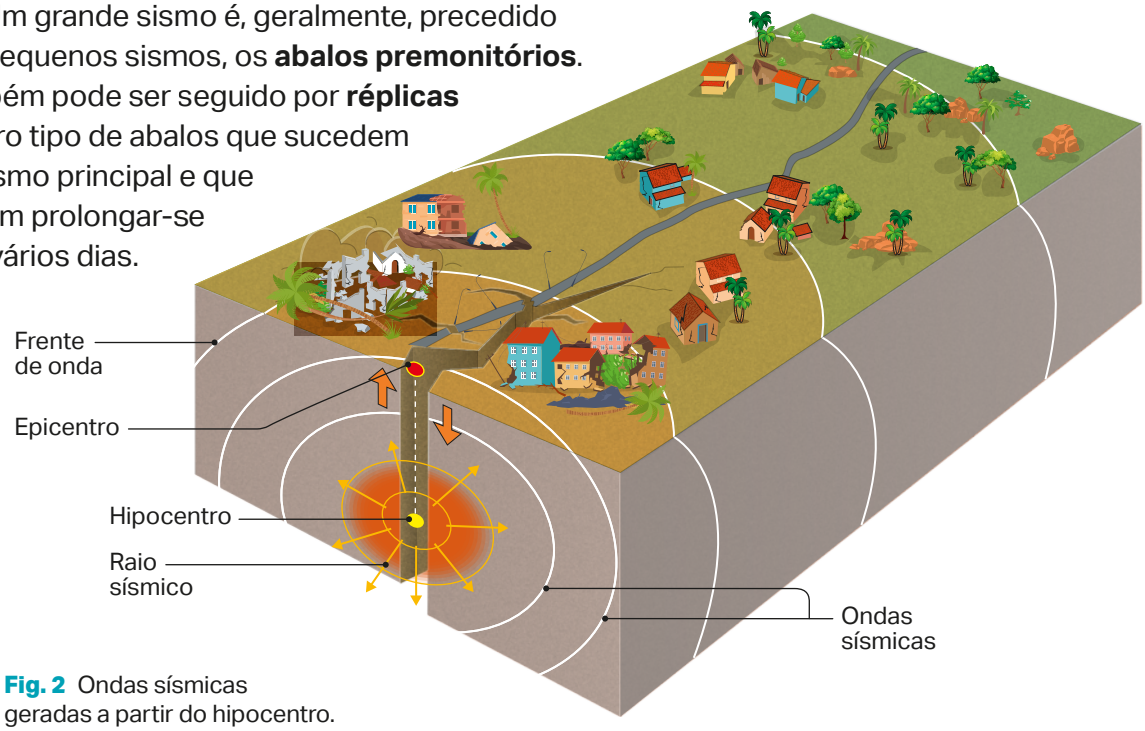


Fig. 2 Ondas sísmicas geradas a partir do hipocentro.

Aprende mais

O matemático Augustus Love e o matemático e físico John William Strutt, barão de Rayleigh, fizeram importantes trabalhos relacionados com as **ondas sísmicas** e a sua propagação em diferentes meios.

Augustus Love (1863-1940)

Barão de Rayleigh (1842-1919)

2.2. Ondas sísmicas e seu registo

As ondas sísmicas podem ser ondas internas ou ondas superficiais. As **ondas internas** propagam-se no interior da Terra e podem ser de dois tipos: **ondas P** ou primárias e **ondas S** ou secundárias. As **ondas superficiais** propagam-se à superfície da Terra, resultando da interferência das ondas internas, e podem ser de dois tipos: **ondas L** ou ondas de Love e **ondas R** ou ondas de Rayleigh. As ondas sísmicas internas e superficiais podem ser caracterizadas quanto à origem, forma de propagação, registo e efeitos.

Ondas internas – origem no hipocentro		**Ondas superficiais – origem na superfície terrestre**	
Ondas P Primárias	Ondas S Secundárias	Ondas L Ondas de Love	Ondas R Ondas de Rayleigh
• Causam movimentos de compressão. • Deformam os materiais com alteração do seu volume. • Têm direção paralela à direção de propagação da onda – longitudinal. • Propagam-se em meios sólidos, líquidos e gasosos. • São as mais rápidas. • São as primeiras a serem registadas.	• Causam movimentos de corte. • Deformam os materiais sem alteração do seu volume. • Têm direção perpendicular à direção de propagação da onda – transversal. • Propagam-se apenas em meios sólidos. • São mais lentas do que as ondas P. • São as segundas a serem registadas.	• Causam movimentos horizontais de torsão, com corte e, geralmente, paralelos à superfície terrestre. • Têm direção perpendicular à direção de propagação da onda. • Propagam-se apenas em meios sólidos. • São mais lentas do que as ondas internas, mas mais destrutivas. • São registadas a seguir às ondas internas.	• Causam movimentos elíticos da superfície terrestre. • Têm direção perpendicular à direção de propagação da onda. • Propagam-se em meios sólidos e líquidos. • Causam movimento dos materiais semelhante ao da ondulação marinha. • São mais lentas do que as ondas internas, mas mais destrutivas. • São registadas a seguir às ondas L.

Tab. 1 Caracterização das ondas sísmicas.

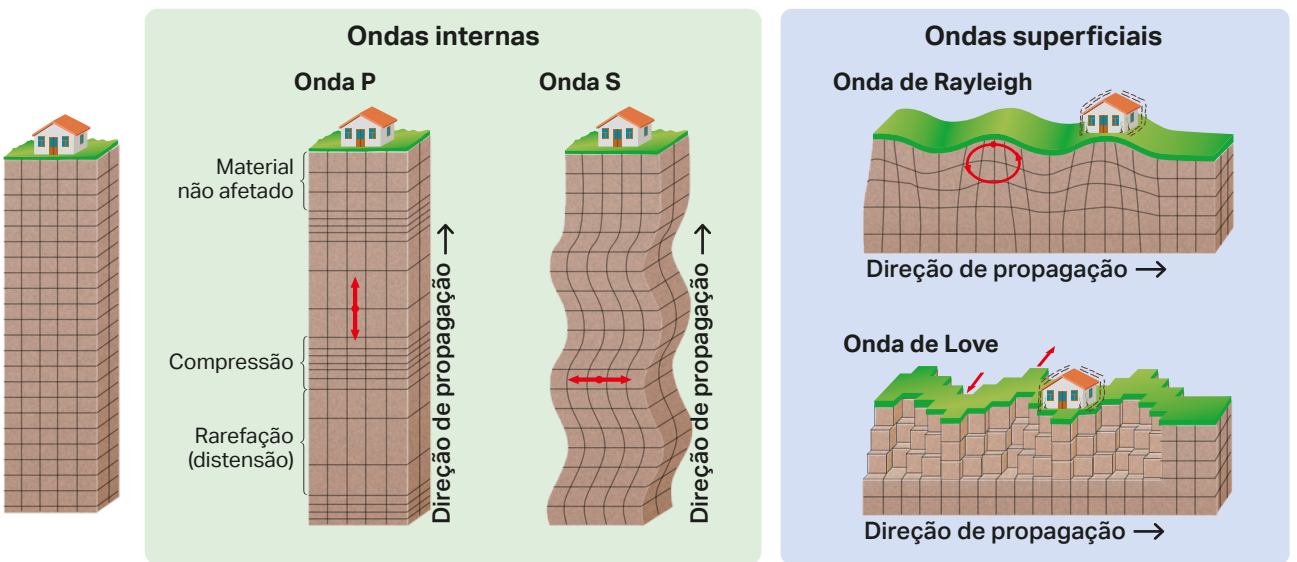


Fig. 3 Propagação de ondas sísmicas e efeitos causados à superfície. As setas vermelhas representam a direção da vibração.

Os sismos são detetados em estações sismográficas ou sísmicas, espalhadas pela Terra e onde existem sismógrafos. Os **sismógrafos** são instrumentos de precisão que detetam as vibrações causadas pelas ondas sísmicas. Um sismógrafo é constituído por uma massa suspensa que funciona do mesmo modo que um pêndulo, oscilando quando é atingida por ondas sísmicas. O **sismograma** é o registo obtido num sismógrafo e onde ficam registados os tempos de chegada e a amplitude das diferentes ondas sísmicas.

Numa estação sismográfica existem, de um modo geral, três sismógrafos: dois sismógrafos registam os movimentos horizontais, cada um deles orientado em direções diferentes, um na direção norte-sul e outro na direção este-oeste; outro sismógrafo regista os movimentos verticais.

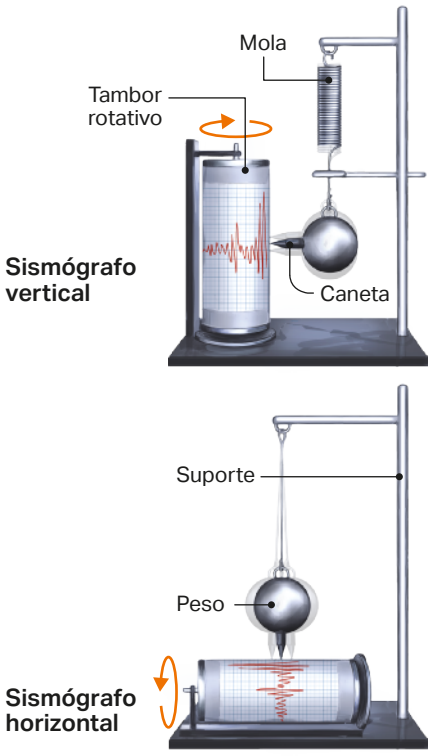


Fig. 4 Sismógrafo de registo de movimentos verticais e horizontais.

Fig. 5 O sismograma regista a chegada dos diferentes tipos de ondas sísmicas.

Responde tu

1. **Distingue ondas internas de ondas superficiais.**
2. **Relativamente à figura 5:**
   - **2.1.** Se cada linha vertical representar 5 segundos, indica o tempo de duração de cada uma das ondas sísmicas.
   - **2.2.** Relaciona a amplitude das ondas superficiais com a sua capacidade de destruição.

As ondas sísmicas viajam a diferentes velocidades, pelo que o seu registo no sismograma não acontece ao mesmo tempo. A partir do sismograma de uma dada estação sismográfica, é possível determinar o intervalo de tempo correspondente à diferença da hora de chegada das ondas P e das ondas S – **intervalo S-P**. Este intervalo depende da **distância epicentral** – distância entre a estação sismográfica e o epicentro do sismo. O conhecimento desta distância permite traçar, relativamente à estação sismográfica, uma circunferência cuja linha aponta para possíveis localizações do epicentro. A análise de três sismogramas registados em três estacões sismográficas diferentes, permite traçar três circunferências cujo ponto de interseção coincide com o seu epicentro.

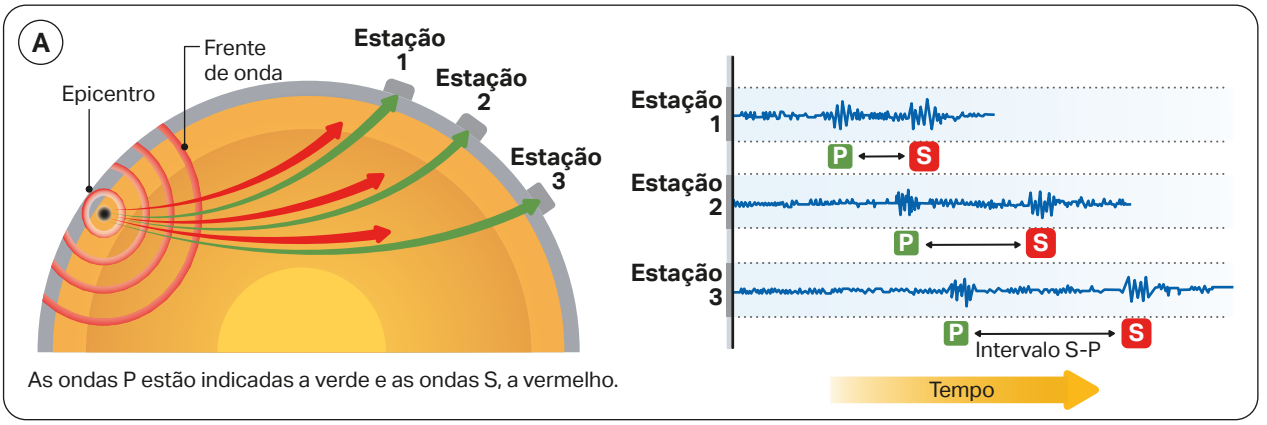


Fig. 6 Determinação do local do epicentro de um sismo: A – Chegada das ondas P e S a três estações sismográficas; B – Relação entre a distância epicentral e o intervalo S-P; C – Determinação gráfica do epicentro.

2.3. Escalas de avaliação sísmica

As **escalas de avaliação sísmica** são modos de avaliar um sismo e podem ser escalas de magnitude sísmica ou de intensidade sísmica.

A **magnitude sísmica** é a quantidade de energia libertada no hipocentro. A magnitude determina-se com base em cálculos matemáticos a partir da análise dos sismogramas. Os valores de magnitude podem ser avaliados na **Escala de Richter**, uma escala quantitativa, aberta, isto é, sem limite máximo, e que mede a magnitude de um sismo.

Magnitude	Sismo	Características
1,0 – 1,9	Microssismo	Não sentido pelas pessoas, apenas registado por sismógrafos de elevada precisão.
2,0 – 2,9	Muito pequeno	Geralmente não sentido pelas pessoas, registado pelos sismógrafos.
3,0 – 3,9	Pequeno	Sentido por algumas pessoas, mas raramente causa danos.
4,0 – 4,9	Ligeiro	Sentido pela maioria das pessoas, provoca danos nas proximidades do epicentro.
5,0 – 5,9	Moderado	Causa danos importantes em edifícios de construção frágil, mas apenas provoca danos ligeiros em edifícios bem construídos.
6,0 – 6,9	Forte	Provoca abertura de fendas e queda dos edifícios sem construção antissísmica e pode causar danos em alguns com este tipo de construção.
7,0 – 7,9	Grande	Causa danos à maioria dos edifícios, muitos colapsam e danifica pontes e barragens.
8,0 – 8,9	Importante	Os edifícios são quase todos danificados e destruídos, mesmo aqueles com construção antissísmica.
> 9,0	Excecional	Destruição quase total e mudança na topografia do terreno.

Tab. 2 Escala de Richter. É uma escala logarítmica em que a subida de uma unidade representa um aumento da energia cerca de trinta vezes superior.

A **intensidade sísmica** é a medida dos seus efeitos em vários locais, isto é, dos estragos que causa às populações, objetos e estruturas. A determinação da intensidade baseia-se na observação dos danos e em inquéritos às pessoas, e depende de vários fatores, como a profundidade do hipocentro e a quantidade de energia nele libertada, a distância ao epicentro, a qualidade das construções, o tipo de rochas e a topografia do terreno.

Em 1902, o sismólogo Guiseppe Mercalli foi um dos primeiros a propor uma escala qualitativa de intensidades com dez graus que encontrou consenso na comunidade científica – a **Escala de Mercalli**.

Responde tu

1. **Explica o conceito de intervalo S-P.**
2. **Refere a escala de avaliação sísmica que é aberta.**

Em 1956, foi apresentada a **Escala Internacional** ou **Escala de Mercalli Modificada**, uma escala de intensidade sísmica com doze graus. Em 1998, foi criada a **Escala Macrossísmica Europeia**, uma escala de doze graus de intensidade crescente que constitui um padrão de uso generalizado para avaliação da intensidade dos sismos.

Grau	Sismo	Efeitos
I-III	Impercetível – Fraco	Sentido por algumas pessoas. Quase sem danos.
IV-V	Moderado – Forte	Sentido pela maioria das pessoas. Danos pouco significativos.
VI-VII	Bastante forte – Muito forte	Sentido por todas as pessoas. Danos no interior das habitações e em muros.
VII-VIII	Muito forte – Ruinoso	Queda de pessoas. Destruição de construções menos resistentes.
IX-X	Desastroso – Destruidor	Pânico geral. Grandes danos em edifícios. Fraturas no solo.
XI-XII	Catastrófico – Cataclismo	Vias-férreas deformadas. Alteração da topografia.

Tab. 3 Escala de Mercalli Modificada.

Após a localização do epicentro do sismo e a determinação da sua intensidade nos vários locais onde foi sentido, pode desenhar-se uma **carta de isossistas**. As **isossistas** são linhas curvas, ao redor do epicentro, que delimitam as zonas com igual intensidade sísmica. São linhas irregulares, não concêntricas, e, no oceano, onde não podem ser avaliados os efeitos nas construções, não são representadas ou são-no a tracejado.

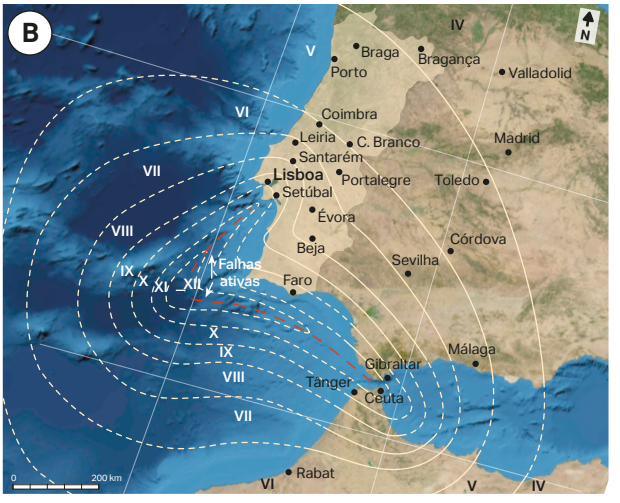


Fig. 7 Cartas de isossistas: A – Açores, 9 de julho de 1998; B – Lisboa, 1 de novembro de 1755.

Responde tu

1. Explica a razão das isossistas não serem representadas ou estarem a tracejado no oceano.
2. Indica o valor máximo de intensidade do sismo na fig. 7A.
3. Localiza o provável epicentro na fig. 7B.
4. Indica duas localidades onde o sismo atingiu a intensidade VIII, nas figs. 7A e B.
5. Avalia os efeitos do sismo na freguesia de Sta. Luzia, na fig. 7A, consultando a tab. 3.

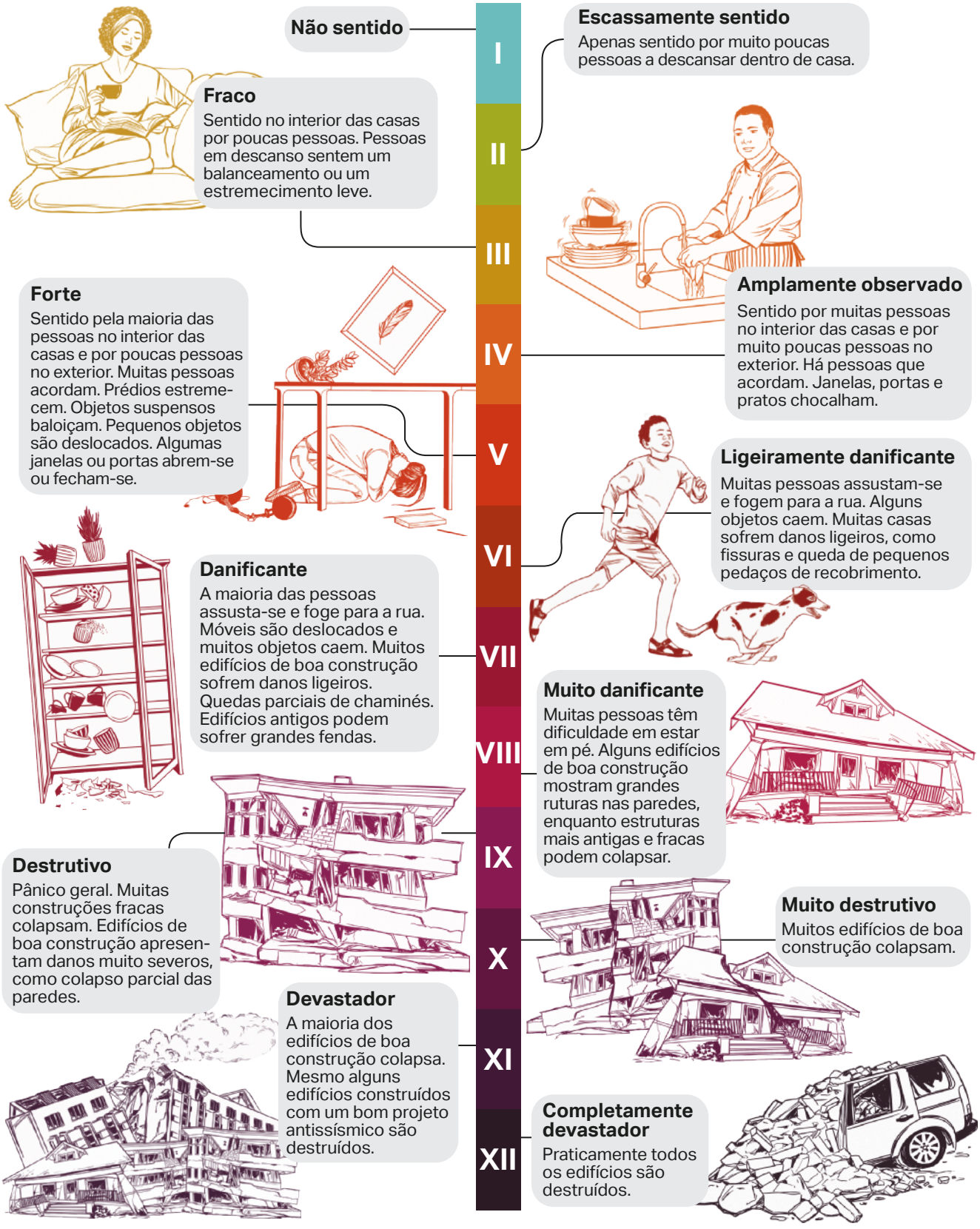


Fig. 8 Escala Macrossísmica Europeia. A revisão mais recente é de 1998 e é conhecida pelo acrónimo EMS-98.

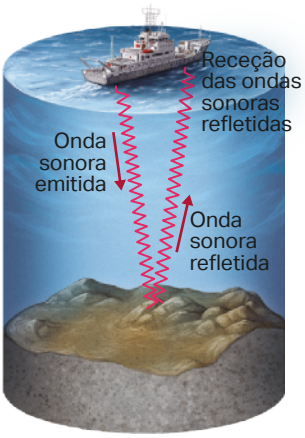
2.4. Previsão e prevenção do risco sísmico

A **previsão sísmica** pode ser definida como o ato de prever a ocorrência de um sismo de modo a que se possam salvaguardar pessoas e bens, dentro de um prazo curto, isto é, horas ou poucos dias. Apesar de ainda não ser possível prever com exatidão a ocorrência de um sismo, os cientistas procuram recolher dados que permitam determinar a probabilidade da sua ocorrência. Existem alguns sinais precursores que podem indicar a provável ocorrência de um sismo. Estes sinais são detetados por instrumentos desenvolvidos pela ciência e pela tecnologia que fazem a sua monitorização.

O **risco sísmico** é a percentagem provável de danos causados por um sismo, esperada numa certa região num certo intervalo de tempo. Uma das formas de identificar o risco sísmico é através de **cartas de risco sísmico**, importantes para a elaboração dos planos de ordenamento do território. O risco sísmico de uma dada região está relacionado, entre outros fatores, com a geologia e o tipo de solo, a vulnerabilidade das construções e a ocupação humana.

Satélites GPS monitorizam a posição e o movimento dos terrenos na proximidade de falhas ativas. Deformações no terreno ou alterações nos seus movimentos são indicadores da ocorrência de sismos.

Radares medem a altitude de uma camada da atmosfera (ionosfera). A altitude da ionosfera diminui antes da ocorrência de sismos.



Sonar permite mapear as falhas tectónicas localizadas no fundo marinho e que originam os grandes sismos.

Sismógrafos registam a atividade sísmica, permitindo detetar a ocorrência de abalos premonitórios.

Magnetómetros
monitorizam o campo magnético terrestre, permitindo detetar variações que podem ser indicadoras da ocorrência de um sismo.

Fig. 9 Alguns instrumentos utlizados na previsão sísmica.

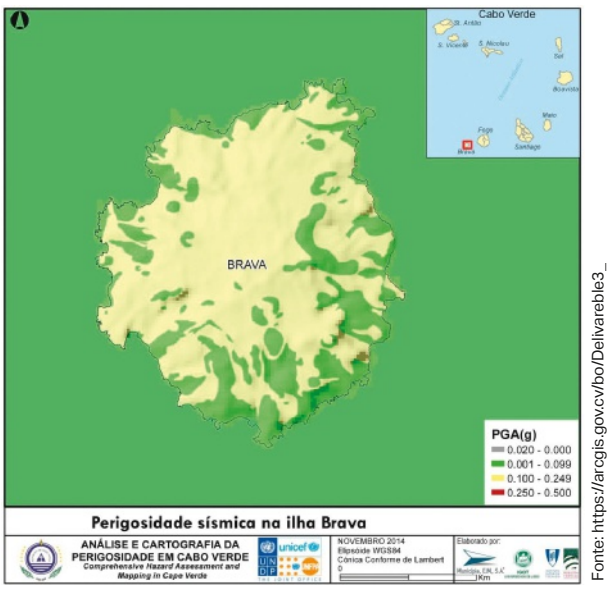


Fig. 10 Carta de perigosidade sísmica na ilha Brava.

Fonte: https://arcgis.gov.cv/bo/Delivareble3_FinalReport_HazardAssementandMappingCV.pdf

Os sismos podem causar enormes estragos, como a **destruição de edifícios** e infraestruturas, como estradas e barragens, e o deslizamento de solos, que contribuem para a perda de vidas humanas. Um dos principais riscos dos sismos é a ocorrência de um ***tsunami*** ou **raz de maré** – grande onda desencadeada por um sismo com epicentro no fundo oceânico ou **maremoto**. Algumas destas ondas podem atingir várias dezenas de metros de altura, arrasando as zonas costeiras.

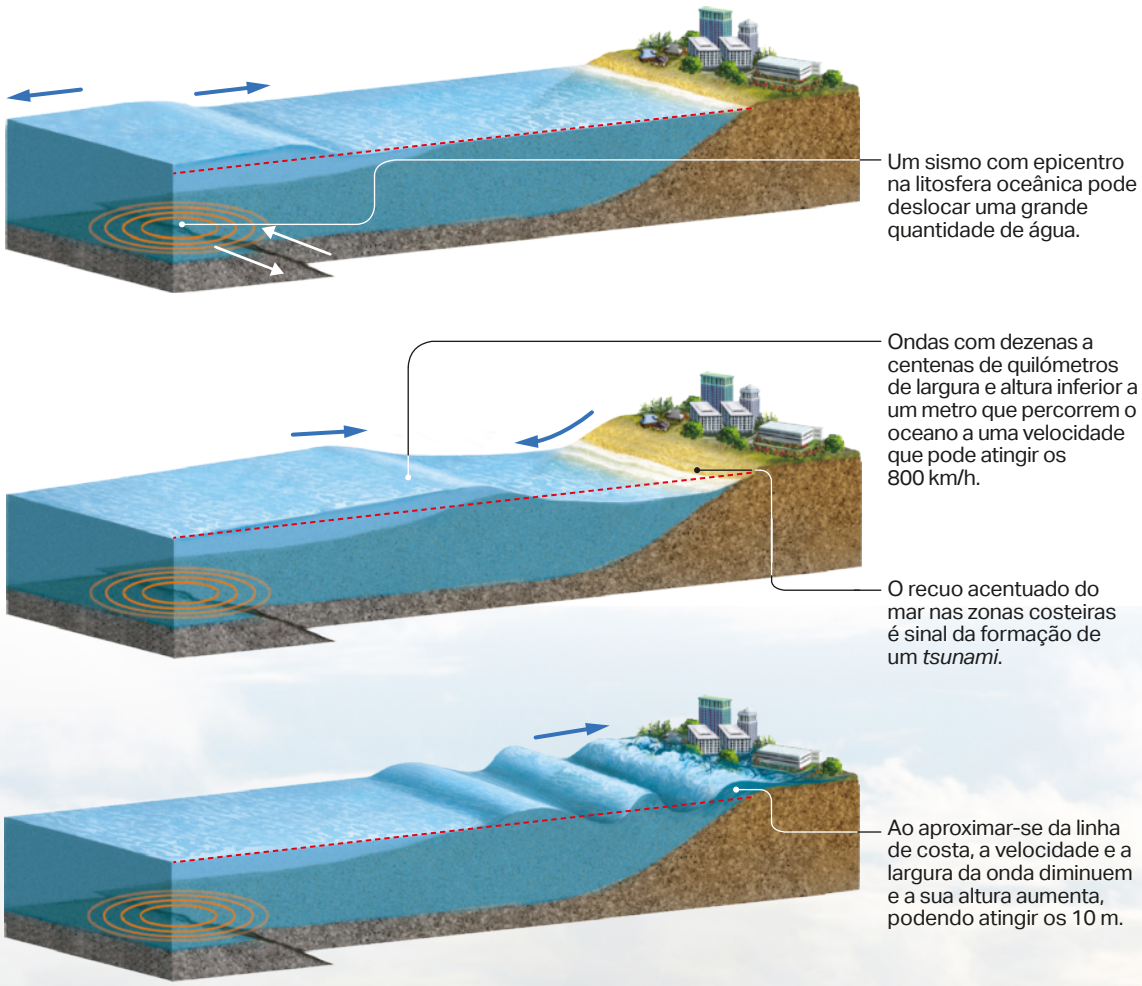
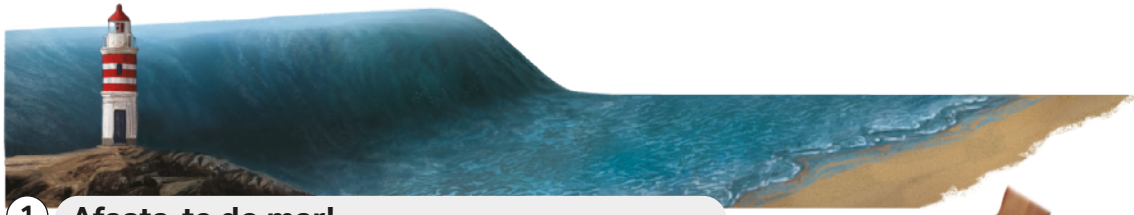


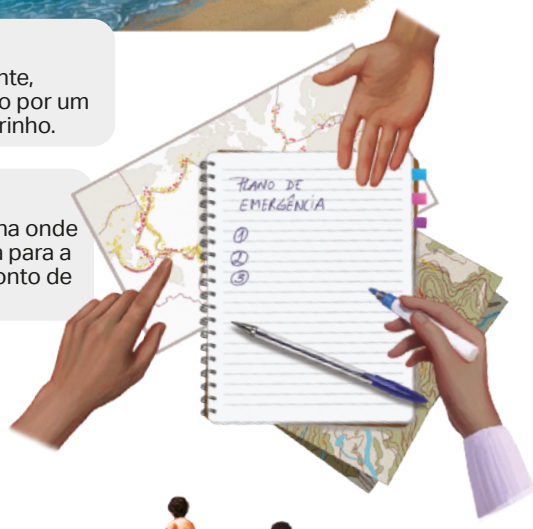
Fig. 11 Formação de um *tsunami*.

Fig. 12 Sinais informativos para locais com ameaça de *tsunami*.

A **minimização do risco sísmico** inclui a identificação de zonas de maior risco, a construção de estruturas sismorresistentes, a elaboração de planos de emergência e a promoção na educação das populações, nomeadamente no que diz respeito às **medidas de segurança a serem tomadas antes, durante e após um sismo**.



1 **Afasta-te do mar!**
Afasta-te de zonas costeiras, pois pode, eventualmente, ocorrer um *tsunami*. Um *tsunami* pode ser antecedido por um recuo rápido das águas do mar, expondo o fundo marinho.



2 **Prepara-te!**
Informa-te sobre o risco sísmico na zona onde vives. Elabora um plano de emergência para a família e combinem previamente um ponto de encontro.

3 **Protege-te!**
Logo que seja possível, dirige-te para um local aberto e que seja preferencialmente um ponto alto, longe do mar ou cursos de água. Regressa a casa só quando as autoridades o aconselharem.

4 **Usa as escadas!**
Se estiveres num dos andares superiores de um edifício, nunca utilizes os elevadores.

5 **Abriga-te!**
Abriga-te junto a uma viga ou pilar, nos cantos das salas ou debaixo de uma mesa ou cama robusta. Executa os 3 gestos que te podem salvar a vida: "**Baixar, Proteger e Aguardar**".

Fig. 13 Medidas a adotar antes, durante e após um sismo.

6 **Organiza-te!**
Organiza um *kit* de emergência e uma reserva de água e alimentos para 2 ou 3 dias que devem ficar guardados num lugar acessível e conhecido por todos.

7 **Não faças fogo!**
Não fumes nem acendas fósforos ou isqueiros.

8 **Tem cuidado!**
Mantém-te afastado de janelas, espelhos, móveis, candeeiros e outros objetos que possam cair.

9 **Para!**
Se estiveres num veículo em movimento, relembra ao condutor que deve parar a viatura longe de árvores de grande porte, edifícios, muros, taludes, postes e cabos de alta tensão e permanece dentro dela.

10 **Afasta-te!**
Se estiveres na rua, mantém-te afastado dos edifícios (sobretudo dos mais degradados, altos ou isolados), dos postes de eletricidade, árvores e de outras construções (muros, chaminés e varandas).

Responde tu

1. Refere as medidas, de 1 a 10 da figura 13, que deves adotar:
   1.1. antes de um sismo; **1.2.** durante um sismo; **1.3.** após um sismo.
2. Explica a importância da medida 10 da figura 13.
3. Faz uma pesquisa sobre o conteúdo que deves colocar num *kit* de emergência. Apresenta o resultado do teu trabalho.

2.5. Sismicidade em Cabo Verde

O arquipélago de Cabo Verde está localizado na Placa Africana e terá a sua origem num *hotspot* cuja atividade se manifesta nos vulcões e sismos intraplaca. Além dos **sismos de origem vulcânica**, existem alinhamentos de epicentros que sugerem a existência de falhas ativas que causam **sismos de origem tectónica**. Segundo alguns autores nacionais e mundiais, a sismicidade tectónica pode não apresentar uma relação direta com a atividade vulcânica.

O **risco sísmico** constitui um motivo de preocupação, principalmente nas ilhas Brava, Santo Antão e Fogo. Apesar da geralmente baixa magnitude de sismos ocorridos, menos de 4 na escala Richter, e com hipocentros profundos, a cerca de 2 km de profundidade, o perigo sísmico representa um risco para as comunidades residentes nestas ilhas, especialmente pelo impacto nas infraestruturas e habitações. Além disso, os sismos podem desencadear um outro tipo de perigo geológico que são os **movimentos de vertente**, particularmente as derrocadas, que correspondem a movimentos de massas de rocha e/ou solo instabilizados, cujo centro de gravidade progride para jusante e para o exterior.

Assim, as redes de **monitorização da atividade sísmica** são fundamentais para que as medidas de proteção civil possam ser adotadas atempadamente. O **Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde**, **INMG**, é a entidade responsável pela monitorização sismo-vulcânica. O INMG tem feito investimentos significativos no campo da geofísica, nomeadamente, no acompanhamento da deformação do solo na ilha do Fogo e na instalação de estações sismométricas em todas as ilhas do arquipélago. Estão, ainda, instaladas estações inclinométricas e uma rede de recetores GPS em várias ilhas que permitem detetar e acompanhar a deformação do solo.

A colaboração de numerosos especialistas nacionais e mundiais de diversas áreas, permitiu a elaboração de cartografia de perigosidade de Cabo Verde. As **cartas de risco sísmico**, e outras, constituíram a base para o desenvolvimento da **Estratégia Nacional de Redução de Riscos de Desastres**, **ENRRD**, **de Cabo Verde**, que afirma o compromisso do governo com a redução de riscos sísmicos, vulcânicos e outros.

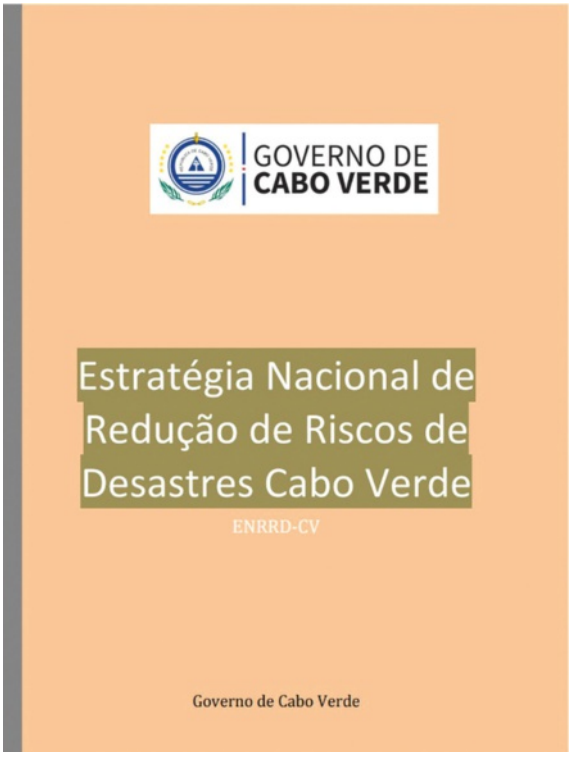


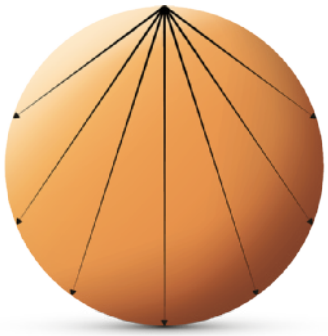
Fig. 14 A ENRRD de Cabo Verde foi desenvolvida em 2017.

2.6. Ondas sísmicas e o estudo do interior do planeta

Uma onda sísmica, aquando do seu trajeto a partir do hipocentro, encontra várias superfícies de descontinuidade. Uma **superfície de descontinuidade** é uma zona de fronteira entre meios da geosfera com propriedades distintas.

Nas descontinuidades, uma onda sísmica pode ser refletida ou refratada, o que permite definir três ocorrências: direta, refletida e refratada. A **onda direta** é a onda sísmica inicial, com origem no hipocentro, e que chega à superfície da litosfera sem ter encontrado qualquer descontinuidade no interior da Terra. A **onda refletida** é uma nova onda que se forma numa descontinuidade e, portanto, não tem origem no hipocentro; esta onda propaga-se no mesmo meio da onda direta, mas em sentido contrário. A **onda refratada** é uma nova onda que se forma numa descontinuidade, pelo que não se origina no hipocentro; esta onda propaga-se num meio diferente do meio da onda direta.

Atendendo a que a velocidade de propagação das ondas sísmicas varia consoante o meio que atravessam, o registo sísmico nos sismogramas fornece dados para estudar o interior do planeta. As superfícies de descontinuidade onde as ondas sísmicas mudam de velocidade, de direção ou não se propagam são chamadas **descontinuidades sísmicas** e, no interior da Terra, podem ser identificadas três grandes: Mohorovicic, Gutenberg e Lehmann.



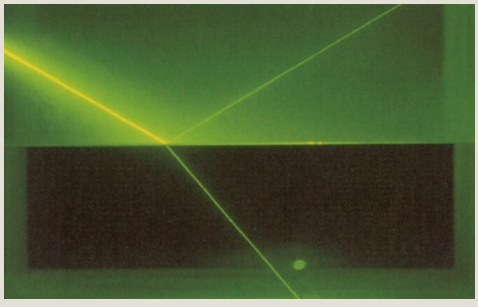
Se a Terra fosse homogénea, as ondas sísmicas propagar-se-iam com um trajeto retilíneo por todo o planeta. A sismologia não apoia este modelo.

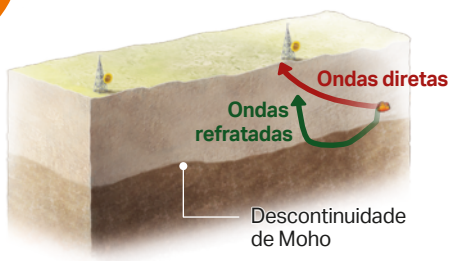
O registo das ondas e a sua interpretação permitem deduzir que ocorrem variações nas características do interior da geosfera.

Fig. 15 O modo de propagação das ondas sísmicas é usado para inferir sobre a estrutura interna da Terra.

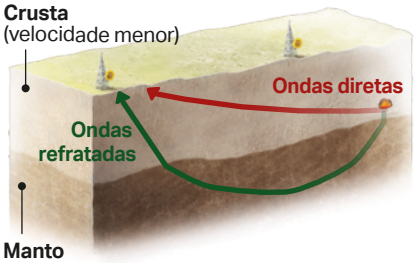
Aprende mais

A **propagação das ondas sísmicas** pode ser comparada ao que acontece aos raios luminosos quando se propagam em dois meios diferentes. Quando um raio incide numa superfície que separa dois meios, 1 e 2, com diferentes propriedades, originam-se dois raios: refletido e refratado. O raio refletido propaga-se no meio 1 com velocidade v_1. O raio refratado propaga-se no meio 2 com velocidade v_2.





(A) As ondas que se propagam na crusta atingem primeiro os sismógrafos mais próximos do hipocentro.



(B) As ondas que se propagam no manto chegam primeiro aos sismógrafos mais longe do hipocentro.

Fig. 16 Descoberta da descontinuidade de Mohorovicic ou Moho.

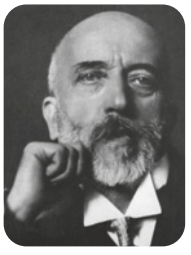


Fig. 17 Andrija Mohorovicic (1857-1936).

A **descontinuidade de Mohorovicic** foi descoberta por Andrija Mohorovicic, em 1909. Quando analisou os sismogramas do sismo que ocorreu em outubro desse ano, a sul de Zagreb, na atual Croácia, Mohorovicic verificou que os sismógrafos das estações mais próximas registavam a chegada de dois conjuntos de ondas P e S. No sentido de explicar as suas observações, Mohorovicic propôs a existência de uma descontinuidade a separar um meio à superfície da Terra, onde as ondas se deslocam com menor velocidade, de um meio mais profundo, onde a velocidade das ondas é maior. Deste modo, foi designada por descontinuidade de Mohorovicic a **fronteira entre a crusta e o manto**.

A zona do manto superior, onde ocorre uma diminuição da velocidade das ondas sísmicas internas, denomina-se **zona de baixa velocidade**. O limite superior desta zona pode começar a 20 km de profundidade sob os oceanos e, nos continentes, a profundidades superiores a 100 km; o seu limite inferior, impreciso, situar-se-à a mais de 200 km de profundidade. A diminuição da velocidade das ondas sísmicas, nesta zona do manto, permite admitir que o material rochoso aí existente, embora não sofra alterações na composição, apresenta menor rigidez, menor elasticidade e mais plasticidade do que nas regiões acima e abaixo dela.

Pode admitir-se, também, que o material nesta zona se encontra num estado de fusão parcial, uma vez que as ondas S se propagam nele.

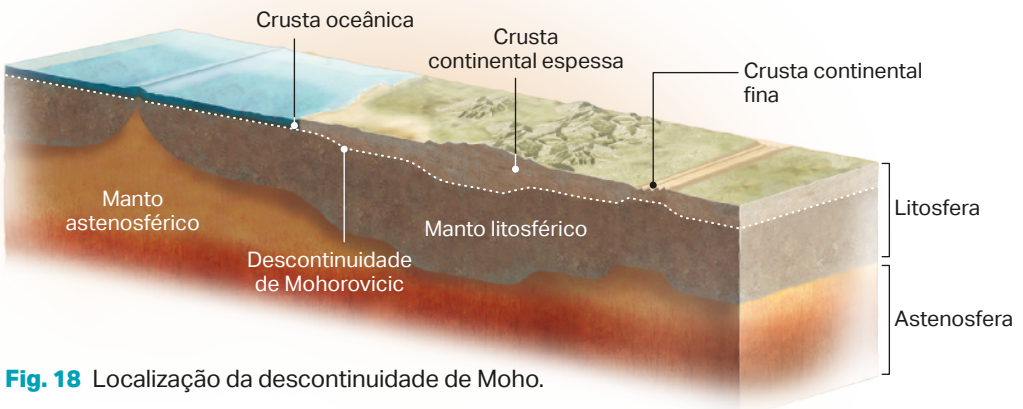


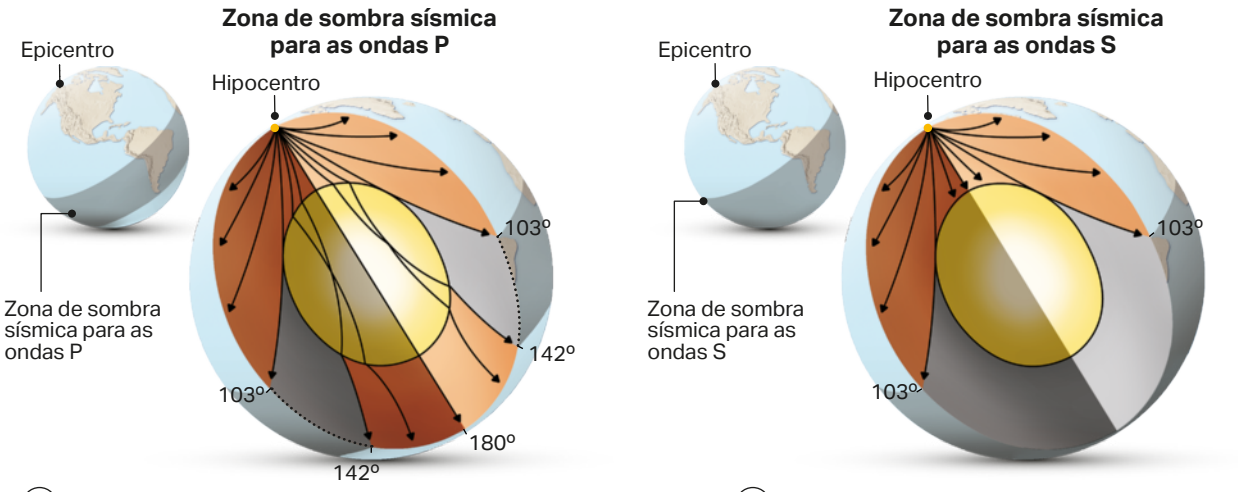
Fig. 18 Localização da descontinuidade de Moho.

Responde tu

1. Explica o conceito de descontinuidade de Mohorovicic.

A **descontinuidade de Gutenberg** foi descoberta por Beno Gutenberg, em 1913. Quando observou que para cada sismo há uma parte da superfície da Terra onde os sismógrafos não registam ondas sísmicas, Gutenberg definiu a **zona de sombra sísmica** – local da superfície terrestre onde não são detetadas ondas sísmicas diretas provenientes de um evento sísmico. A zona de sombra sísmica está situada à distância métrica de 11 459 km a 15 798 km do epicentro, e à distância angular de 103° a 142° do epicentro. Esta zona deve-se à **fronteira entre o manto e o núcleo externo**, ou seja, o manto é rochoso e sólido e o núcleo externo é metálico e líquido.

Fig. 19 Beno Gutenberg (1889-1960).



(A) As ondas P são refratadas na fronteira manto-núcleo externo e não atingem a zona de sombra sísmica.

(B) As ondas S não se propagam no núcleo externo, originando a zona de sombra sísmica.

Fig. 20 Zona de sombra sísmica e descontinuidade de Gutenberg ou CMB, *core-mantle boundary*.

A **descontinuidade de Lehmann** foi descoberta por Inge Lehmann, em 1936. Quando analisou sismogramas, Lehmann concluiu que, aos 5150 km, as ondas P chocavam contra material sólido, pois aumentavam a sua velocidade de propagação. Estes dados permitiram deduzir a presença de uma **fronteira entre o núcleo externo e o núcleo interno**, ou seja, o núcleo externo é líquido e o núcleo interno é sólido.

Fig. 21 Inge Lehmann (1888-1993).

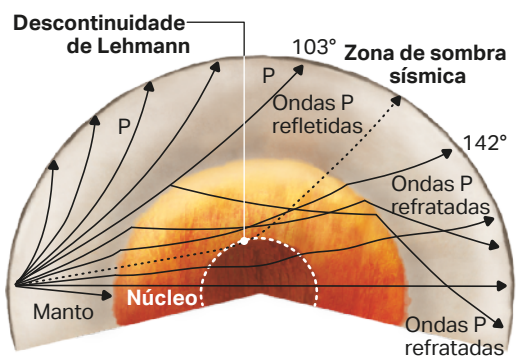


Fig. 22 Descontinuidade de Lehmann ou ICB, *inner core boundary*.

Atividade experimental Efeitos das ondas sísmicas

Podes planificar e simular o efeito das ondas sísmicas nos materiais terrestres e nas construções através de modelos. As simulações, embora sejam analogias entre os modelos e a realidade, ajudam a compreender processos complexos, como os efeitos dos sismos.

Material

- Copos de plástico
- Moedas
- Areia, farinha, borras de café
- Água

Procedimento

1. Coloca areia seca num copo e três moedas na vertical, até metade.
2. Repete a montagem experimental anterior molhando a areia antes de colocares as moedas.
3. Roda cada um dos copos no sentido anti-horário ao mesmo tempo que aplicas uma série de pancadas leves na borda do copo.
4. Observa e regista os resultados. Podes repetir o procedimento com outros materiais.

Fig. 1 Montagem experimental.

Discussão

1. Escreve a questão problema.
2. Refere a variável ou as variáveis:
   2.1. independente(s); **2.2.** dependente(s); **2.3.** controlada(s).
3. Descreve a conclusão da atividade experimental.

Aprende mais

A ciência e a tecnologia não são ainda capazes de prever com rigor os sismos, mas podem ajudar a minimizar os seus efeitos, já que a maioria dos estragos é devida à queda de construções. A **engenharia sísmica** faz ensaios de resistência sísmica em diversas estruturas. A parede a ser ensaiada na figura, apresenta um dano típico que ocorre durante um sismo.

Atividade experimental Arranha-céus sismorresistentes

Os sistemas de amortecimento de massa sintonizada são dispositivos de precisão dos mais altos arranha-céus do mundo. Podes planificar e simular o funcionamento destas maravilhas da engenharia através de modelos. Recorda que as simulações, embora sejam analogias entre os modelos e a realidade, ajudam a compreender processos complexos, como os efeitos dos sismos.

Material

- Garrafas de plástico
- Pêndulo com fio e uma esfera de ferro
- Cronómetro

Procedimento

1. Coloca sobre a mesa duas garrafas iguais.
2. Prepara uma delas com um pêndulo, como na figura 1.
3. Abana ligeiramente a mesa.
4. Regista o tempo que cada uma das garrafas permanece na vertical.

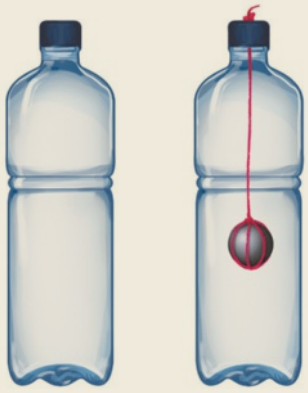
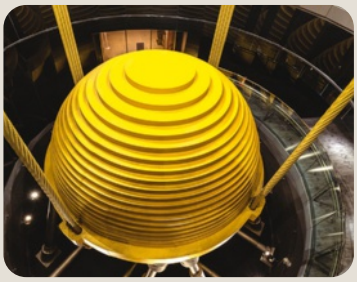


Fig. 1 Montagem experimental.

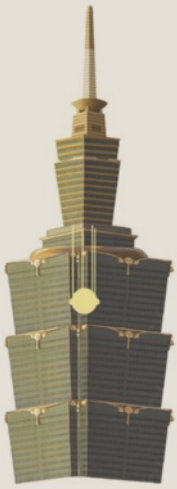
Discussão

1. Escreve a questão problema.
2. Refere a variável ou as variáveis:
   - **2.1.** independente;
   - **2.2.** dependente;
   - **2.3.** controlada.
3. Descreve a conclusão da atividade experimental.

Aprende mais



Os **sistemas de amortecimento de massa sintonizada** são compostos por elementos de grande dimensão, que podem atingir várias centenas de toneladas de peso. Encontram-se conectados à estrutura principal do edifício, protegendo-o dos efeitos dinâmicos do vento ou de origem sísmica, através da redução da amplitude da vibração, por intermédio da absorção da energia cinética. Um dos exemplos é o mega-arranha-céus Taipei 101, em Taiwan. Este edifício possui um enorme amortecedor esférico, com cerca de 660 toneladas, o maior do mundo.



Em resumo...

O que é um sismo?

- Um **sismo** é um movimento vibratório da litosfera devido a uma libertação brusca de energia armazenada nas rochas.
- Os **macrossismos** têm grande intensidade e os **microssismos** têm pequena intensidade.
- Os **abalos premonitórios** são sismos de menor intensidade que precedem um grande sismo. As **réplicas** são sismos que sucedem ao sismo principal.

Quais são os parâmetros de caracterização sísmica?

- O **hipocentro** ou foco é o local da litosfera onde acontece a libertação súbita de energia sob a forma de ondas sísmicas. O **epicentro** é o local à superfície da litosfera situado na vertical do hipocentro. A **profundidade focal** é a distância entre o epicentro e o hipocentro. O **raio sísmico** é a direção perpendicular à frente da onda sísmica com origem no hipocentro.

O que é a teoria do ressalto elástico?

- A **teoria do ressalto elástico** explica a formação de um sismo: as forças tectónicas criam estados de **tensão** que vão deformando lentamente as rochas.
- As rochas vão acumulando energia até um limite máximo em que a resistência das rochas à tensão é excedida e ocorre uma **falha** – rotura acompanhada de movimento relativo entre dois blocos rochosos.

Como caracterizar as ondas sísmicas?

- As **ondas internas** têm origem no hipocentro e propagam-se no interior da Terra e são **ondas P** e **ondas S**.
- As **ondas superficiais** têm origem na superfície da Terra onde se propagam e são **ondas L** e **ondas R**.
- As internas e as superficiais são caracterizadas quanto à origem, forma de propagação, registo e efeitos.

O que são sismogramas?

- O **sismógrafo** é um instrumento de precisão que deteta as vibrações causadas pelas ondas sísmicas.
- O **sismograma** é o registo obtido num sismógrafo e onde ficam registados os tempos de chegada e a amplitude das diferentes ondas sísmicas.

Em resumo…

Como determinar a localização do epicentro?

- Determina-se o **intervalo S-P** a partir do sismograma. O intervalo S-P depende da **distância epicentral** – distância entre a estação sismográfica e o epicentro do sismo.
- A distância epicentral permite traçar, relativamente à estação sismográfica, uma circunferência. A análise de três sismogramas permite traçar três circunferências cujo ponto de interseção coincide com o seu epicentro.

Quais são as escalas de avaliação sísmica?

- A **magnitude sísmica** é a quantidade de energia libertada no hipocentro. A **Escala de Richter** é quantitativa, aberta e mede a magnitude de um sismo.
- A **intensidade sísmica** é a medida dos seus efeitos nas populações, objetos e estruturas. A **Escala Internacional** ou **Escala de Mercalli Modificada** e a **Escala Macrossísmica Europeia** são qualitativas, com doze graus e medem a intensidade de um sismo.

O que é uma carta de isossistas?

- A **carta de isossistas** é um mapa onde estão desenhadas **isossistas** – linhas curvas, ao redor do epicentro, que delimitam as zonas com igual intensidade sísmica.

Qual é a importância da ciência e da tecnologia na previsão e prevenção do risco sísmico?

- A **previsão sísmica** é o ato de prever a ocorrência de um sismo de modo a que se possam salvaguardar pessoas e bens, dentro de um prazo curto. Ainda não é possível prever com exatidão a ocorrência de um sismo, mas a ciência e a tecnologia desenvolvem **instrumentos de monitorização** e procuram determinar a probabilidade da sua ocorrência.
- O **risco sísmico** é a percentagem provável de danos causados por um sismo e é identificado em **cartas de risco sísmico**.
- Os principais riscos dos sismos são a **destruição de edifícios** e infraestruturas, o deslizamento de solos e a ocorrência de um ***tsunami*** – grande onda desencadeada por um sismo com epicentro no fundo oceânico ou **maremoto**.
- A **minimização do risco sísmico** inclui a identificação de zonas de maior risco, a construção de estruturas sismorresistentes, a elaboração de planos de emergência e a promoção na educação das populações.
- As pessoas devem adotar **medidas de segurança antes, durante e após um sismo**.

Em resumo…

Como se caracteriza a sismicidade em Cabo Verde?

- Em Cabo Verde existem **sismos de origem vulcânica** e **sismos de origem tectónica**.
- O **risco** sísmico é maior nas ilhas Brava, Santo Antão e Fogo, especialmente pelo impacto nas infraestruturas e habitações.
- Os sismos podem desencadear **movimentos de vertente** – movimentos de massas de rocha e/ou solo instabilizadas.
- O **INMG** de Cabo Verde é a entidade responsável pela monitorização sísmica. A **ENRRD** de Cabo Verde pretende reduzir o risco sísmico.

Qual é o contributo das ondas sísmicas para o estudo do interior do planeta?

- Uma **superfície de descontinuidade** é uma zona de fronteira entre meios da geosfera com propriedades distintas, onde uma onda sísmica pode ser refletida ou refratada.
- As **descontinuidades sísmicas** são superfícies de descontinuidade onde as ondas sísmicas mudam de velocidade, de direção ou não se propagam.
- A **descontinuidade de Mohorovicic** é a fronteira entre a crusta e o manto. No manto superior existe uma **zona de baixa velocidade** onde ocorre uma diminuição da velocidade das ondas sísmicas internas.
- A **descontinuidade de Gutenberg** é a fronteira entre o manto, sólido, e o núcleo externo, líquido. A **zona de sombra sísmica** é o local da superfície terrestre onde não são detetadas ondas sísmicas diretas provenientes de um evento sísmico.
- A **descontinuidade de Lehmann** é a fronteira entre o núcleo externo, líquido, e o núcleo interno, sólido.

Como se pode simular os efeitos dos sismos?

- A simulação dos efeitos dos sismos pode ser realizada numa **atividade experimental** com variáveis dependentes, independentes e controladas.
- As simulações, embora sendo analogias entre os modelos e os processos naturais, ajudam a compreender acontecimentos complexos, como os efeitos dos sismos.

Teste formativo

1 **Lê atentamente o texto e observa a figura 1. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

Entre 16 de novembro de 1980 e 5 de maio de 1981 ocorreu uma crise sísmica nas ilhas do Fogo e Brava. Na Brava os sismos fizeram-se sentir em toda a ilha, particularmente na Vila de Nova Sintra, causando queda de uma boa parte do estuque de alguns edifícios públicos e privados e houve desmoronamentos de rochas. Não se registaram perdas humanas nem materiais. A ocorrência desta crise sísmica levou à instalação da primeira rede de monitorização sísmica em Cabo Verde, tendo sido instalada nas ilhas do Fogo e Brava. Os inquéritos realizados permitiram a elaboração de um mapa de intensidades médias (Fig. 1).

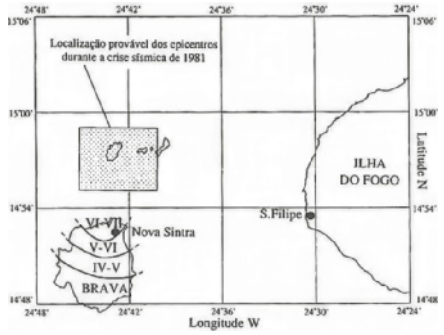


Fig. 1

Baseado em: Vera Alfama. 2016. *Avaliação dos perigos geológicos na Ilha Brava (Cabo Verde): implicações para o planeamento de emergência (Tese de doutoramento).* Departamento de Geociências da Universidade dos Açores.

1.1. O mapa da figura 1 denomina-se…
- **(A)** carta de isossistas.
- **(B)** escala de magnitudes.
- **(C)** carta de risco sísmico.
- **(D)** escala sísmica.

1.2. Os desmoronamentos referidos no texto foram…
- **(A)** *tsunamis* ou raz de maré.
- **(B)** abalos premonitórios.
- **(C)** movimentos de vertente.
- **(D)** réplicas sísmicas.

1.3. A maior… média foi sentida pela população que vive na zona…
- **(A)** magnitude… norte da Brava.
- **(B)** intensidade… sul do Fogo.
- **(C)** magnitude… sul do Fogo.
- **(D)** intensidade… norte da Brava.

1.4. A localização de epicentros proporcionada pelos registos de duas estações sísmicas e pelos inquéritos efetuados indicam…
- **(A)** como área epicentral provável o grupo de ilhéus situados a norte da Brava.
- **(B)** como área epicentral provável o grupo de ilhéus situados a norte do Fogo.
- **(C)** que os sismogramas foram registados nos ilhéus situados a norte da Brava.
- **(D)** que os sismogramas foram registados nos ilhéus situados a norte do Fogo.

Teste formativo

1.5. A Vila de Nova Sintra sentiu o sismo com... intensidade, devido a estar...
(A) menor... menos distante do epicentro.
(B) maior... mais próxima do epicentro.
(C) menor... mais próxima do hipocentro.
(D) maior... mais distante do hipocentro.

1.6. Os sismos referidos no texto são... e ocorreram devido ao facto de as tensões acumuladas nas rochas do fundo oceânico terem... o limite de resistência dos materiais.
(A) interplaca... reduzido
(B) interplaca... atingido
(C) intraplaca... reduzido
(D) intraplaca... atingido

2 **Explica a importância da afirmação do texto: "A ocorrência desta crise sísmica levou à instalação da primeira rede de monitorização vulcânica em Cabo Verde."**

3 **Ordena as letras de A a E de modo a reconstituir a sequência cronológica dos processos relacionados com os sismos do texto.**
A – Formação das ondas superficiais.
B – Chegada das ondas S à Vila de Nova Sintra.
C – Cálculo da distância epicentral na Vila de Nova Sintra
D – Chegada das ondas P ao epicentro.
E – Propagação das ondas superficiais a partir do epicentro.

4 **Estabelece a correspondência correta entre as frases da coluna I e os termos da coluna II.**

Coluna I	Coluna II
1. Local de origem das ondas sísmicas. **2.** Direção perpendicular à frente da onda sísmica com origem no hipocentro. **3.** Local à superfície da litosfera situado na vertical do foco. **4.** Sismos que precedem um grande sismo. **5.** Sismos que sucedem ao sismo principal.	**A** – Hipocentro **B** – Epicentro **C** – Réplicas **D** – Abalos premonitórios **E** – Raio sísmico

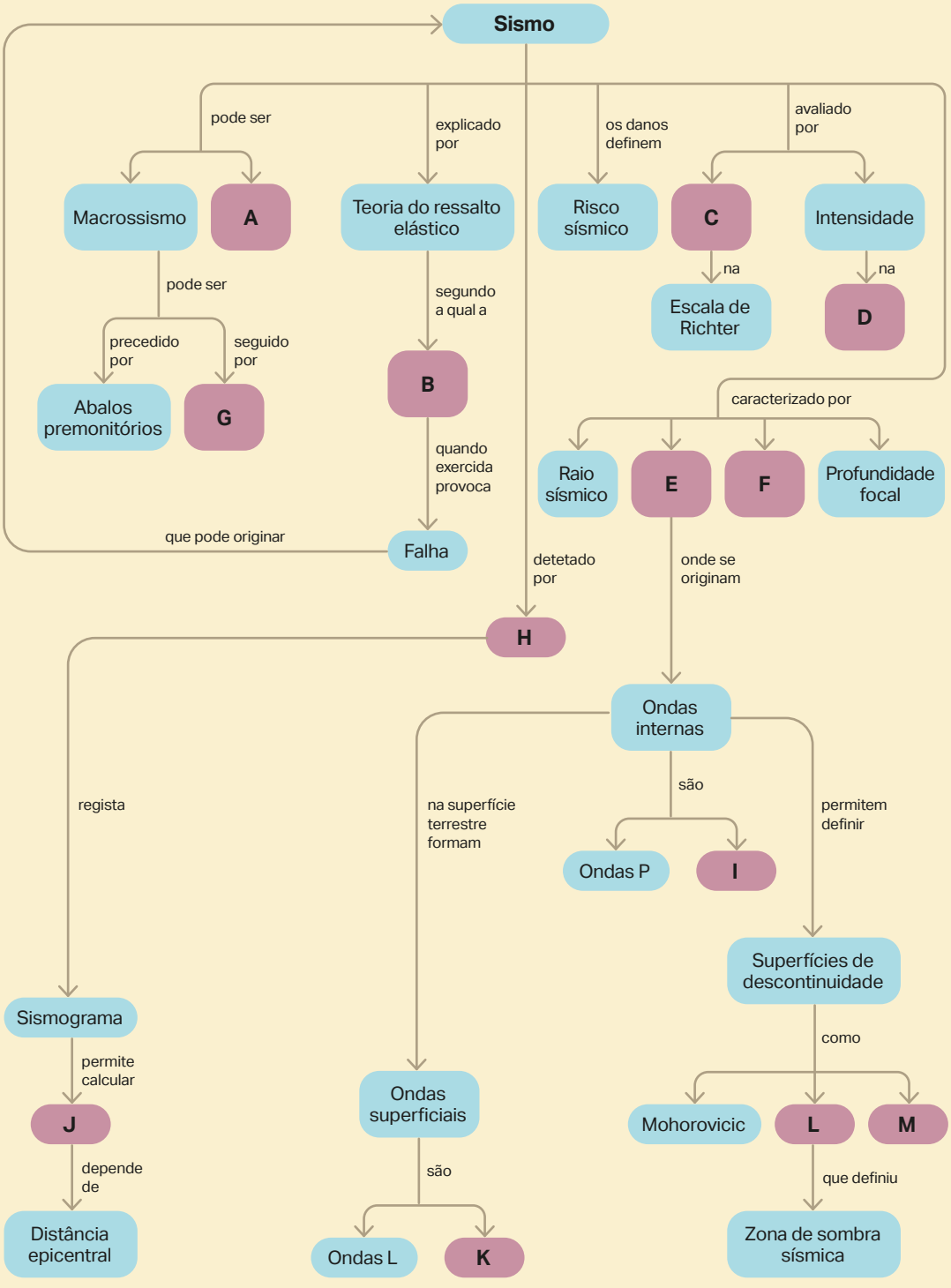
5 **O INMG de Cabo Verde registou, dia 30 de outubro de 2023, às 21 horas, um sismo com uma magnitude de 4,8. Os epicentros localizaram-se entre dois a três quilómetros da costa da ilha, entre Vinagre e Aguada.**

5.1. Denomina a escala usada para avaliar este sismo.

5.2. Explica porque poderia este sismo ter causado um *tsunami*.

5.3. Justifica a afirmação: "Diversos investigadores nacionais salientam a importância da redução do risco sísmico que implica, nomeadamente, reduzir a vulnerabilidade das construções em Cabo Verde."

Mapa de conceitos



3

Estudo da estrutura interna da geosfera

3.1. Métodos diretos e indiretos para o estudo da estrutura interna da Terra

3.2. Estrutura interna da Terra

O estudo da atividade vulcânica e sísmica fornece dados importantes sobre o interior da geosfera. As erupções vulcânicas, como as da ilha do Fogo, permitem conhecer materiais que tiveram origem em profundidade. A análise da lava, dos piroclastos e dos gases fornece aos geólogos e às geólogas informações importantes sobre a composição dos materiais do interior da Terra, nomeadamente sob o arquipélago de Cabo Verde.

3.1. Métodos diretos e indiretos para o estudo da estrutura interna da Terra

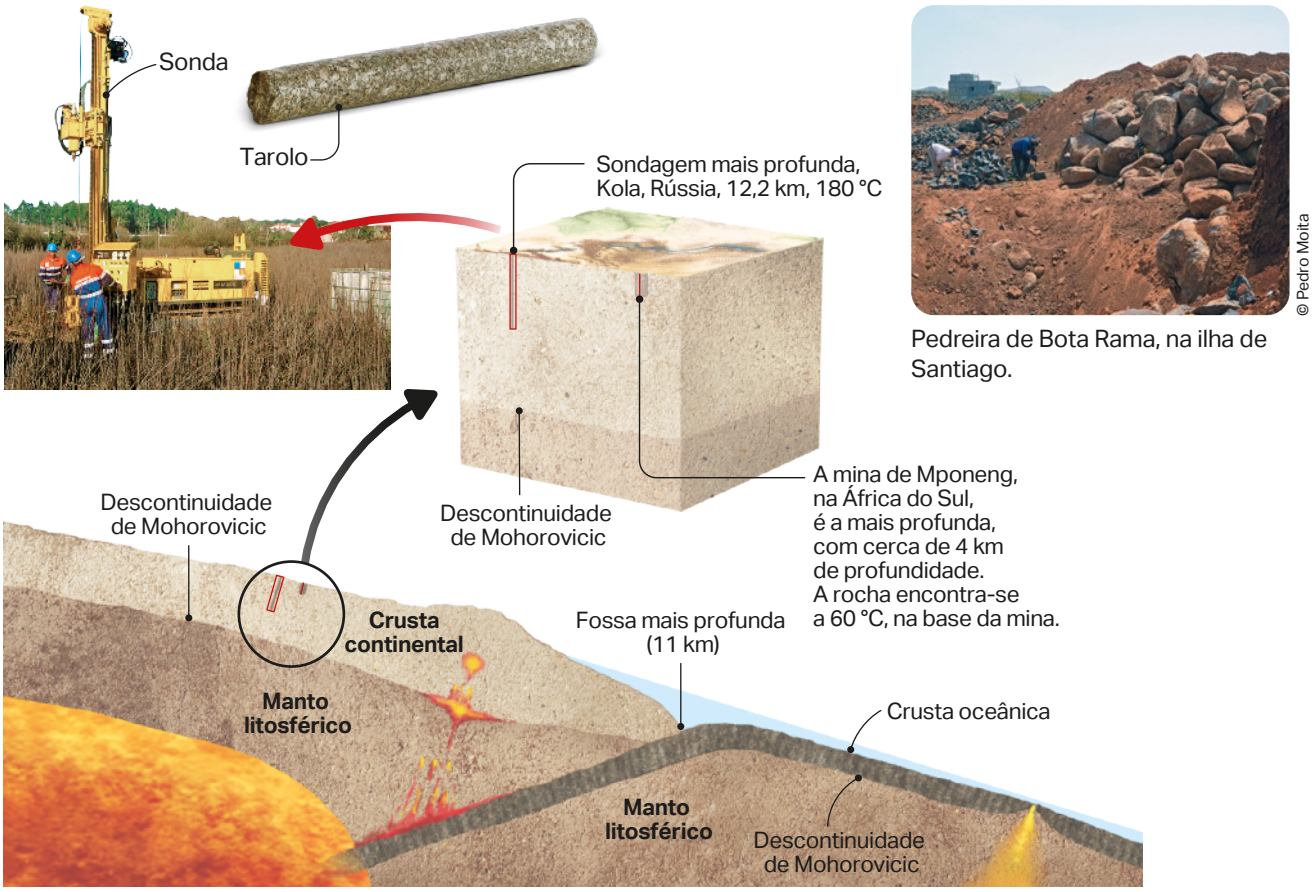
O estudo da estrutura interna da Terra é complexo, principalmente devido a não existirem ainda instrumentos que resistam ao aumento da temperatura e da pressão com a profundidade. Por isso, os geocientistas utilizam, além de métodos diretos, métodos indiretos para o estudo do interior da Terra.

Métodos diretos

Os **métodos diretos** fornecem dados obtidos a partir da observação direta das rochas e dos processos geológicos. Estes métodos incluem o estudo de amostras de rochas provenientes de minas e pedreiras, de sondagens, do vulcanismo e de afloramentos.

As **minas** e **pedreiras** são escavações para obtenção de rochas e minerais cujas amostras permitem estudar a sua composição na parte superior da crusta da Terra.

As **sondagens** geológicas são perfurações na crusta terrestre que permitem recolher testemunhos ou tarolos – amostras cilíndricas de material obtido por perfuração com sonda geológica.



Pedreira de Bota Rama, na ilha de Santiago.

© Pedro Moita

Fig. 1 Nas pedreiras, minas e sondagens são recolhidas amostras de rochas apenas da crusta terrestre.

O **vulcanismo** fornece dados a partir de materiais da atividade vulcânica, provenientes de magmas formados em profundidade na Terra. Durante a sua subida, o magma pode remover e arrastar **xenólitos** – fragmentos de rochas encaixantes, arrancados durante a ascensão do magma, que ficam incluídos na rocha magmática. Os xenólitos fornecem informações sobre a crusta ou o manto superior.

Um **afloramento** é um local com exposição, na superfície terrestre, de rochas que podem ter sido formadas em profundidade, na crusta ou no manto. Os afloramentos podem resultar da erosão das camadas que cobriam as rochas, de processos tectónicos de formação de montanhas ou da ação humana, como, por exemplo, em cortes de estradas ou em pedreiras. Em **Cabo Verde** observam-se vários afloramentos, como na **ilha de Santiago**, onde ocorrem rochas vulcânicas, do mais antigo para o mais recente: o **Complexo Eruptivo Interno Antigo**, as **Formações dos Flamengos e dos Órgãos**, o **Complexo Eruptivo Principal do Pico da Antónia**, a **Formação de Assomada** e a **Formação do Monte das Vacas**.

Fonte: Vera Alfama, Uni-CV

Fig. 2 Basalto com xenólito, estrada de Chã das Caldeiras, na ilha do Fogo.

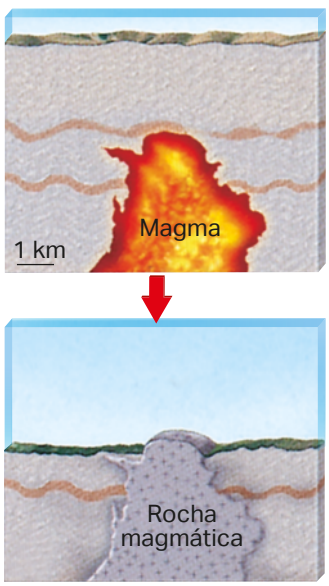


Fig. 3 Afloramento de uma rocha magmática.

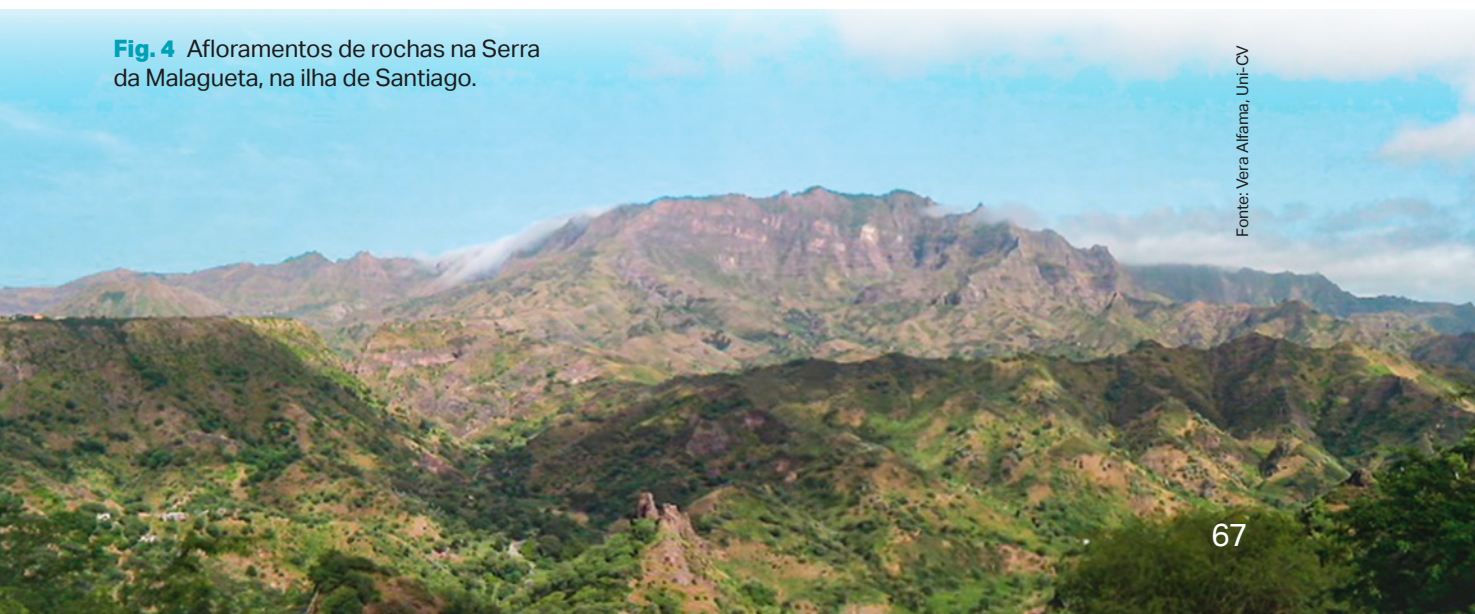


Fig. 4 Afloramentos de rochas na Serra da Malagueta, na ilha de Santiago.

Fonte: Vera Alfama, Uni-CV

Métodos indiretos

Os **métodos indiretos** fornecem dados sobre as zonas do interior da Terra, não acessíveis aos geocientistas através de métodos diretos. Estes métodos incluem o estudo de dados provenientes da geotermia, do geomagnetismo e da sismologia.

A **geotermia** estuda a variação da temperatura no interior da Terra. Designa-se por **gradiente geotérmico** a variação da temperatura com a profundidade. Na crusta terrestre, o gradiente geotérmico é cerca de 25 °C por quilómetro de profundidade, diminuindo à medida que a profundidade aumenta. O **grau geotérmico** é o número de metros, em profundidade, na vertical, para que a temperatura do interior da Terra aumente 1 °C. Nas zonas mais superficiais, o grau geotérmico é de cerca de 33 metros e este valor aumenta nas zonas mais profundas. O **fluxo térmico** é a transferência ou dissipação de calor do interior da Terra para o exterior. Esta dissipação é maior nas dorsais oceânicas e menor nos continentes.

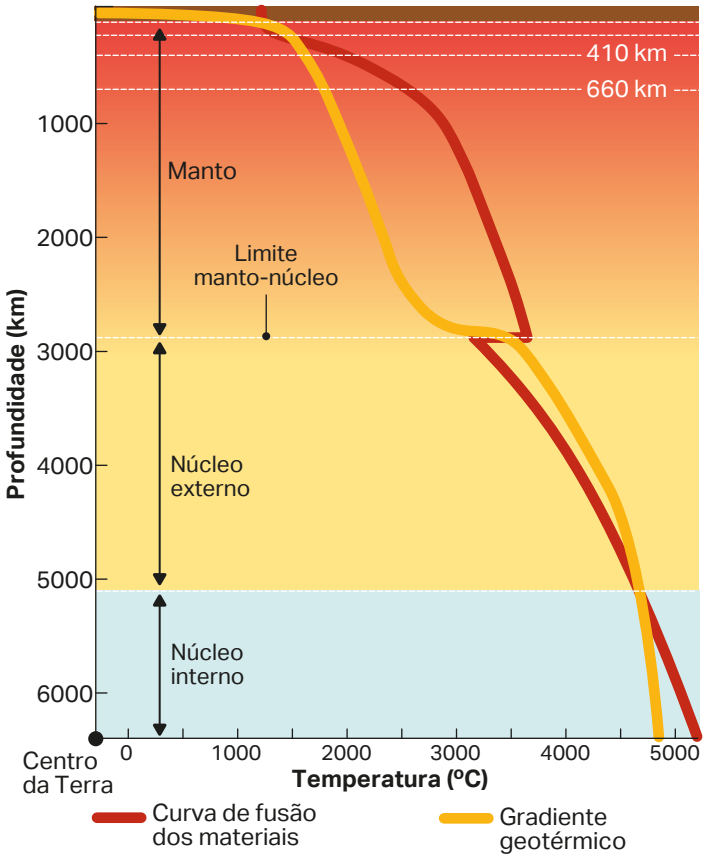


Fig. 5 Variação do gradiente geotérmico e da temperatura de fusão dos materiais no interior da Terra.

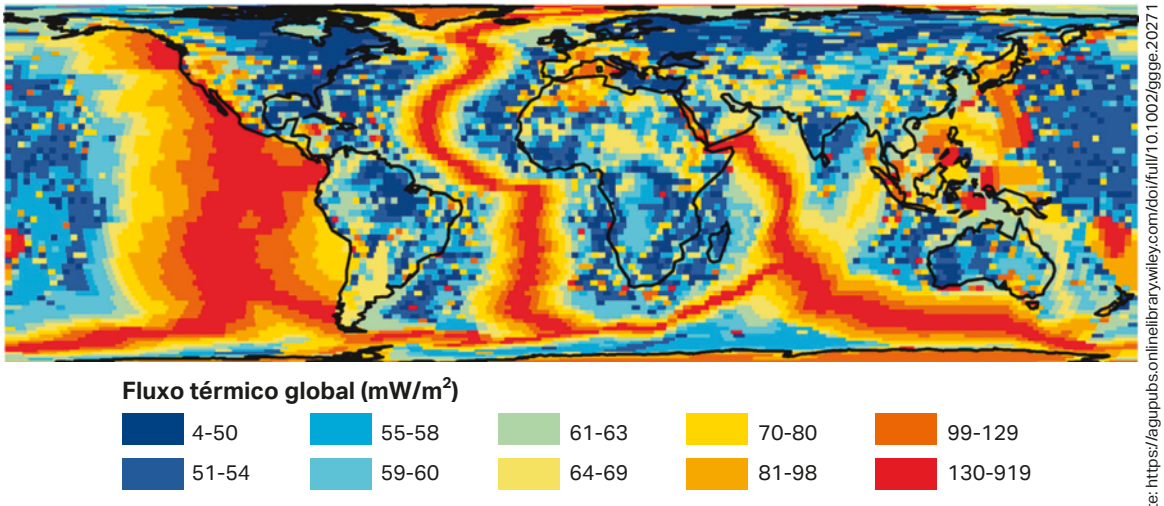


Fig. 6 Fluxo térmico global (valores em mW/m², miliwatt por metro quadrado).

Fonte: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ggge.20271

O **geomagnetismo** é o estudo do magnetismo terrestre. A Terra é cercada por um campo de forças magnéticas – **campo magnético terrestre**. O campo magnético terrestre pode ser visualizado pela distribuição da limalha de ferro, segundo linhas imaginárias, na proximidade de um íman. Estas linhas apontam na direção da Terra no polo norte magnético, e para fora da Terra no polo sul magnético. Por outras palavras, as linhas de força assemelham-se a um dipolo magnético, ou seja, um campo magnético com dois polos. A agulha de uma bússola aponta na direção do polo norte magnético.

Apesar de o campo magnético da Terra se assemelhar ao campo gerado por um íman, esta não é a explicação para a sua origem. De facto, os materiais perdem as propriedades magnéticas a temperaturas acima de 500 °C, aproximadamente, e, pelo conhecimento da propagação das ondas sísmicas, sabe-se que o núcleo externo da Terra é liquido e com temperaturas muito elevadas. Assim, a hipótese atualmente mais aceite para a forma como é gerado o campo magnético terrestre explica que, no núcleo externo, o movimento rotativo do ferro no estado líquido, provocado pela rotação da Terra e pelas correntes de convecção do manto astenosférico, gera correntes elétricas e, consequentemente, um forte campo magnético.

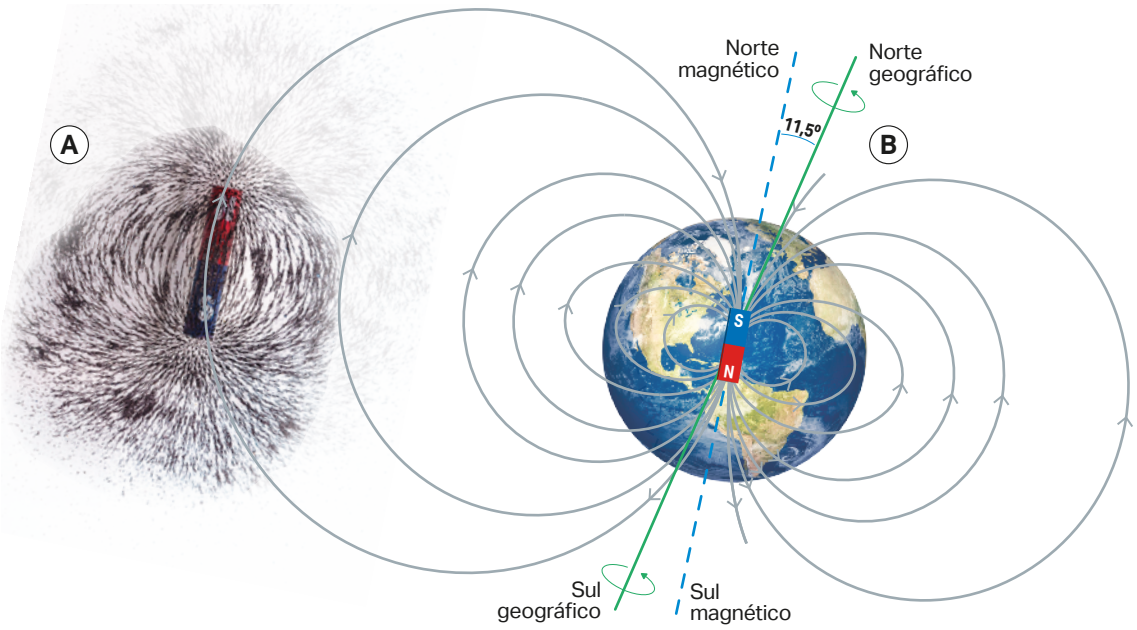


Fig. 7 Campo magnético terrestre: A – Alinhamento da limalha de ferro à volta de um íman; B – O eixo do dipolo magnético faz um ângulo aproximado de 11° com o eixo de rotação da Terra.

Responde tu

1. **Distingue métodos diretos de indiretos para o estudo do interior da Terra.**
2. **Comenta a afirmação: "O grau geotérmico diminui à medida que aumenta a profundidade no interior da Terra."**

No momento de formação de uma rocha vulcânica, como o basalto, alguns minerais, como a magnetite, podem adquirir, de forma permanente, uma orientação definida de acordo com a direção do campo magnético no momento da sua formação. Assim, as rochas são testemunhos do **paleomagnetismo** – estudo do campo magnético terrestre ao longo do tempo, registado na magnetização de rochas.

O paleomagnetismo comprova que o campo magnético terrestre tem variado ao longo do tempo geológico. Atualmente, as linhas de força estão orientadas no sentido do campo magnético e, no passado, os polos magnéticos inverteram as posições – **inversão de polaridade**. As rochas com **polaridade normal** são aquelas cujos minerais magnéticos têm a direção semelhante à do campo magnético atual. As rochas com **polaridade inversa** são aquelas cujos minerais magnéticos têm a direção oposta à do campo magnético atual.

O estudo do paleomagnetismo nas rochas dos fundos oceânicos demonstra que as rochas mais recentes estão junto ao rifte, o que sugere a **expansão dos fundos oceânicos** – processo geológico que ocorre ao longo do rifte das dorsais oceânicas e é responsável pelo afastamento dos continentes e pelo alargamento dos oceanos.

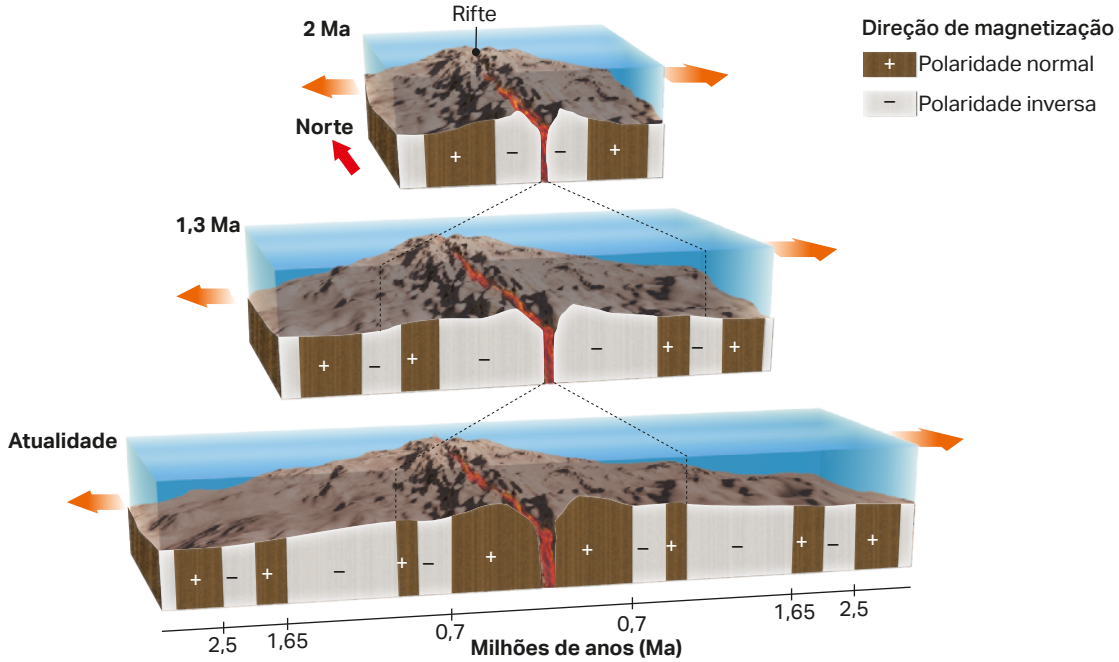
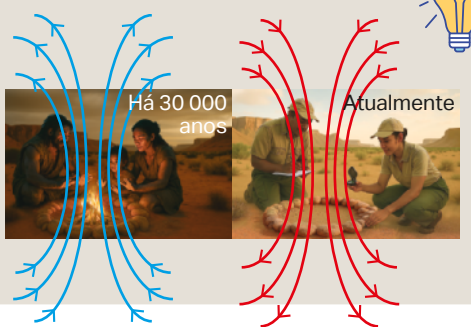


Fig. 8 O padrão de bandas de polaridade normal e inversa é simétrico em relação à dorsal oceânica.

Aprende mais

Há 30 mil anos o campo magnético terrestre tinha **polaridade inversa**, tal como é comprovado pelas rochas magnetizadas descobertas pelos geocientistas. As rochas, ao arrefecerem após a última fogueira, magnetizaram na direção do campo magnético antigo, deixando um registo permanente, tal como um fóssil é um registo do ser vivo do passado geológico.



A **sismologia**, através do estudo do comportamento das ondas sísmicas, permite tirar conclusões acerca da estrutura interna da Terra. De facto, as ondas sísmicas modificam a sua velocidade e direção de propagação ao atravessarem materiais com diferente estado físico e rigidez e, em certas situações, algumas ondas não se propagam. A velocidade das ondas sísmicas aumenta com a rigidez e diminui com o aumento de densidade dos materiais. Ao atingirem certas profundidades, a variação brusca de velocidade das ondas sísmicas permite detetar **superfícies de descontinuidade** que separam zonas cujos materiais têm diferentes propriedades físicas e químicas.

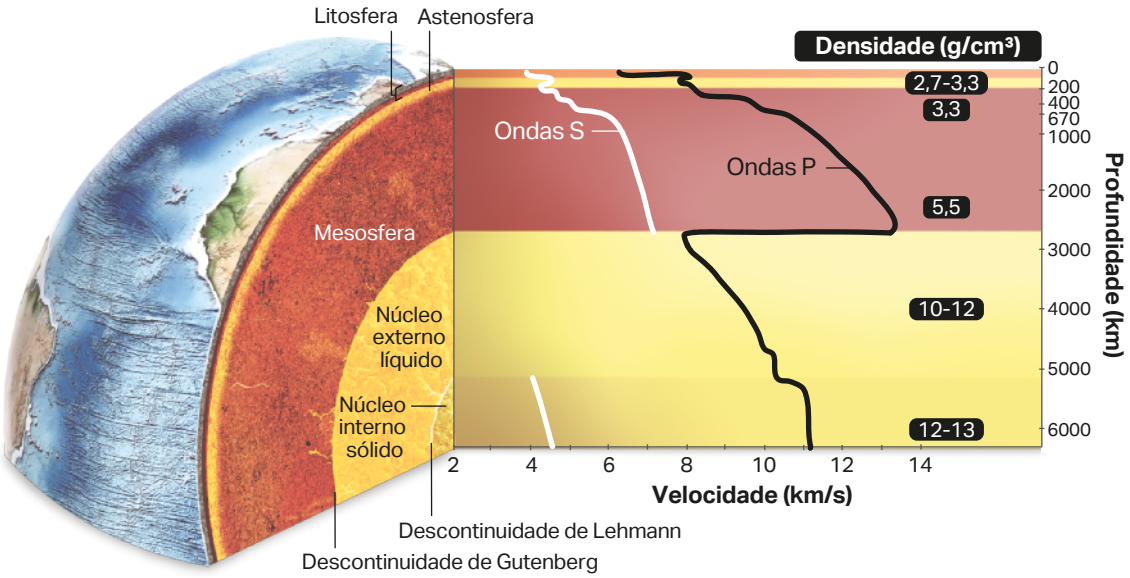


Fig. 9 Velocidade das ondas sísmicas P e S no interior da Terra.

Responde tu

1 **Transcreve e completa as frases sobre os contributos da sismologia para o conhecimento da estrutura interna da Terra.**

– Entre a crusta e o manto existe a descontinuidade de __A__, onde aumenta a velocidade das ondas __B__.

– No manto superior existe uma zona de __C__ velocidade sísmica, permitindo inferir uma diminuição da rigidez e um aumento da plasticidade, a que se dá o nome de __D__.

– Desde a base da astenosfera até à base do manto há um __E__ contínuo da velocidade das ondas sísmicas, permitindo supor um aumento da __F__ dos materiais com a profundidade, numa camada com o nome de mesosfera.

– A partir da descontinuidade de __G__ não há propagação de ondas __H__ e as ondas __I__ diminuem de velocidade, permitindo inferir a existência de um núcleo externo líquido.

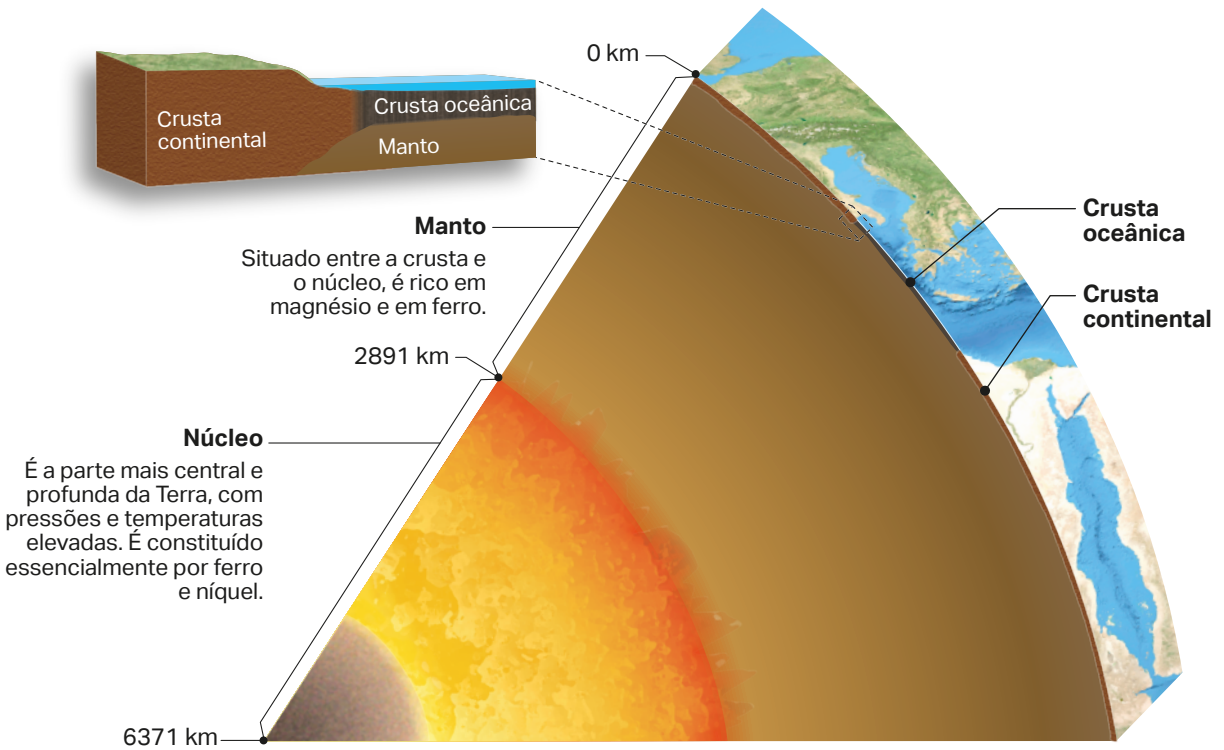
– A descontinuidade de __J__ separa o núcleo __K__ líquido do núcleo __L__ sólido, havendo propagação das ondas S e aumento de velocidade das ondas __M__.

3.2. Estrutura interna da Terra

Os dados obtidos através dos métodos diretos e indiretos, como a composição química e as propriedades físicas dos materiais que constituem a geosfera, permitiram definir **dois modelos da estrutura interna da Terra**, o modelo químico e o modelo físico.

Modelo químico

O modelo baseado na composição química dos materiais considera a estrutura interna da Terra constituída por **crusta** – crusta continental e crusta oceânica –, **manto** e **núcleo**.

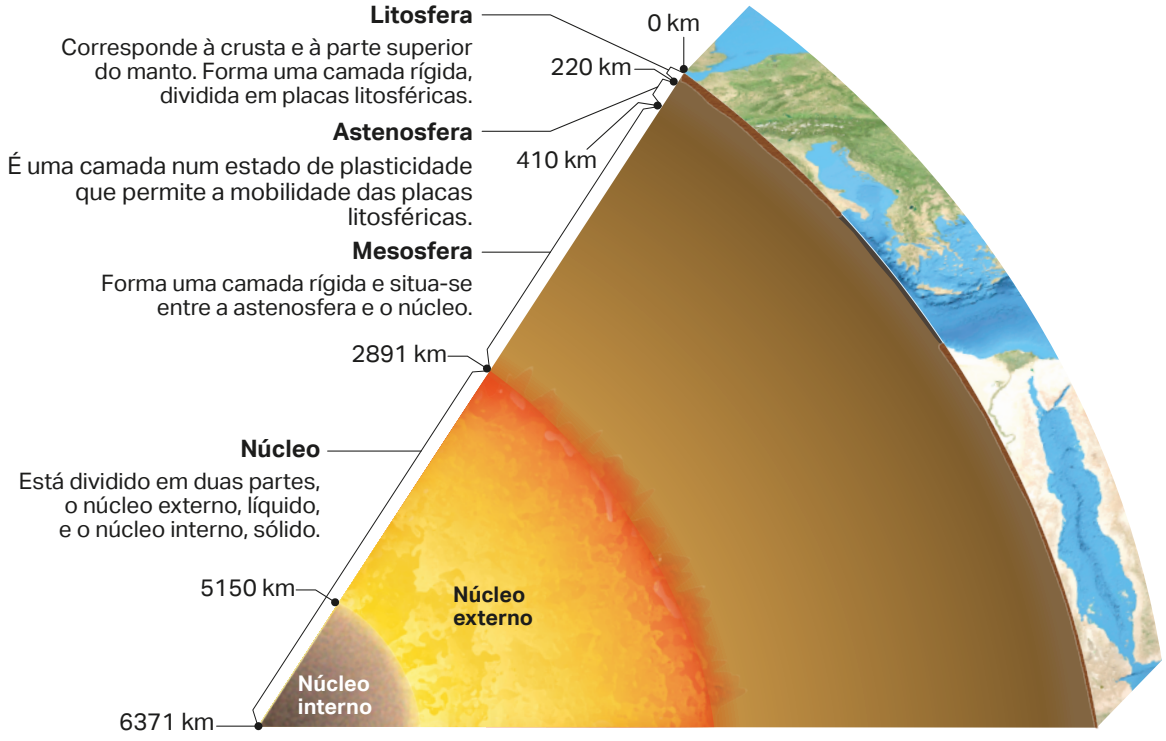


Camada da geosfera		Composição química	Composição litológica	Densidade (g/cm^3)	Profundidade (km)	Espessura média (km)
Crusta	Crusta continental	Silício Alumínio	Granítica	2,7	0 20-70	40
	Crusta oceânica	Silício Magnésio	Basáltica	2,9	0 7-10	
Manto		Ferro Magnésio	Peridotítica	3,3 5,7	7-70 2891	2851
Núcleo		Níquel Ferro	Metálica	9,4 17,0	2891 6371	3480

Fig. 10 Modelo químico da estrutura interna da Terra.

Modelo físico

O modelo baseado nas propriedades físicas dos materiais considera a estrutura interna da Terra constituída por **litosfera**, **astenosfera**, **mesosfera**, **endosfera externa** ou **núcleo externo** e **endosfera interna** ou **núcleo interno**.



Camada da geosfera	Estado físico	Elasticidade Viscosidade	Profundidade (km)	Espessura média (km)
Litosfera	Sólido	Elástica	0 220	220
Astenosfera	Sólido	Viscosa	220 410	190
Mesosfera	Sólido	Viscosa	410 2891	2481
Endosfera externa / Núcleo externo	Líquido	Viscosa	2891 5150	2259
Endosfera interna / Núcleo interno	Sólido	Elástica	5150 6371	1221

Fig. 11 Modelo físico da estrutura interna da Terra.

Aprende mais

O modelo físico da estrutura interna da Terra ilustra bem o **carácter dinâmico da Ciência**.
Se alguns autores defendem como limite da astenosfera os 410 km, outros referem que será perto dos 350 km e outros defendem que será perto dos 700 km, havendo quem mencione que não pode ultrapassar os 500 km. Tal como qualquer modelo científico, o modelo físico apresenta o **conhecimento científico** como **provisório**, ou seja, é sujeito a alterações, **subjetivo** e parcialmente baseado em inferências.

Atividade prática

Modelo de expansão do oceano Atlântico

Os basaltos formados nos fundos oceânicos são empurrados, para um e para o outro lado do rifte, pelos novos basaltos que continuamente se formam – expansão dos fundos oceânicos. Esta expansão é comprovada pela idade dos basaltos – mais antiga quanto mais afastados estão do rifte e mais recente quanto mais próximos estão do rifte –, e pela polaridade dos basaltos, polaridade normal e polaridade inversa, em alternância simétrica para ambos os lados do rifte.

Podes construir um modelo e simular a expansão do oceano Atlântico. Recorda que os modelos, mesmo os modelos científicos, embora sejam uma forma de explicar processos naturais, têm limitações: não representam exatamente a realidade e não são definitivos. São analogias que permitem simular processos reais, mas que ajudam a compreender processos complexos, como a expansão dos fundos oceânicos.

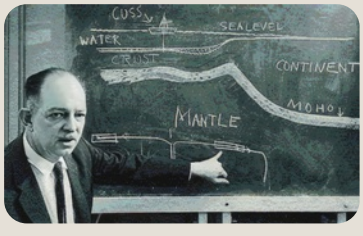
Material

- Folhas de cartolina
- Plasticina
- Mesas da mesma altura
- Marcadores coloridos
- Fotocópia dos continentes: África e América do Sul

Procedimento

1. Estende a plasticina para poderes sobrepor a fotocópia do continente africano.
2. Coloca a plasticina sobre a fotocópia e molda-a com a forma do continente.
3. Procede do mesmo modo para o continente sul-americano.
4. Aproxima as mesas, deixando apenas uma ranhura por onde entram as folhas de cartolina.
5. Cola os moldes de plasticina nas folhas de cartolina e coloca cada uma na respetiva mesa, como na figura 1.
6. Vai empurrando lentamente as folhas para cima. Observa o que acontece à posição dos continentes. Regista as tuas observações.
7. Coloca as folhas de cartolina na posição inicial. Procede como em 6. e, à medida que os continentes se afastam, pinta faixas coloridas.

Aprende mais



Durante a Segunda Guerra Mundial o geólogo americano **Harry Hess** cumpriu o serviço militar a bordo de submarinos, estudando os fundos oceânicos. Em 1962, publicou os seus estudos sobre a expansão dos fundos oceânicos que contribuíram para a formulação da **teoria da tectónica de placas**.

Fig. 1 Modelo de expansão do oceano Atlântico.

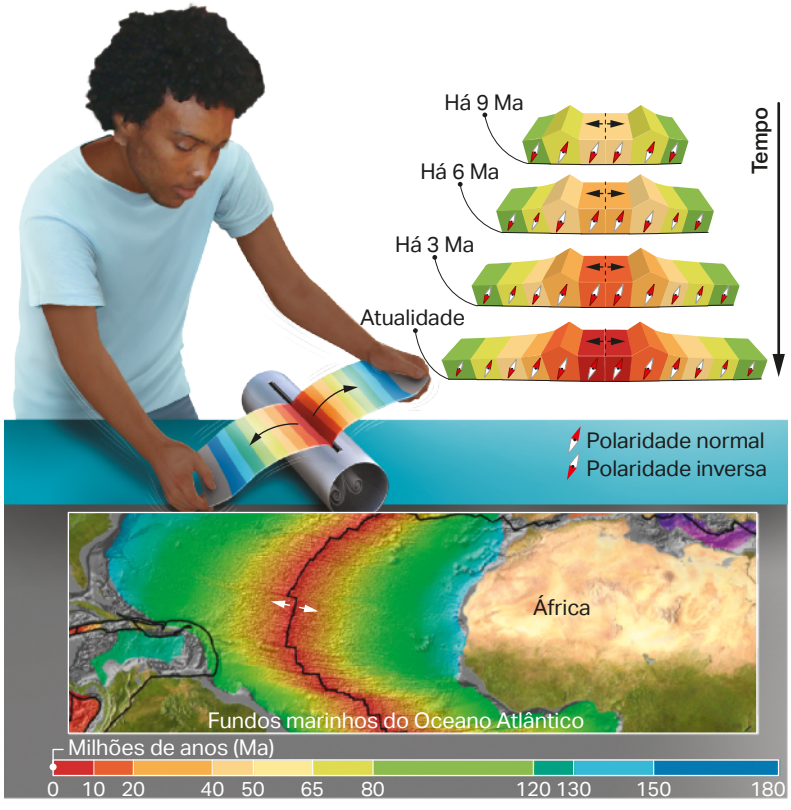


Fig. 2 Modelo de idades e polaridades dos basaltos do oceano Atlântico.

Discussão

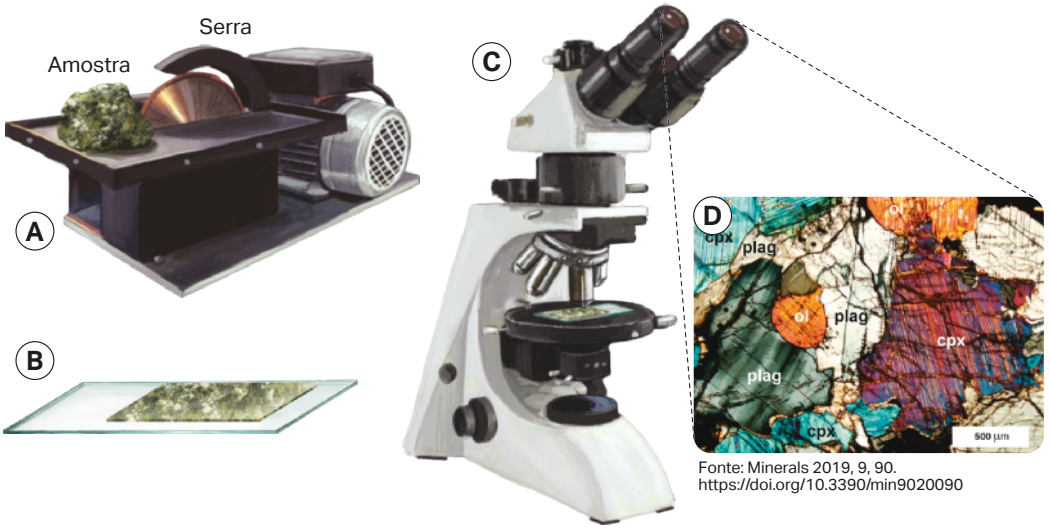
1. Podes também simular a expansão do oceano Atlântico, como o jovem da figura 2. Planifica uma atividade prática para fazer a simulação da figura.
2. Relaciona a idade dos basaltos com a sua distância ao rifte.
3. Descreve a distribuição das polaridades dos basaltos a partir do rifte, na atualidade.
4. Explica a simetria de idades e de polaridades dos basaltos em relação ao rifte.

Atividade prática

Xenólitos em rochas vulcânicas de Cabo Verde

Em várias ilhas do arquipélago de Cabo Verde, encontram-se xenólitos incrustados em basaltos alcalinos que, frequentemente, correspondem a amostras do manto transportadas até à superfície da Terra pelo magma ascendente durante erupções vulcânicas. Estes xenólitos são uma importante fonte de informações sobre a composição litosférica e de regiões do manto associadas ao vulcanismo alcalino.

Baseado em: M. H. Mendes, R. Caldeira, L. C. Silva e J. Munhá, https://repositorio.lneg.pt/bitstreams/7aa25f3e-a865-43c3-a4d2-d37b20c06151/download, pesquisado em 03-04-2025



Fonte: Minerals 2019, 9, 90. https://doi.org/10.3390/min9020090

Fig. 1 As amostras de basaltos e xenólitos são estudadas utilizando um microscópio petrográfico, especializado na observação de rochas: A – Corte da amostra para obtenção de uma porção de reduzida espessura; B – Lâmina delgada – fatia muito fina de rocha, colada numa lâmina de vidro e polida cuidadosamente até ficar tão fina que permita a passagem da luz; C – Microscópio petrográfico; D – Fotomicrografia de xenólito do Campo Vulcânico Submarino de Charles Darwin, Cabo Verde: olivina (ol), piroxena (cpx) e plagióclase (plag).

1. Explica a importância dos xenólitos para investigar o interior da geosfera.
2. Identifica as zonas do interior da geosfera referidas no texto.
3. Refere as rochas, do texto, onde estão incrustados os xenólitos.
4. Descreve o procedimento para obter uma lâmina delgada de uma rocha.
5. Nomeia o tipo de microscópio para observar lâminas delgadas de rochas.
6. Faz uma pesquisa sobre o Campo Vulcânico Submarino de Charles Darwin. Elabora um trabalho e apresenta-o à turma.

Em resumo…

O que são métodos diretos para investigar o interior da geosfera?

- Os **métodos diretos** fornecem dados obtidos a partir da observação direta das rochas e dos processos geológicos.

Qual é a importância das minas e sondagens?

- As **minas** e **pedreiras** são escavações para obtenção de rochas e minerais na parte superior da crusta da Terra.
- As **sondagens** geológicas são perfurações na crusta terrestre que permitem recolher tarolos.

Qual é a importância do vulcanismo e dos afloramentos?

- O **vulcanismo** fornece dados a partir de materiais da atividade vulcânica, provenientes de magmas formados em profundidade.
- Os **xenólitos** são fragmentos de rochas encaixantes, arrancados durante a ascensão do magma, que ficam incluídos na rocha magmática e fornecem informações sobre a crusta ou o manto superior.
- Um **afloramento** é um local com exposição, na superfície terrestre, de rochas que podem ter sido formadas em profundidade, na crusta ou no manto.
- Em Cabo Verde observam-se vários afloramentos, como os do **Complexo Eruptivo Interno Antigo**, na ilha de Santiago.

O que são métodos indiretos para investigar o interior da geosfera?

- Os **métodos indiretos** fornecem dados sobre as zonas do interior da Terra, não acessíveis aos geocientistas através de métodos diretos.

Qual é a importância da geotermia?

- A **geotermia** estuda a variação da temperatura no interior da Terra.
- O **gradiente geotérmico** é a variação da temperatura com a profundidade.
- O **grau geotérmico** é o número de metros, em profundidade, na vertical, para que a temperatura do interior da Terra aumente 1 °C.
- O **fluxo térmico** é a transferência ou dissipação de calor do interior da Terra para o exterior.

Qual é a importância do geomagnetismo?

- O **geomagnetismo** é o estudo do magnetismo terrestre.
- O **campo magnético terrestre** é um campo de forças magnéticas que cerca a Terra.

Em resumo...

Qual é a importância do paleomagnetismo?

- O **paleomagnetismo** é o estudo do campo magnético terrestre ao longo do tempo, registado na magnetização de rochas e tem variado ao longo do tempo geológico.
- A **inversão de polaridade** ocorre porque os polos magnéticos inverteram as posições no passado geológico.
- O paleomagnetismo sugere a **expansão dos fundos oceânicos** – processo geológico que ocorre ao longo do rifte das dorsais oceânicas e é responsável pelo afastamento dos continentes e pelo alargamento dos oceanos.

Qual é a importância da sismologia?

- A **sismologia**, através do estudo do comportamento das ondas sísmicas, permite tirar conclusões acerca da estrutura interna da Terra.
- A variação brusca de velocidade das ondas sísmicas em profundidade permite detetar **superfícies de descontinuidade** que separam zonas cujos materiais têm diferentes propriedades físicas e químicas.

Quais são os modelos propostos para a estrutura interna do globo terrestre?

- Os dados obtidos através dos métodos diretos e indiretos permitiram definir **dois modelos da estrutura interna da Terra**, o modelo químico e o modelo físico.

O que é o modelo químico?

- O **modelo químico** é baseado na composição química dos materiais e divide a estrutura interna da Terra em **crusta** – crusta continental e crusta oceânica –, **manto** e **núcleo**.
- A **crusta continental** tem composição granítica com silício e alumínio e a **oceânica** tem composição basáltica com silício e magnésio.
- O **manto** tem composição peridotítica com ferro e magnésio.
- O **núcleo** tem composição metálica com níquel e ferro.

O que é o modelo físico?

- O **modelo físico** é baseado nas propriedades físicas dos materiais e divide a estrutura interna da Terra em **litosfera**, **astenosfera**, **mesosfera**, **endosfera externa** ou **núcleo externo** e **endosfera interna** ou **núcleo interno**.
- A **litosfera**, a **astenosfera** e a **mesosfera** têm estado físico sólido.
- A **endosfera externa** ou **núcleo externo** tem estado físico líquido.
- A **endosfera interna** ou **núcleo interno** tem estado físico sólido.

Teste formativo

1 **Lê atentamente os textos. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

Texto A

Na vista panorâmica da ribeira de São João Baptista (São Gonçalo), pode ser identificada a Formação dos Flamengos, uma sequência vulcânica submarina, muito extensa e uniforme, formada por escoadas lávicas muito alteradas.

Baseado em: António Pina e Sónia Victória, *Rochas da ilha de Santiago – Cabo Verde*. Editorial Novembro. 2022.

Texto B

O geofísico Bruno Faria justificou os sismos que se registam na Brava nas últimas três semanas com a acumulação excessiva de magma na base da ilha. Mas não é assustador, garante, funcionando como uma espécie de "macaco de um automóvel", que levanta a ilha.

Baseado em: https://www.rtc.cv/tcv/video-details/nao-ha-nenhuma-alteracao-registada-no-vulcao-do-fogo-garante-o-geofisico-bruno-faria-que-afirma-que-o-quot-gigante-quot-esta-no-seu-estado-de-repouso-38723, pesquisado em 08-04-2025

1.1. O texto A refere-se a um… e o texto B a um… para o estudo da estrutura interna da Terra.

(A) modelo físico… modelo químico
(B) método direto… método indireto
(C) modelo químico… modelo físico
(D) método indireto… método direto

1.2. A estrutura geológica do texto A é…, um dos… para investigar o interior da geosfera.

(A) um afloramento… métodos diretos
(B) um afloramento… métodos indiretos
(C) uma mina… métodos indiretos
(D) um tarolo… métodos diretos

1.3. O texto B refere-se…, ciência que estuda…

(A) à geotermia… a variação da temperatura no interior da Terra.
(B) à vulcanologia… os materiais vulcânicos provenientes do interior da Terra.
(C) ao geomagnetismo… o campo de forças magnéticas que cerca a Terra.
(D) à sismologia… o comportamento das ondas sísmicas.

1.4. Os… que se podem encontram na ilha do texto… são fragmentos de rochas encaixantes, arrancados durante a ascensão do magma, que ficam incluídos na rocha magmática e fornecem informações sobre…

(A) xenólitos… A… a crusta ou o manto superior.
(B) tarolos de sondagem… A… a crusta ou o manto superior.
(C) xenólitos… B… o núcleo externo e o núcleo interno.
(D) fluxos térmicos… B… o núcleo externo e o núcleo interno.

Teste formativo

2 **As afirmações que se seguem dizem respeito a métodos para conhecer a estrutura interna da Terra. Seleciona a opção que as avalia corretamente.**

1 – O estudo do interior da Terra é complexo, devido ao aumento da temperatura.
2 – Os geocientistas estudam os métodos diretos e indiretos.
3 – Os métodos diretos permitem conhecer a maior parte do interior da geosfera.

(A) 1 e 3 são verdadeiras; 2 é falsa.
(B) 1 e 2 são verdadeiras; 3 é falsa.
(C) 3 é verdadeira; 1 e 2 são falsas.
(D) 1 é verdadeira; 2 e 3 são falsas.

3 **Estabelece a correspondência correta entre as frases da coluna I e os termos da coluna II.**

Coluna I	Coluna II
1. Trajeto das ondas sísmicas no interior da Terra. **2.** Estudo do campo magnético terrestre ao longo do tempo. **3.** Tarolos de rochas obtidos em sondagens. **4.** Lavas e piroclastos do vulcão do Fogo. **5.** Lavas em almofada na Formação dos Flamengos.	**A** – Método indireto **B** – Método direto

4 **Descreve, resumidamente, o processo de formação de basaltos com xenólitos.**

5 **A figura 1 representa os modelos da estrutura interna da Terra.**

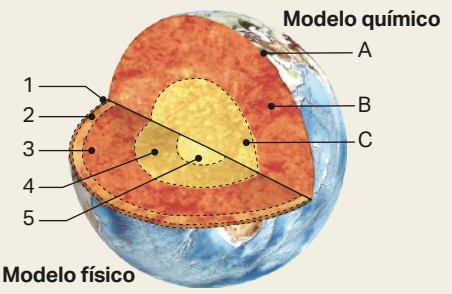


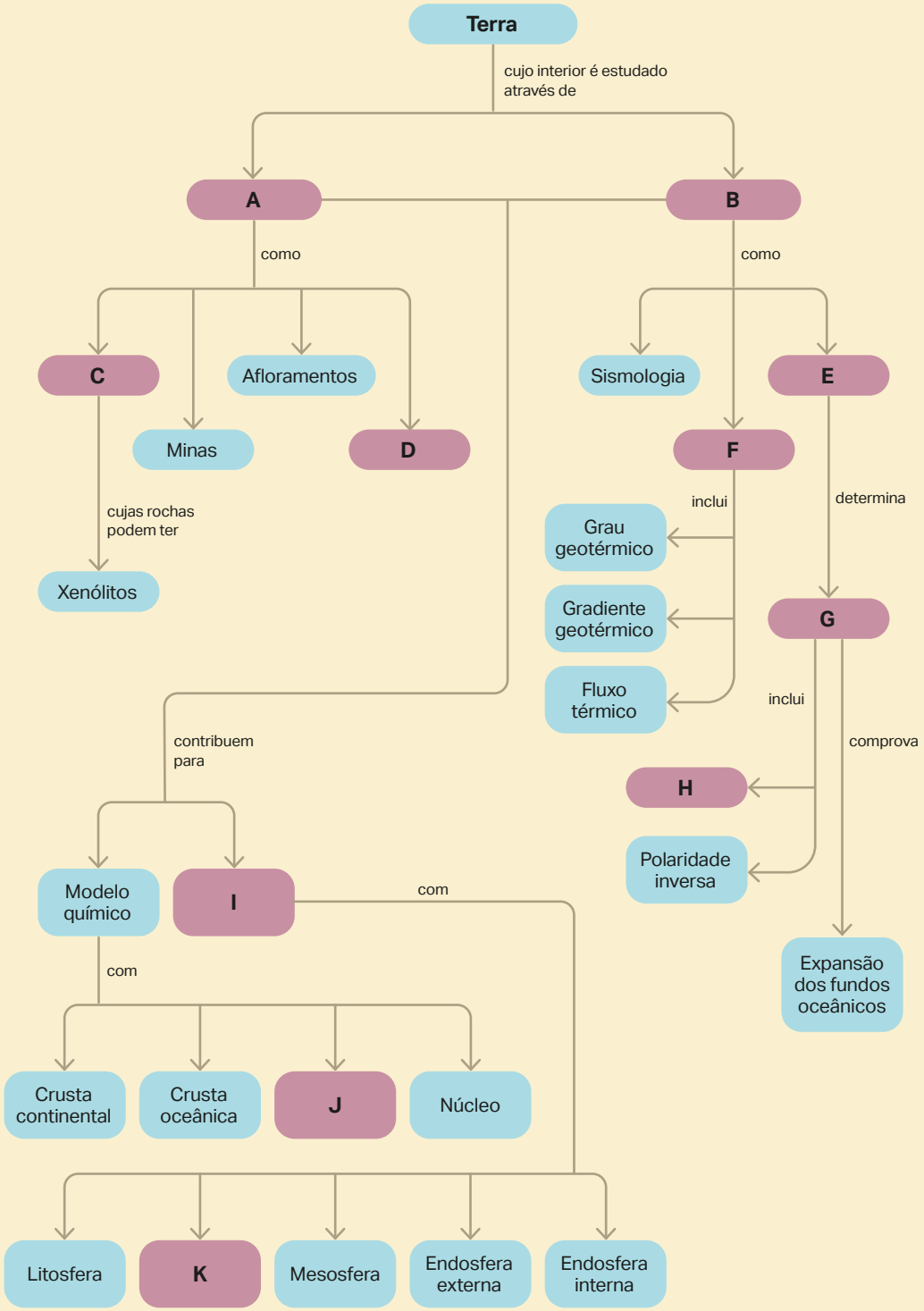
Fig. 1

5.1. Faz a legenda das letras A, B e C e dos números 1 a 5.

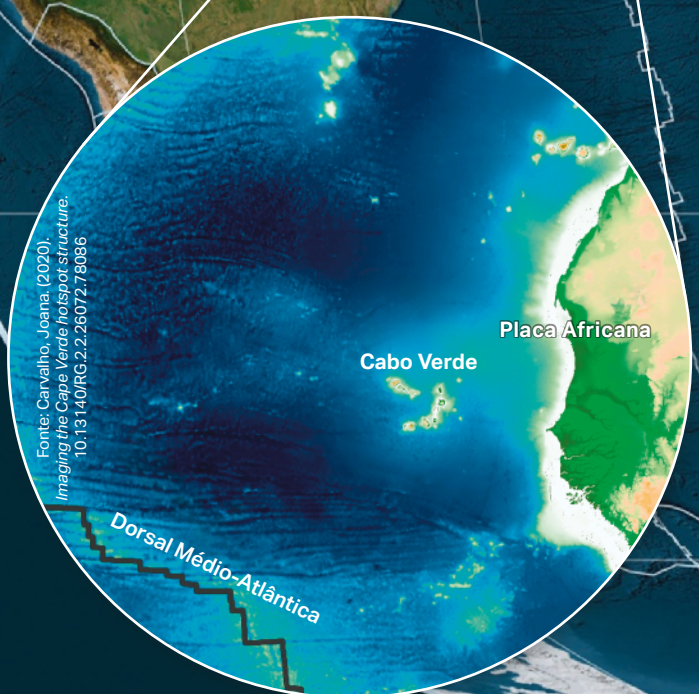
5.2. Distingue crusta continental de crusta oceânica.

5.3. Descreve duas limitações dos métodos diretos e indiretos para o estudo da estrutura interna da Terra.

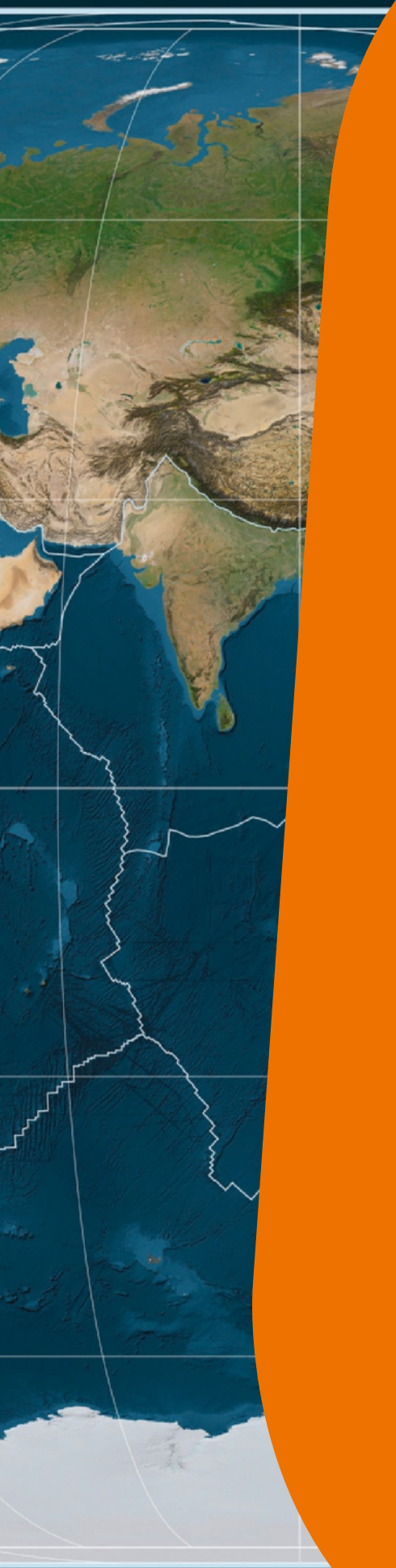
Mapa de conceitos



4



Fonte: Carvalho, Joana. (2020). *Imaging the Cape Verde hotspot structure.* 10.13140/RG.2.2.26072.78086



A teoria da tectónica de placas

4.1. Da hipótese da deriva continental à teoria da tectónica de placas

4.2. Sismos, vulcões e tectónica de placas

A litosfera da Terra está dividida em placas que se movem. Diversos estudos apontam para que o arquipélago de Cabo Verde resulta do lento movimento para leste da Placa Africana, em relação a um *hotspot* com dois centros ativos, resultando numa configuração das ilhas em forma de ferradura aberta para oeste. A maior parte da atividade ígnea terá ocorrido há 19-20 milhões de anos, na Época Miocénica. A crusta oceânica subjacente data da Era Mesozoica, entre 122 e 140 milhões de anos.

4.1. Da hipótese da deriva continental à teoria da tectónica de placas

Fig. 1 Francis Bacon (1561-1626).

Antes de Wegener

Até à hipótese da deriva continental, a ideia maioritariamente aceite sobre a posição dos continentes da Terra era o **imobilismo** – perspetiva segundo a qual a posição dos continentes se tinha mantido constante desde a sua formação. O imobilismo manteve-se até ao início do século XX, apesar de desde o século XVI alguns estudiosos apresentarem perspetivas sobre a forma de encaixe dos continentes.

Quando as cartas de marear do oceano Atlântico passaram a ser mais precisas, alguns estudiosos notaram que as costas atlânticas da América do Sul e da África pareciam o espelho uma da outra. Em 1600, Francis Bacon chamou a atenção para a forma como os continentes pareciam encaixar uns nos outros. Os imobilistas colocaram algumas hipóteses para explicar esta semelhança. Uma delas imaginava o oceano Atlântico coberto por um continente que se tinha afundado e afirmava que a correspondência entre as costas da África e da América do Sul não eram mais do que uma coincidência.

Também por volta de 1600, Snider-Pellegrini sugeriu a ligação entre a Europa e a América do Norte baseado na semelhança entre os fósseis destes dois continentes. Por outro lado, os naturalistas, ao regressarem das suas viagens, relataram descobertas estranhas, como espécies idênticas de tartarugas, lagartos e cobras na América do Sul e em África.

Fig. 2 Eduard Suess (1831-1914).

Apesar disto, nessa época, o catastrofismo era a corrente dominante, pelo que afirmava que a separação entre os continentes se teria devido a uma grande catástrofe.

Em 1888, Eduard Suess, com base nos fósseis da planta *Glossopeteris* encontrados em diferentes regiões atualmente distantes, África, Madagáscar, América do Sul, Índia e Austrália, defendeu que estes locais tinham estado unidos num único continente com o nome de **Gondwana**.

Fig. 3 Mapa do Mundo de 1569.

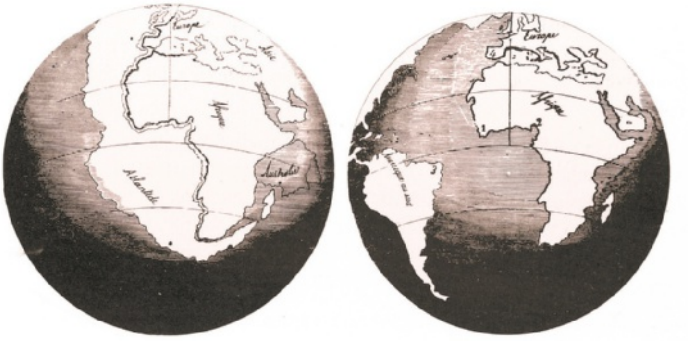


Fig. 4 Desenhos de Antonio Snider-Pellegrini (1802-1885).

Hipótese de Wegener

Em 1912, Alfred Wegener questionou o imobilismo ao propor a **hipótese da deriva continental** segundo a qual os continentes atuais se movimentavam através do globo terrestre, tendo estado unidos no passado. Wegener propôs a denominação de **Pangeia** para um único supercontinente, rodeado por um único oceano chamado Pantalassa. A Pangeia ter-se-ia posteriormente fragmentado e os continentes teriam mudado de posição ao longo do tempo geológico.

Fig. 5 Alfred Wegener (1880-1930).

A comunidade científica da época não aceitou a sua hipótese, tendo saído ridicularizado e hostilizado na reunião onde a apresentou. O que irritou os restantes cientistas era a convicção de Wegener de que os continentes não estavam fixos, tinham andado à deriva na superfície da Terra e que o continuavam a fazer na atualidade. Wegener pensava que os continentes flutuavam como barcos sobre o fundo dos mares, arrastados pelas mesmas forças lunares e solares responsáveis pelas marés.

No sentido de refutar a hipótese de Wegener, alguns cientistas apresentaram explicações para a distribuição de certos animais que eram incapazes de atravessar águas profundas, em continentes mais ou menos distanciados. Uma das hipóteses sugeria que os continentes teriam estado outrora ligados por pontes de terra, há muito afundadas no oceano – pontes continentais.

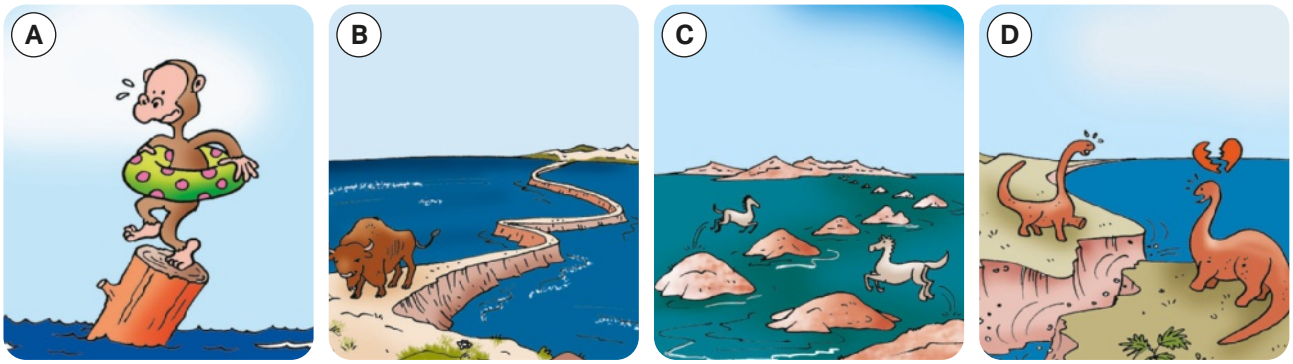


Fig. 6 Em 1987, o geólogo R. Dietz e o ilustrador J. Holden publicaram um livro que refutava as visões imobilistas e criacionistas – A, B, C; a hipótese da deriva dos continentes está ilustrada em D.

Responde tu

1. Refere um dado em que se baseou Pellegrini para sugerir a ligação entre a África e a América do Sul.
2. Nomeia o autor da hipótese da deriva continental.
3. Descreve a reação da comunidade científica à hipótese da deriva continental.

A hipótese da deriva continental foi proposta por Wegener no contexto do uniformitarismo que defendia o **mobilismo** – corrente do pensamento científico segundo a qual os continentes tinham mobilidade no globo terrestre. A corrente mobilista, contrária ao imobilismo, teve um forte impulso com a deriva continental. No entanto, Wegener não conseguiu explicar aos que o refutavam, quer a origem da energia que teria partido a Pangeia em diversos continentes, quer qual seria o motor responsável pela deriva dos continentes.

Para fundamentar a sua hipótese, Wegener apresentou um conjunto de **argumentos** – raciocínios lógicos através dos quais ele pretendia provar a hipótese da deriva dos continentes. Os argumentos foram baseados em dados provenientes de diversos ramos da Geologia: **argumentos morfológicos**, **argumentos litológicos**, **argumentos paleontológicos** e **argumentos paleoclimáticos**.

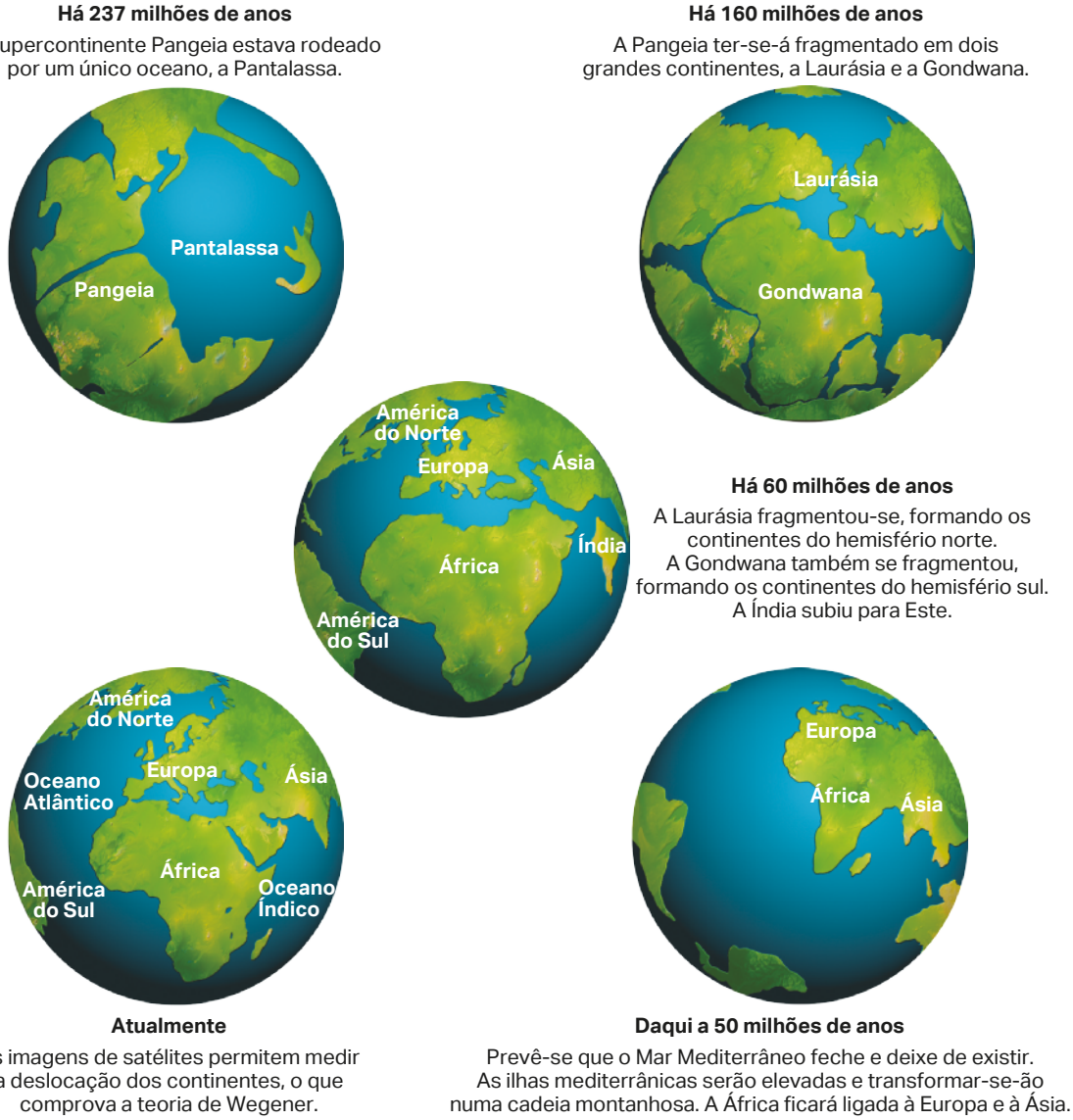
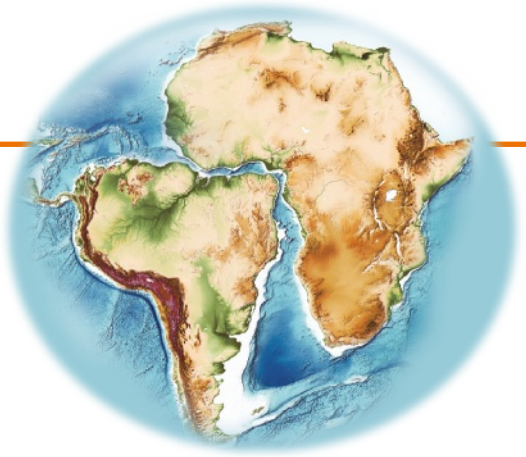
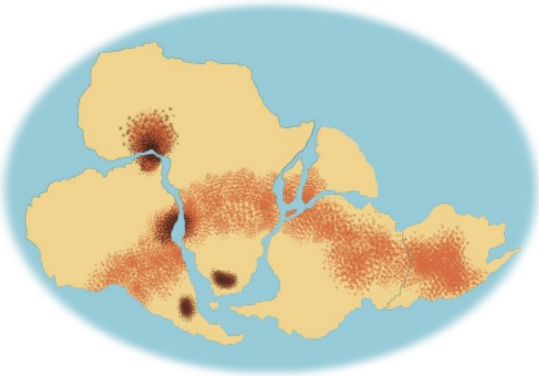


Fig. 7 Modelo de fragmentação da Pangeia e deriva dos continentes ao longo do tempo geológico.

Argumentos de Wegener



Argumentos morfológicos
Estão relacionados com a forma dos diferentes continentes. Algumas margens continentais de continentes atualmente separados, como as costas atlânticas de África e América do Sul, ajustam-se como as peças de um *puzzle*.



Argumentos litológicos
Estão relacionados com a mesma origem e idade das rochas em diferentes continentes. Há semelhanças nas sequências litológicas em vários continentes atualmente separados, como África e América do Sul, mas também da Austrália e Antártida.

Argumentos paleontológicos
Estão relacionados com a existência de fósseis idênticos em diferentes continentes. Fósseis das mesmas espécies de animais, como *Cynognathus*, *Lystrosaurus* e *Mesosaurus*, e de plantas, como *Glossopteris*, incapazes de atravessar o oceano, foram encontrados em continentes atualmente separados.

Argumentos paleoclimáticos
Estão relacionados com a presença de vestígios e registos semelhantes dos mesmos climas do passado geológico em diferentes continentes. Marcas de glaciares, de climas frios, com a mesma idade, foram descobertos em regiões atualmente com climas quentes, na África do Sul, na América do Sul, na Índia e na Austrália.

Morfologia dos fundos oceânicos

Apesar de Wegener ter dedicado a sua vida a tentar provar a sua hipótese, não conseguiu respostas para as suas questões. Tal só foi possível na sequência do desenvolvimento de tecnologias para operações militares no mar, durante a Segunda Guerra Mundial, nomeadamente o sonar, para deteção de submarinos. O **sonar** é uma tecnologia que deteta e localiza objetos submersos através de ondas sonoras.

Antes da existência de barcos equipados com sonar, o pensamento dominante era o de que os fundos oceânicos eram longas planícies, quase sem relevo, semelhantes a grandes bacias, designadas por bacias oceânicas. Após o final da guerra, muitas tecnologias foram colocadas ao serviço da paz, nomeadamente para o estudo dos fundos oceânicos. Durante a década de 1950, a comunidade científica, que passou a fazer uso dos meios tecnológicos marinhos, construiu conhecimento sobre os oceanos e apresentou um modelo da **morfologia dos fundos oceânicos** – plataforma continental, talude continental, planície abissal, dorsal oceânica e fossa oceânica.

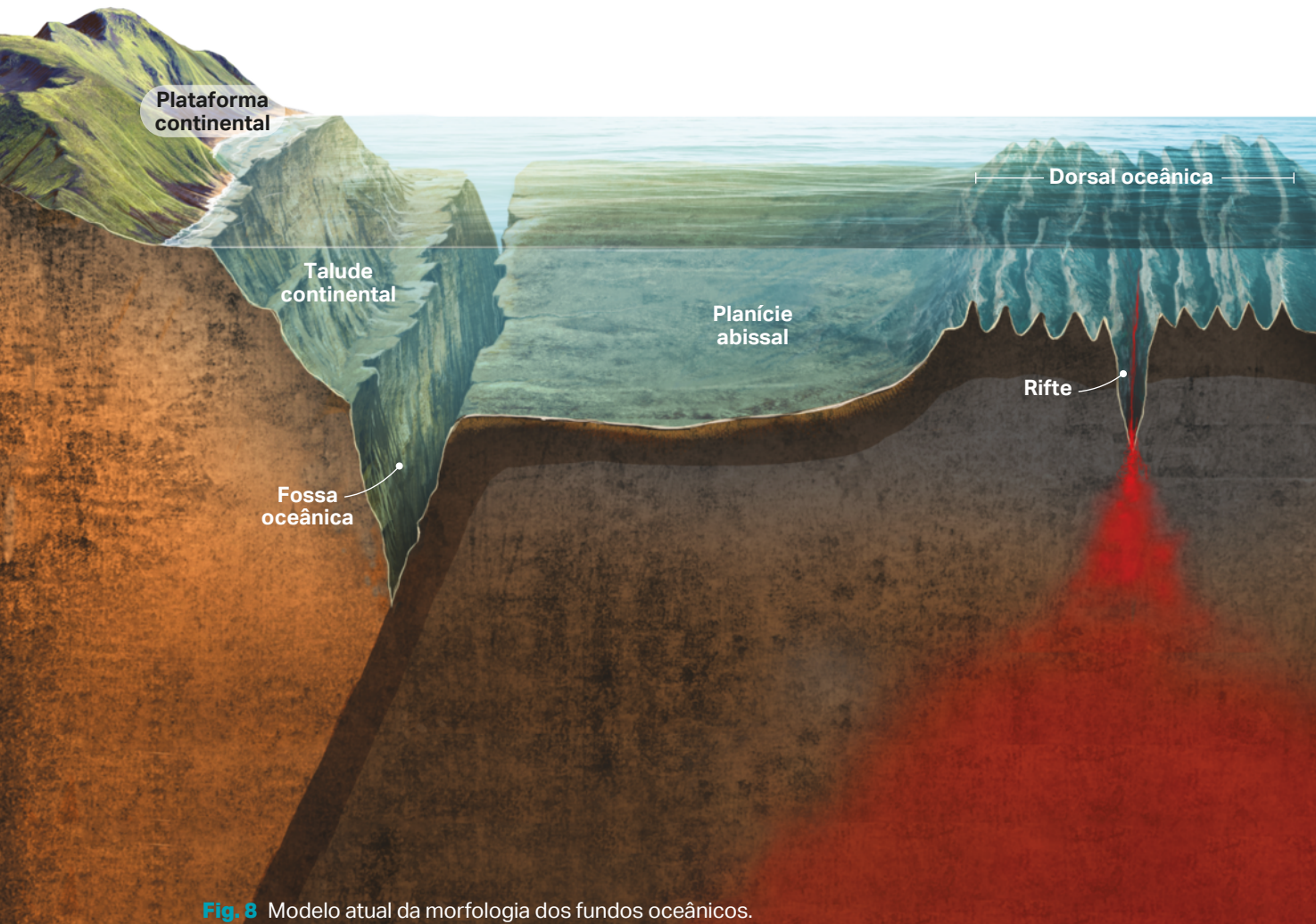


Fig. 8 Modelo atual da morfologia dos fundos oceânicos.

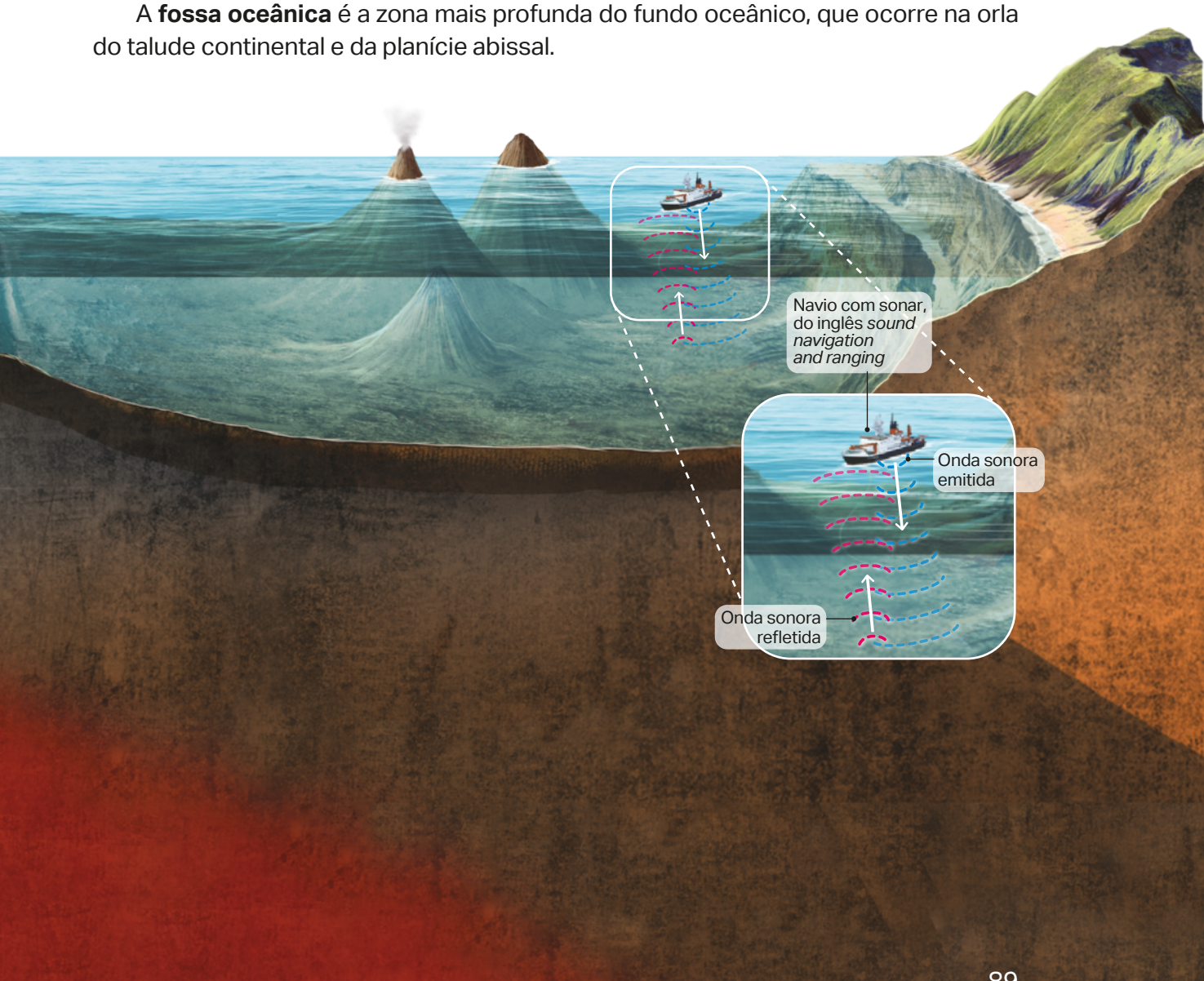
A **plataforma continental** corresponde à zona imersa da margem continental, onde são depositados os sedimentos transportados pelos rios e glaciares. Tem declive suave e largura variável e, geralmente, não ultrapassa os 200 metros de profundidade.

O **talude continental** marca a transição entre a área continental e a oceânica e apresenta muitas vezes canhões submarinos – vales por onde são transportados os sedimentos da plataforma continental. Tem declive médio e pode atingir a profundidade de 4 mil metros.

A **planície abissal** é uma superfície quase horizontal que se estende a partir da base do talude continental, onde se depositam sedimentos finos. Pode apresentar cones vulcânicos que, sempre que ultrapassem o nível médio da água do mar, vão crescendo formando **ilhas**, como em **Cabo Verde**.

A **dorsal oceânica** é uma extensa cordilheira montanhosa de origem vulcânica. Do centro da dorsal em direção à planície abissal observam-se o profundo vale do rifte, a cumeada, com forte declive para o vale e suave para a planície, e longas fraturas perpendiculares ao rifte.

A **fossa oceânica** é a zona mais profunda do fundo oceânico, que ocorre na orla do talude continental e da planície abissal.



Teoria da tectónica de placas

À medida que o desenvolvimento tecnológico fornecia cada vez mais dados, a comunidade científica voltou a considerar a hipótese da mobilidade dos continentes e, em conjunto com a hipótese da expansão dos fundos oceânicos, foi formulada a **teoria da tectónica de placas**, segundo a qual a litosfera está dividida em várias placas que se movem umas relativamente às outras.

Uma **placa tectónica** ou placa litosférica é uma porção de litosfera e pode ser uma placa oceânica, uma placa mista ou uma placa continental. Uma **placa oceânica** é constituída apenas por litosfera oceânica e suporta um oceano, como acontece com a placa do Pacífico. Uma **placa mista** é formada por litosfera oceânica e litosfera continental, como acontece com a Placa Africana que suporta o continente África e parte dos oceanos Atlântico e Índico. Algumas placas mais pequenas têm apenas litosfera continental – **placa continental**.

As placas tectónicas são formadas por litosfera que se movimenta sobre a astenosfera. A astenosfera é uma camada do manto superior. Embora o manto seja sólido, os materiais rochosos que constituem a astenosfera, devido às altas pressões e temperaturas, comportam-se como um fluido espesso que se move muito lentamente.

Recordando o modelo físico da estrutura interna da Terra, este define as camadas da geosfera em função das mudanças de estado físico dos materiais que as constituem. Por outro lado, os cálculos da geotermia apontam para a temperatura de cerca de 1300 ºC no limite entre a litosfera e a astenosfera. Assim, abaixo deste valor, os materiais rochosos são sólidos e rígidos, e acima daquele valor os materiais rochosos são sólidos, mas podem fluir muito lentamente, de modo semelhante a um líquido muito viscoso. Em suma, a **litosfera** está fraturada em placas rígidas e move-se sobre a **astenosfera**, uma camada com menor rigidez.

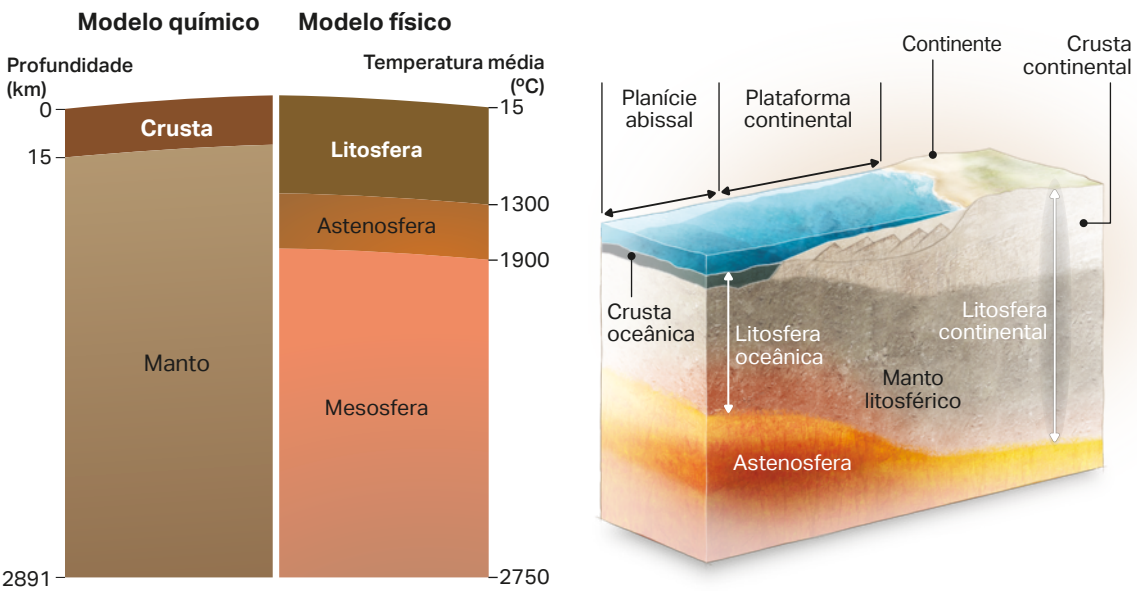


Fig. 9 Modelo químico e físico da geosfera e relação entre a litosfera e a astenosfera.

Limites de placas tectónicas

O **limite das placas tectónicas** ou limite tectónico é a fronteira entre duas placas tectónicas, ou seja, a zona onde as placas se encontram uma com a outra e se podem movimentar uma em relação à outra. Existem três tipos de limites tectónicos: divergentes, convergentes e transformantes.

Um **limite divergente** é uma zona de separação de duas placas tectónicas que se afastam uma da outra, em sentidos opostos. Este é um **limite construtivo**, pois há formação e acrescentamento de nova litosfera, como acontece nos **riftes**. Neste limite, à medida que as placas se afastam, há subida, arrefecimento e solidificação do magma, originando-se novas rochas. Os limites construtivos podem ser continente-continente ou oceano-oceano.

Nos **limites construtivos continente-continente** há atividade vulcânica do tipo fissural ou central e a formação de um vale de rifte continental, como no Vale do Rifte, no leste da África.

Nos **limites construtivos oceano-oceano** há origem e expansão de fundos oceânicos e a formação de uma dorsal oceânica, como a Dorsal Médio-Atlântica, e na Islândia pode observar-se uma parte emersa do rifte oceânico, em ambiente subaéreo.

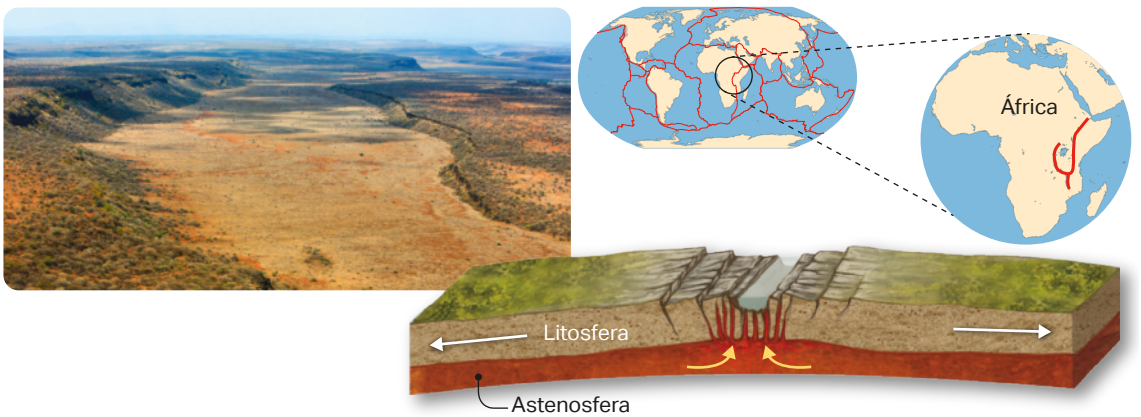


Fig. 10 Limite construtivo continente-continente. Grande Vale do Rifte no Quénia.

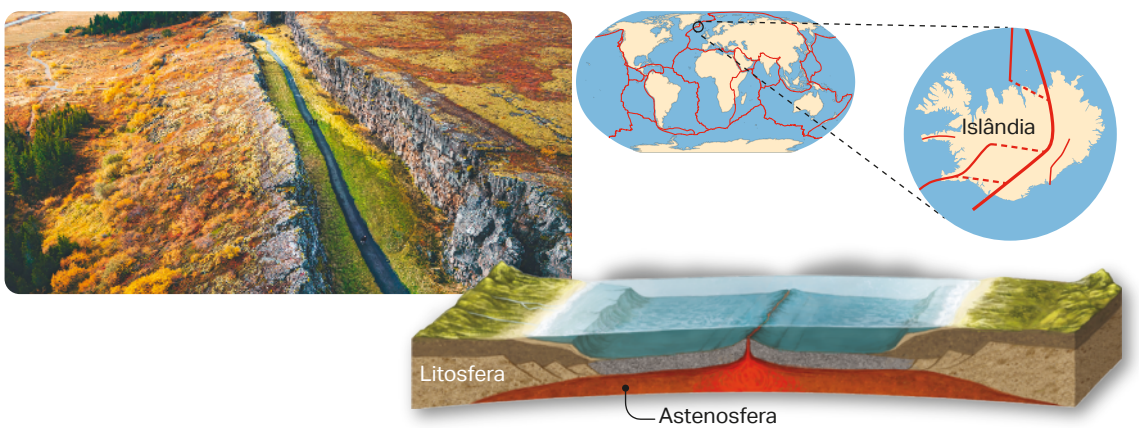


Fig. 11 Limite construtivo oceano-oceano. Rifte emerso na Islândia.

Um **limite convergente** é uma zona de aproximação entre duas placas tectónicas que colidem uma com a outra. Este é, geralmente, um **limite destrutivo**, pois há subducção de uma das placas e, consequentemente, a destruição de litosfera. Neste limite forma-se uma **zona de subducção** – local onde a placa litosférica mais densa afunda sob a placa litosférica menos densa e mergulha no manto até fundir. Formam-se grandes fossas oceânicas e cadeias montanhosas. Os limites destrutivos podem ser oceano-oceano, oceano-continente e continente-continente.

Nos **limites destrutivos oceano-oceano** há subducção de litosfera oceânica, formação e subida de magma e construção de **arcos insulares** de ilhas vulcânicas, assim como importante atividade sísmica, como acontece no Japão.

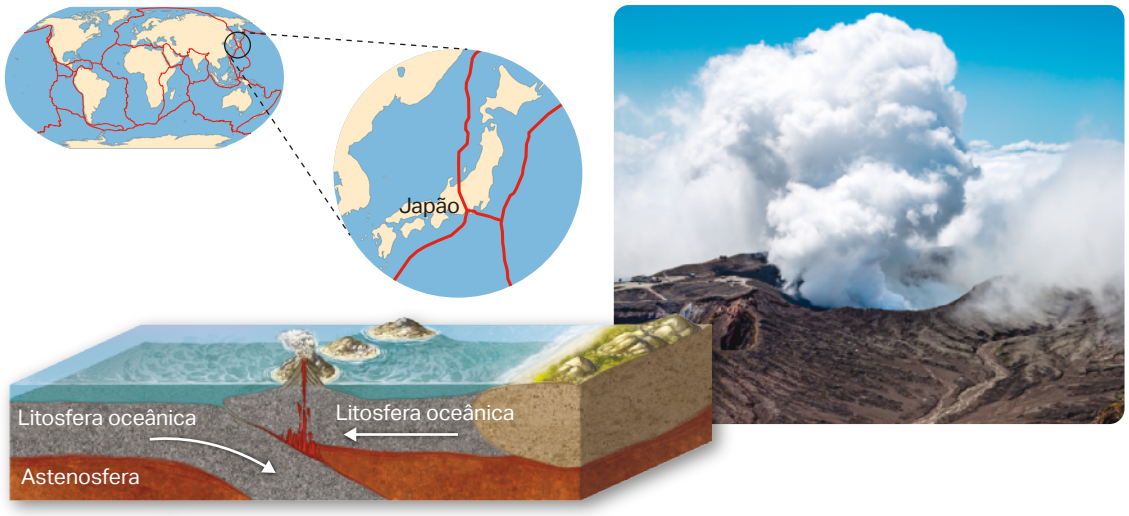


Fig. 12 Limite destrutivo oceano-oceano. Ilhas do Japão, vulcão Kyushu.

Nos **limites destrutivos oceano-continente** há formação de cadeias montanhosas, com intensa atividade vulcânica, e de arcos magmáticos, com rochas plutónicas e vulcânicas, assim como importante atividade sísmica, como acontece nos Andes.

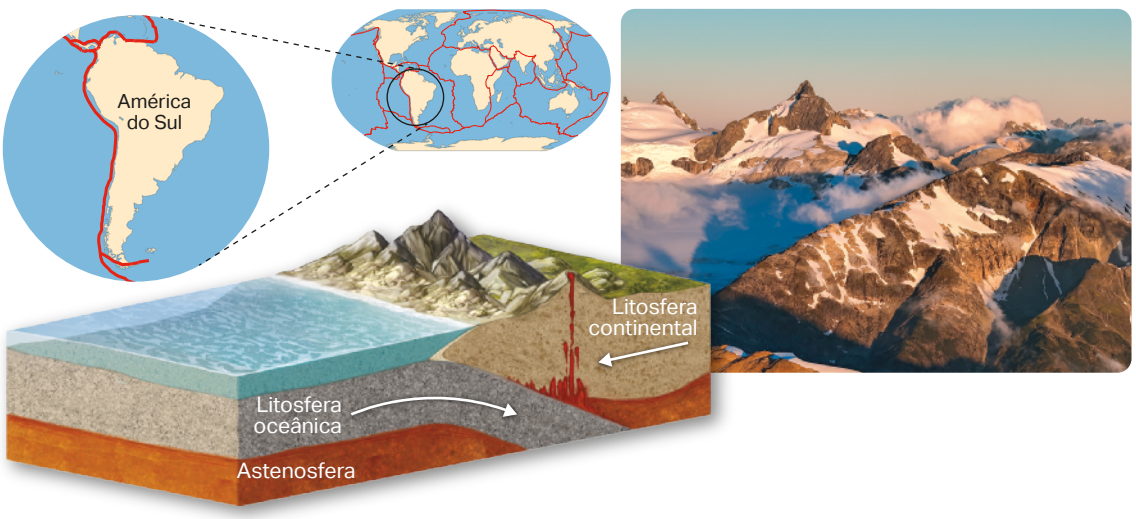


Fig. 13 Limite destrutivo oceano-continente. Cordilheira dos Andes.

Nos **limites destrutivos continente-continente** há formação de cadeias montanhosas no interior dos continentes e importante atividade sísmica, como acontece nos Himalaias.

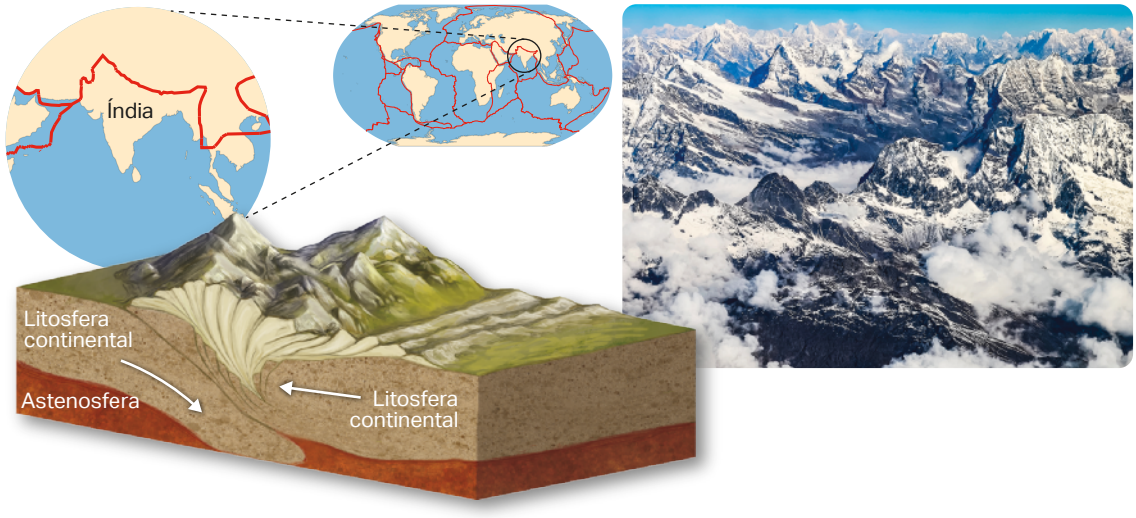


Fig. 14 Limite destrutivo continente-continente. Himalaias.

Um **limite transformante** é uma zona em que as placas tectónicas se deslocam horizontalmente, deslizando com atrito uma pela outra. Este é um **limite conservativo**, pois não há produção nem destruição de litosfera. Nos limites conservativos não existe atividade vulcânica, mas a atividade sísmica é intensa. As falhas que ocorrem nos limites transformantes pertencem a um grupo especial chamado **falhas transformantes** – tipo particular de falhas que ocorrem no limite de uma placa tectónica e ao longo da qual não há formação nem destruição de litosfera. São exemplos de falhas transformantes as que se localizam perpendicularmente à orientação das dorsais oceânicas e a falha de Santo André.

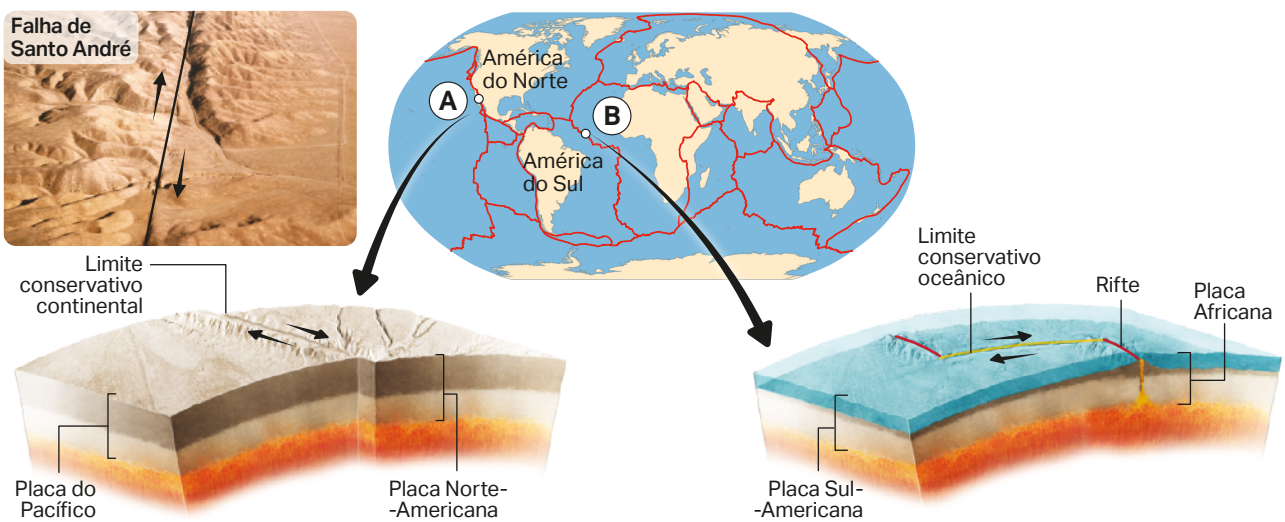


Fig. 15 Limite conservativo: A – Falha de Santo André, nos EUA; B – Dorsal Médio-Atlântica.

Constância do volume e da massa da Terra

A teoria da tectónica de placas explica a **constância do volume e da massa da Terra**. De facto, à medida que ocorre a formação de nova litosfera oceânica, a partir dos riftes das dorsais oceânicas, e a expansão dos fundos oceânicos, vai acontecendo, de um modo mais ou menos contínuo, a destruição da litosfera oceânica mais antiga nas zonas de subducção. Assim, a formação dos fundos oceânicos é compensada pela sua destruição, mantendo constante o volume e a massa da Terra.

Relacionando a teoria da tectónica de placas com as hipóteses da deriva continental e da expansão dos fundos oceânicos, pode afirmar-se que as placas litosféricas transportam, de facto, os continentes, explicando a hipótese de Wegener. No entanto, uma das críticas a Wegener feita pelos seus detratores e um dos principais obstáculos à aceitação da sua hipótese foi a ausência de explicação sobre qual seria o motor do movimento de deriva dos continentes. Segundo a teoria da tectónica de placas, este motor estará associado às correntes de convecção que ocorrem no manto, nomeadamente na astenosfera.

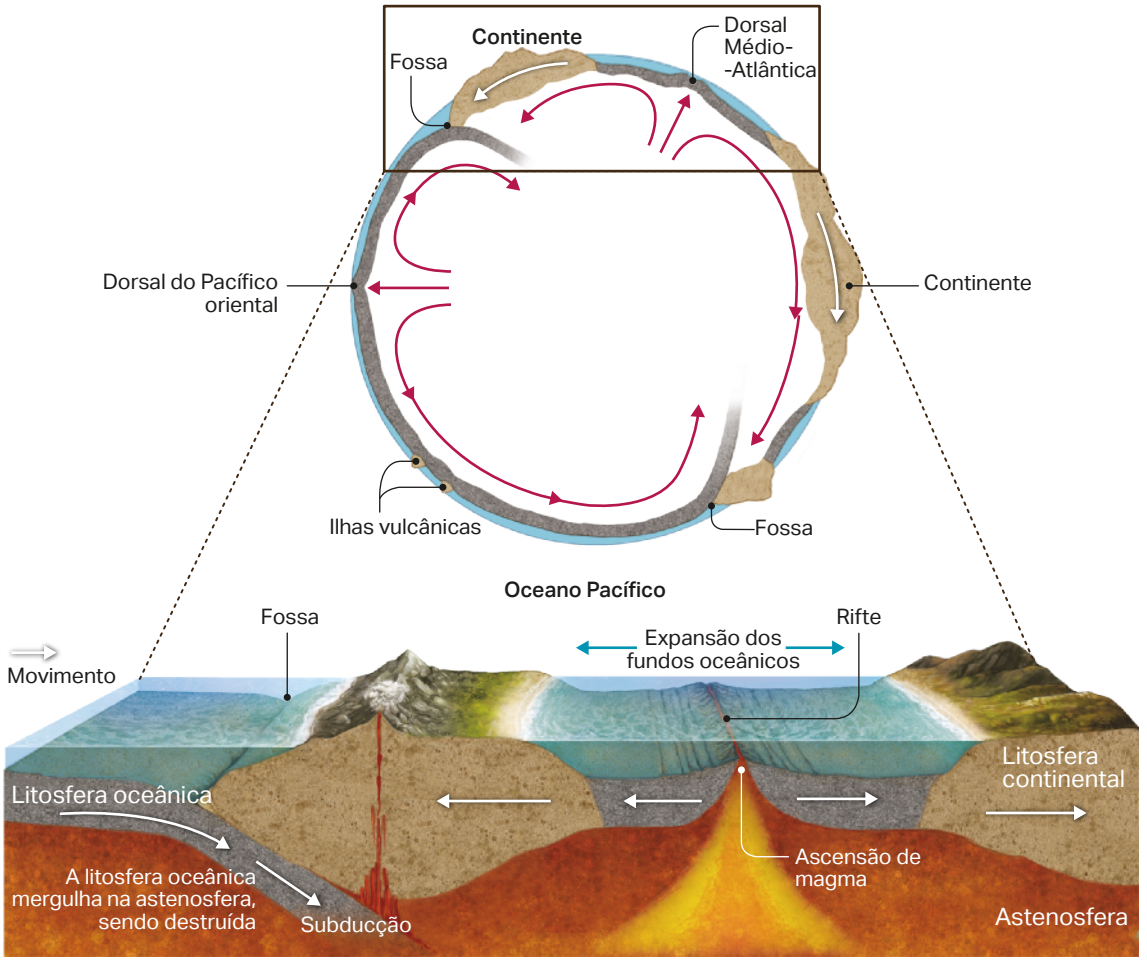


Fig. 16 Modelo de expansão e destruição dos fundos oceânicos.

Correntes de convecção no manto terrestre

O movimento das placas tectónicas depende da existência de uma força, no interior da geosfera, capaz de as fazer deslizar e mover, como os movimentos de convecção. A **convecção** é a transferência de energia sob a forma de calor e de materiais no interior de um fluido.

Os movimentos de convecção são cíclicos e podem ser observados, por exemplo, aquando do aquecimento de água com arroz num gobelé. Quando a água do fundo do gobelé aquece, dilata e fica menos densa do que a água acima. Esta diminuição da densidade causa a subida da mistura de água e arroz da base para o cimo do gobelé. Ao chegar acima, a mistura arrefece e fica mais densa. O aumento de densidade causa a descida da mistura para a base do gobelé.

De modo análogo, existem **correntes de convecção no manto** – movimentos de circulação de material rochoso mantélico devidos a diferenças de temperatura e de densidade. Os movimentos de convecção do manto são cíclicos e extremamente lentos, à escala do tempo geológico. São estes movimentos de convecção que geram a força necessária para arrastar as placas litosféricas sobre a **astenosfera**.

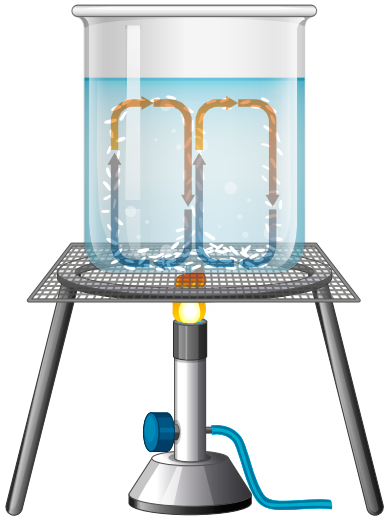


Fig. 17 Simulação de correntes de convecção.

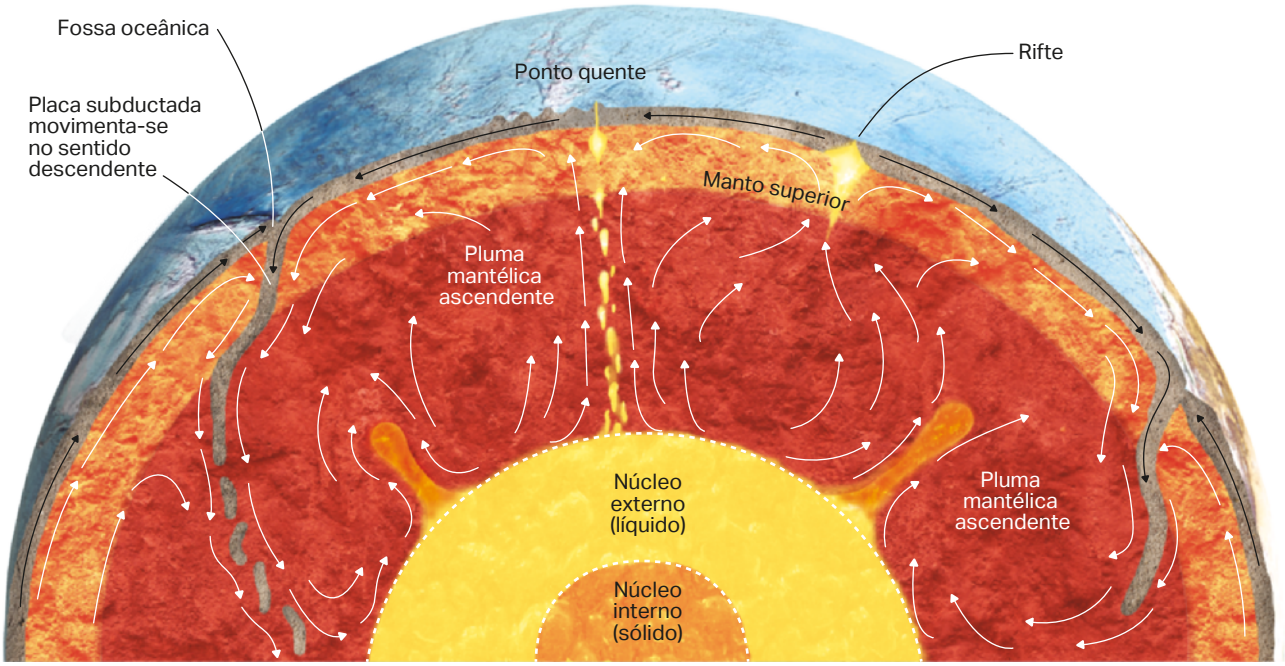


Fig. 18 Modelo de correntes de convecção no manto terrestre.

Principais placas tectónicas

As sete placas tectónicas principais, cada uma com uma área superior a 20 milhões de km^2, são a **Placa Africana**, a **Placa da Antártida**, a **Placa Euro-Asiática**, a **Placa do Pacífico**, a **Placa Indo-Australiana**, a **Placa Norte-Americana** e a **Placa Sul-Americana**. À medida que o conhecimento científico evolui, o número de placas tectónicas identificadas tem aumentado, e alguns autores, atualmente, apontam para a existência de cerca de 160 placas tectónicas.

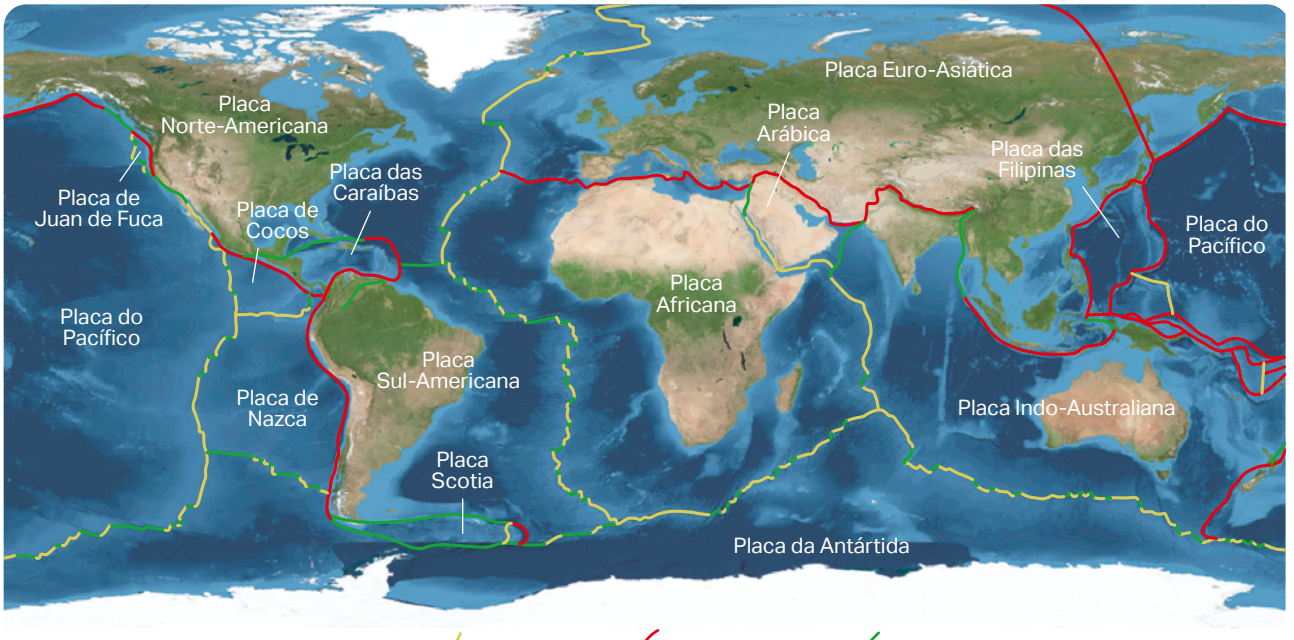


Fig. 19 Principais placas tectónicas.

Responde tu

1. Nomeia a placa onde se localiza o arquipélago de Cabo Verde.
2. Indica um limite de placas onde esteja a ocorrer a formação de crusta oceânica.
3. Refere uma placa com crusta continental e crusta oceânica e uma placa com apenas crusta oceânica.
4. Justifica a afirmação: "Ao longo do tempo geológico, tem havido alterações na posição dos continentes e dos oceanos e, no futuro, o mesmo irá acontecer devido ao movimento das placas tectónicas."
5. Explica o movimento dos continentes tendo por base a teoria da tectónica de placas.

4.2. Sismos, vulcões e tectónica de placas

A observação da distribuição geográfica dos sismos e vulcões permite concluir que a atividade sismovulcânica está, na maioria dos casos, diretamente relacionada com os limites tectónicos.

Relativamente à **distribuição dos sismos**, consideram-se dois tipos: sismicidade interplaca, a mais frequente, e sismicidade intraplaca.

Na sismicidade interplaca, os **sismos interplaca** ocorrem nas proximidades dos limites das placas tectónicas. Nos limites transformantes e nos limites divergentes, estes sismos têm, geralmente, **focos superficiais**. Nos limites convergentes, estes sismos podem ter **focos superficiais** ou **focos profundos**.

Na sismicidade intraplaca, os **sismos intraplaca** ocorrem no interior das placas tectónicas e têm, geralmente, **focos superficiais**. Estes sismos ocorrem em **Cabo Verde**.

Relativamente à **distribuição dos vulcões**, consideram-se dois tipos: vulcanismo interplaca e vulcanismo intraplaca.

No vulcanismo interplaca, os **vulcões interplaca** ocorrem nas proximidades dos limites das placas tectónicas.

No vulcanismo intraplaca, os **vulcões intraplaca** ocorrem no interior das placas tectónicas, como acontece no arquipélago de **Cabo Verde**.

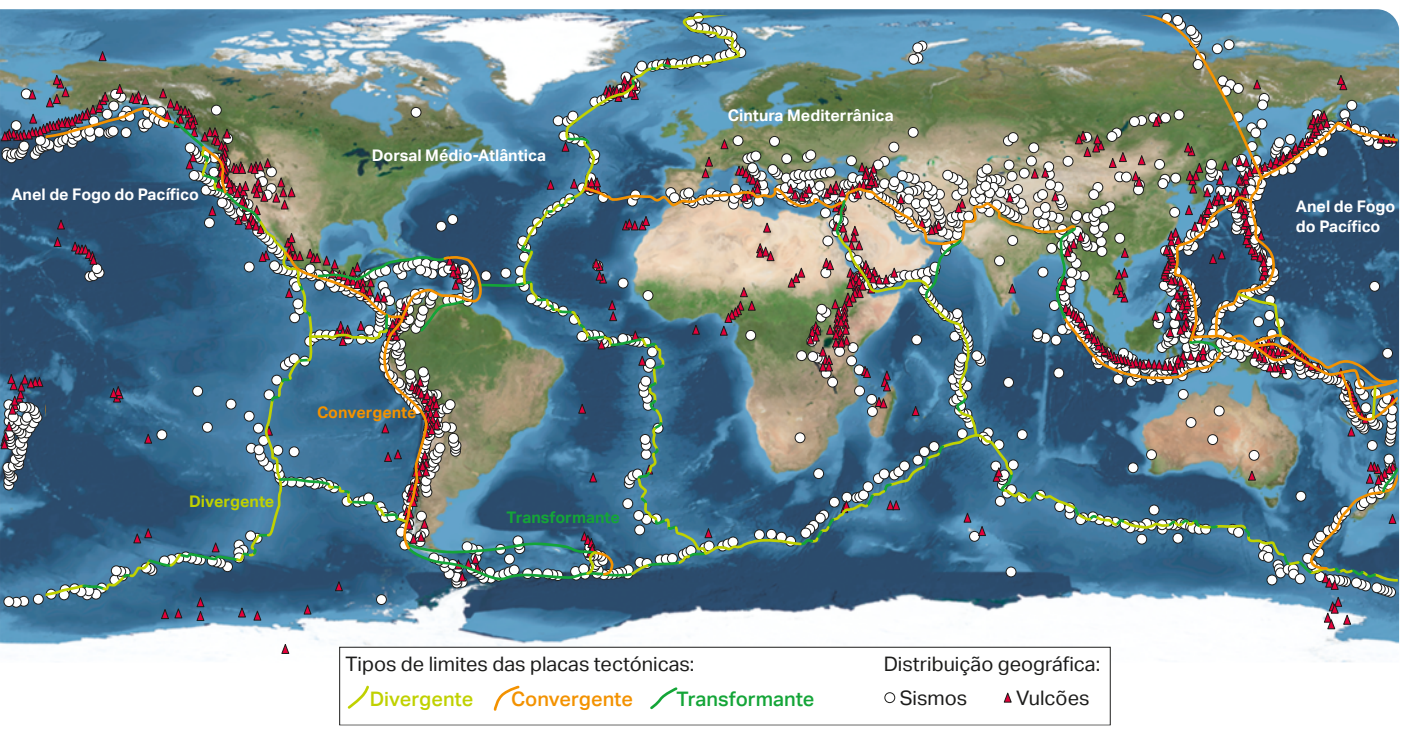


Fig. 20 Distribuição dos sismos e vulcões e limites de placas tectónicas.

Vulcanismo interplaca

O **vulcanismo interplaca** é o mais frequente e pode ser de dois tipos: vulcanismo de subducção e vulcanismo de vale de rifte.

O **vulcanismo de subducção** está associado a limites convergentes, nos quais a placa tectónica mais densa mergulha sob a menos densa. À medida que a pressão e a temperatura aumentam com a profundidade, a placa em subducção vai fundir, originando magmas. Estes magmas, geralmente de origem pouco profunda, alimentam a atividade explosiva e/ou mista de aproximadamente 80% dos vulcões ativos na Terra.

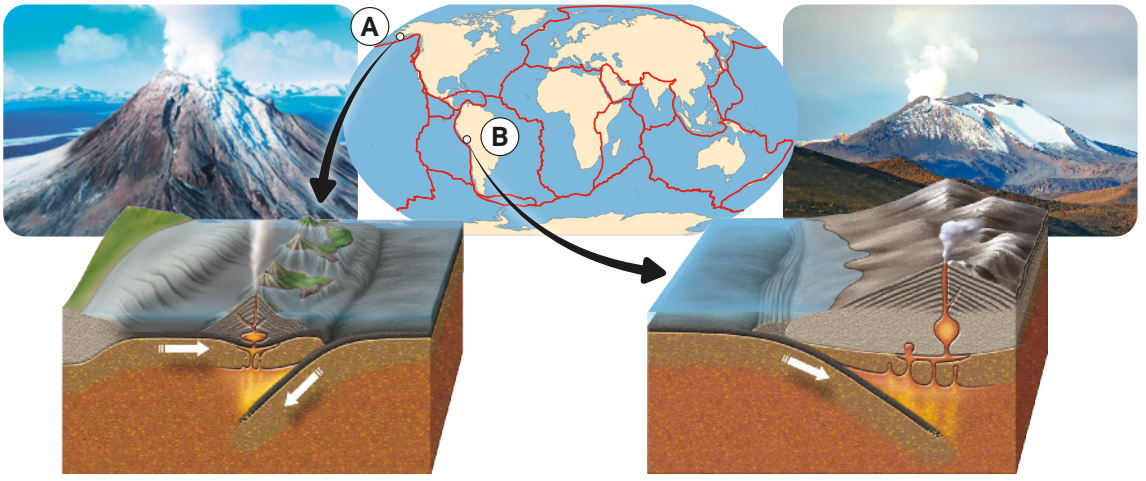


Fig. 21 Vulcanismo de subducção: A – Limite oceano-oceano: ilhas Aleutas, no Alasca; B – Limite oceano-continente: cordilheira dos Andes, na América do Sul.

O **vulcanismo de vale de rifte** está associado a limites divergentes, nos quais as placas tectónicas se afastam uma da outra. Este afastamento origina numerosas fraturas na crusta, através das quais os magmas ascendem à superfície. Estes magmas, geralmente de origem pouco profunda, alimentam a atividade efusiva e/ou mista de aproximadamente 15% dos vulcões ativos na Terra.

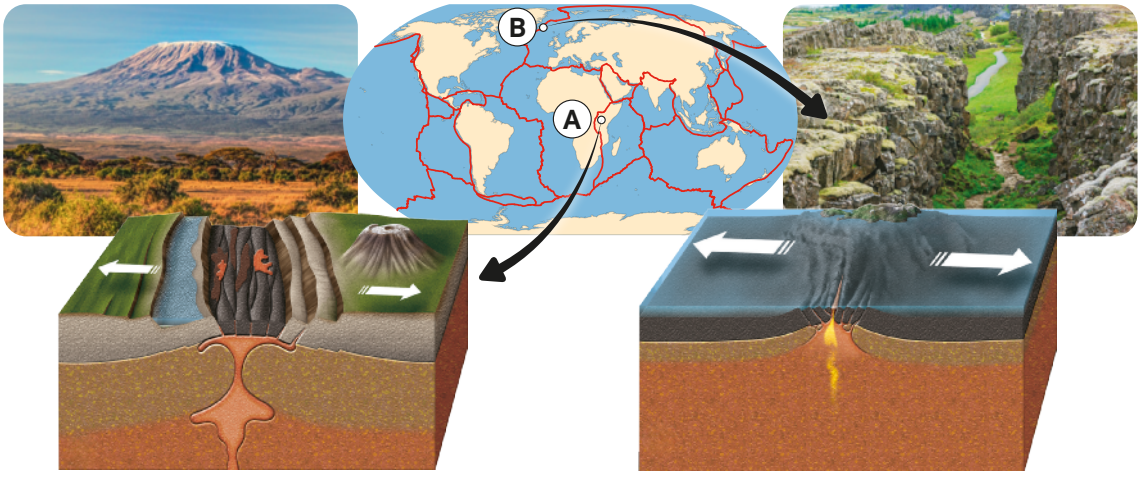


Fig. 22 Vulcanismo de vale de rifte: A – Quilimanjaro, em África; B – Islândia.

Vulcanismo intraplaca

O **vulcanismo intraplaca** está associado, principalmente, à existência de pontos quentes ou *hotspots* que podem estar localizados em zonas oceânicas ou em zonas continentais. Nos pontos quentes, os magmas ascendem formando vulcões com atividade efusiva e/ou mista. Estes magmas, com origem profunda, alimentam aproximadamente 5% dos vulcões ativos na Terra. O vulcanismo intraplaca explica a existência do arquipélago de Cabo Verde, tal como abordado no subtema 1. Também explica a existência de outras ilhas no interior de placas oceânicas e de vulcões isolados no interior dos continentes.

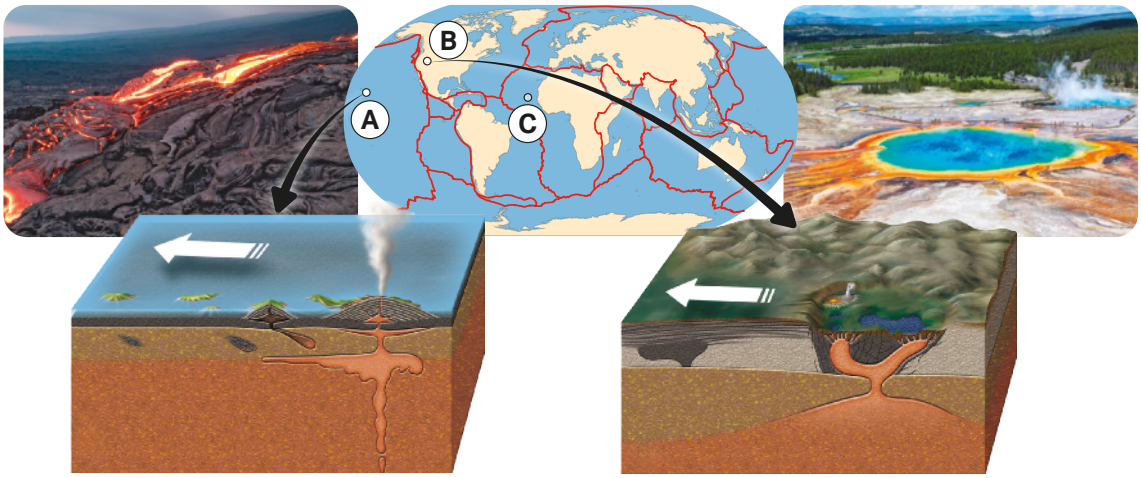


Fig. 23 Vulcanismo intraplaca: A – Kilauea, no Havai; B – Yellowstone, nos EUA; C – Cabo Verde.

O **ponto quente** ou *hotspot* é o local da superfície terrestre onde ocorre atividade vulcânica devido a um grande aumento de temperatura provocado pela ascensão de material proveniente do interior da Terra. Os geocientistas que explicam o modelo do vulcanismo intraplaca pressupõem que os pontos quentes são locais onde emergem, sob a forma de cogumelos, **plumas térmicas** ou plumas mantélicas – colunas de material rochoso provenientes, provavelmente, da zona de fronteira entre o manto e o núcleo. Nessa zona, o aquecimento do material rochoso do manto profundo faz com que fique menos denso e ascenda em direção ao manto superior. Quando chega à base da litosfera, acontece a fusão de parte do material da pluma mantélica, dando origem à formação de magmas que alimentam os vulcões dos pontos quentes.

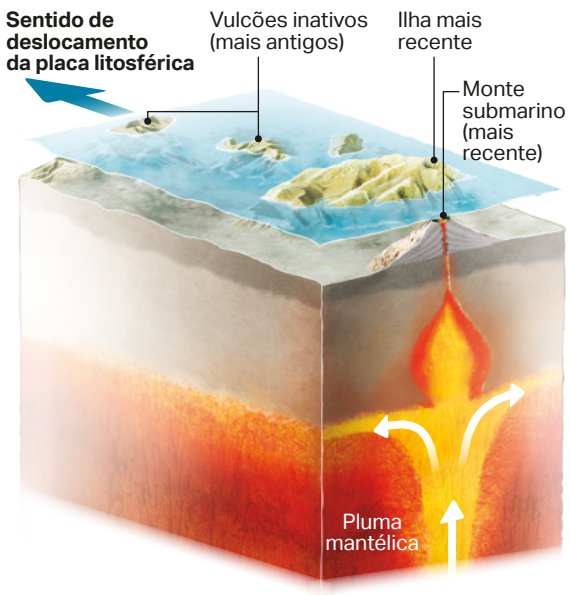


Fig. 24 Modelo de formação de ilhas oceânicas num *hotspot*.

Os geocientistas pensam que as plumas térmicas se mantêm no mesmo local e ativas durante muito tempo. Na região da placa tectónica que se encontra sobre a pluma térmica, pode formar-se um vulcão. À medida que a placa tectónica se vai deslocando sobre a pluma térmica, formam-se novos vulcões e os antigos ficam extintos.

Um dos casos mais estudados e documentados é o do arquipélago do **Havai**. A cadeia de ilhas do Havai tem início nos vulcões atualmente ativos na Big Island, a mais recente ilha do arquipélago e que se localiza atualmente sobre o *hotspot*. Esta ilha resulta da coalescência de seis vulcões, todos alimentados pelo mesmo ponto quente: Mahukona, Kohala, Mauna Kea, Mauna Loa, Hualalai e Kilauea, este considerado o vulcão mais ativo da Terra.

A partir da Big Island, a atividade do ponto quente sob a Placa do Pacífico formou, para noroeste, as restantes ilhas do arquipélago e montes submarinos, progressivamente mais antigos. Os geocientistas, usando diversos dados provenientes da idade das rochas e da posição geográfica, calcularam que a Placa do Pacífico se movimenta à velocidade de cerca de 100 mm/ano sobre o ponto quente do Havai.

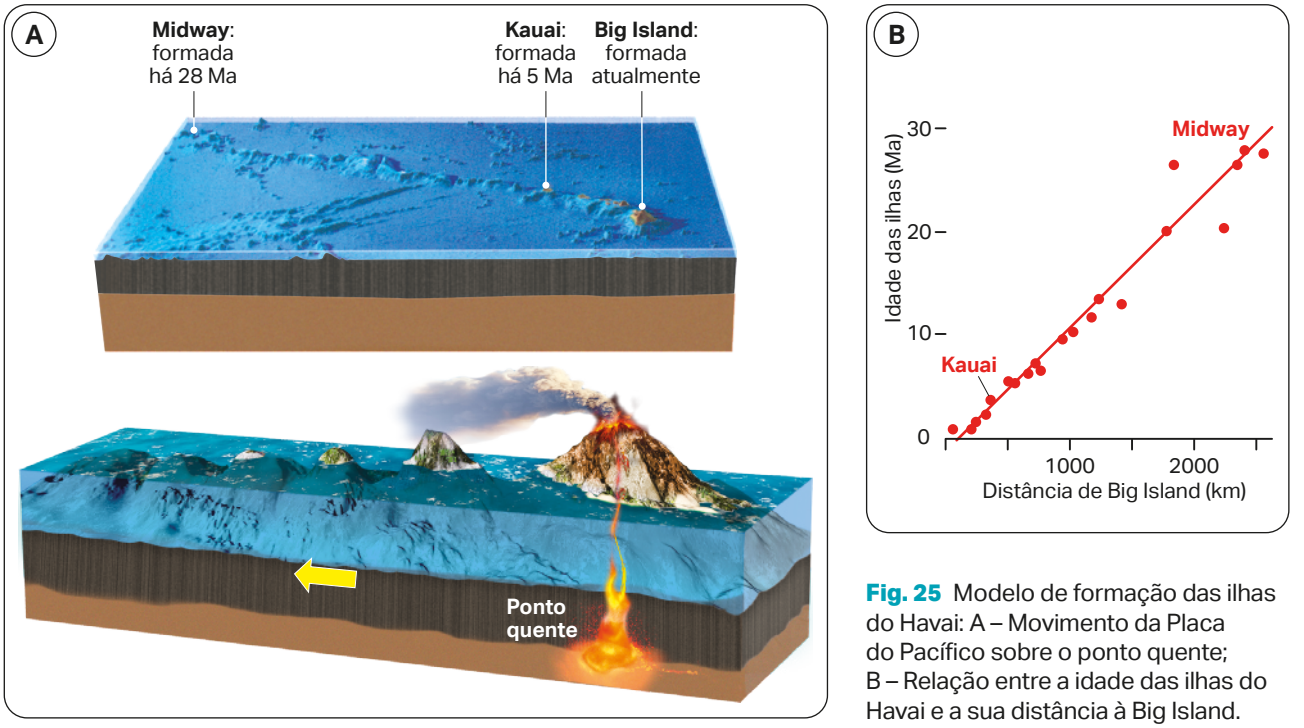


Fig. 25 Modelo de formação das ilhas do Havai: A – Movimento da Placa do Pacífico sobre o ponto quente; B – Relação entre a idade das ilhas do Havai e a sua distância à Big Island.

Responde tu

1. Descreve o funcionamento de um ponto quente.
2. Explica a formação da cadeia de vulcões no Havai como evidência da teoria da tectónica de placas.

Atividade prática

Cabo Verde na Placa Núbia

A origem das ilhas de Cabo Verde é frequentemente atribuída à atividade de um *hotspot* ou ponto quente sob a Placa Núbia. A Placa Somali é uma placa tectónica que se está a formar à medida que a Placa Africana está a partir ao longo do rifte da África Oriental. A porção da Placa Africana do lado oeste do rifte é chamada Placa Núbia. A formação do Grande Vale do Rifte, ou Vale da Grande Fenda, poderá conduzir à abertura de uma bacia oceânica no leste de África. De um lado e de outro do Grande Vale do Rifte existem cordilheiras com os pontos mais altos do continente africano, incluindo os montes Virunga, Mitumba Ruvenzori, Quilimanjaro, Quénia, Karisimbi, Niaragongo, Meru e Elgon, que têm, ou tiveram, atividade vulcânica. Outra zona vulcânica extremamente ativa é o Triângulo de Afar, uma depressão localizada na junção entre o Grande Vale do Rifte, a sudoeste, o mar Vermelho, a norte, e o golfo de Adem, a leste.

Baseado em: https://www.geolsoc.org.uk/science-and-policy/plate-tectonic-stories/east-african-rift-valley/, pesquisado em 28-04-2025.

Fig. 1 Localização tectónica de Cabo Verde e do Grande Vale do Rifte.

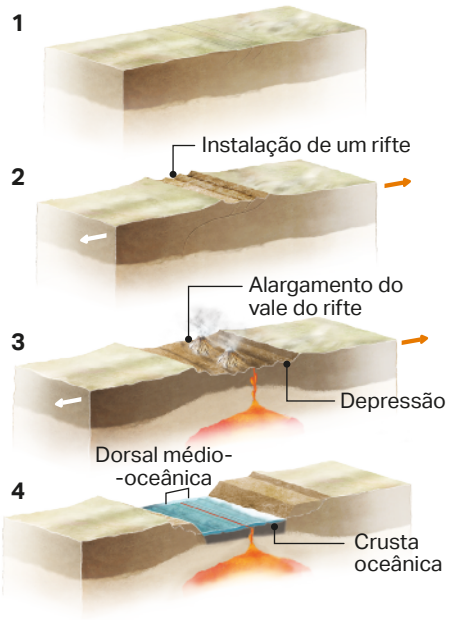


Fig. 2 Etapas de abertura de uma bacia oceânica.

1. Localiza tectonicamente o arquipélago de Cabo Verde.
2. Refere o tipo de limite de placa em formação no leste de África.
3. Justifica a afirmação: "A região este do continente africano virá a ser uma grande ilha."

Atividade prática

Contributo dos cientistas para a teoria da tectónica de placas

Foi no início do século XX que se desenvolveu a hipótese da deriva continental, fruto da reformulação e articulação progressiva de contributos de diversos cientistas. Wegener, Taylor, Alexander du Toit e Holmes foram alguns dos defensores do mobilismo geológico.

No princípio da década de 60 do século XX, vários cientistas contribuíram para a teoria da tectónica de placas, como Wilson, Hess, Dietz, Vine e Matthews. Esta teoria veio fornecer à ciência uma visão integrada dos processos geológicos globais, como a ocorrência de sismos, de vulcões, da localização das grandes cadeias de montanhas e da idade das regiões continentais e dos fundos oceânicos. A partir de 1970, a visão mobilista da Terra expressa na teoria da tectónica de placas passou a ser usada de uma forma rotineira.

Alfred Wegener
(1880-1930)

Em 1912, o meteorologista e geofísico alemão Alfred Wegener formulou a hipótese segundo a qual os continentes se movimentavam através do globo terrestre – deriva dos continentes.

Frank Taylor
(1860-1938)

Em 1912, o geólogo americano Frank Taylor avançou com a hipótese de os continentes se terem deslocado das altas para as baixas latitudes. Concebeu a deriva continental de maneira diferente da de Wegener.

Arthur Holmes
(1890-1965)

Em 1928, o geólogo britânico Arthur Holmes sugeriu que as correntes de convecção térmica que faziam ascender material sob as dorsais oceânicas poderiam ser o motor da deriva dos continentes proposta por Wegener.

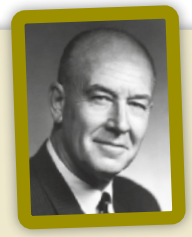
Alexander du Toit
(1878-1948)

O geólogo sul-africano Alexander du Toit foi um dos principais apoiantes da teoria da deriva continental. Em 1937, propôs que, no passado geológico, teriam existido apenas um continente a norte e outro a sul, respetivamente a Laurásia e a Gondwana, separados pelo mar Tétis.

Harry Hess
(1906-1969)

Robert Dietz
(1914-1995)

Em 1962, o geólogo americano Harry Hess desenvolveu a hipótese de que os fundos oceânicos se formavam ao longo das dorsais oceânicas e se afastavam lateralmente a partir do meio da dorsal. No ano seguinte, o geólogo americano Robert Dietz denominou este fenómeno de expansão dos fundos oceânicos. Hess e Dietz deram um importante contributo para a formulação da teoria da tectónica de placas.



John Wilson
(1908-1993)

Em 1965, o geofísico canadiano John Wilson propôs um modelo tectónico baseado em "placas rígidas" que se movimentavam sobre a superfície terrestre.

Frederick Vine
(1939-2024)

Drummond Matthews
(1931-1997)

Em 1963, os geólogos britânicos Frederick Vine e Drummond Matthews propuseram que a litosfera oceânica basáltica se formava regularmente ao nível das dorsais oceânicas. Estes cientistas relacionaram a expansão dos fundos oceânicos com os dados magnéticos neles registados.

Jason Morgan
(1935-2023)

Dan Mckenzie
(1942-)

Em 1968, o geofísico americano Jason Morgan e o geofísico britânico Dan McKenzie chegaram às mesmas conclusões, trabalhando independentemente. Apresentaram o primeiro modelo explicativo do movimento das placas, dando um enorme contributo para o desenvolvimento da teoria da tectónica de placas.

1. Refere quatro cientistas que contribuíram para a hipótese da deriva continental.
2. Transcreve o contributo de cada um dos cientistas que referiste na questão anterior.
3. Identifica quatro cientistas que contribuíram para a teoria da tectónica de placas.
4. Atribui a cada contributo o(s) respetivo(s) cientista:
   – expansão dos fundos oceânicos;
   – modelo do movimento das placas litosféricas;
   – relação entre a expansão dos fundos oceânicos e os dados magnéticos.

Atividade prática

Hotspot de Cabo Verde

O arquipélago de Cabo Verde é uma região interessante para o estudo dos *hotspots* no interior das placas litosféricas, considerando estas estruturas ainda enigmáticas e que não são facilmente explicadas pela teoria da tectónica de placas. A geometria em ferradura e a morfologia e batimetria do fundo marinho circundante do arquipélago de Cabo Verde desempenham um papel significativo nos estudos sísmicos desta região. Com base nestes estudos, foi construído um modelo tridimensional da variação da velocidade das ondas S com a profundidade (Fig. 1).

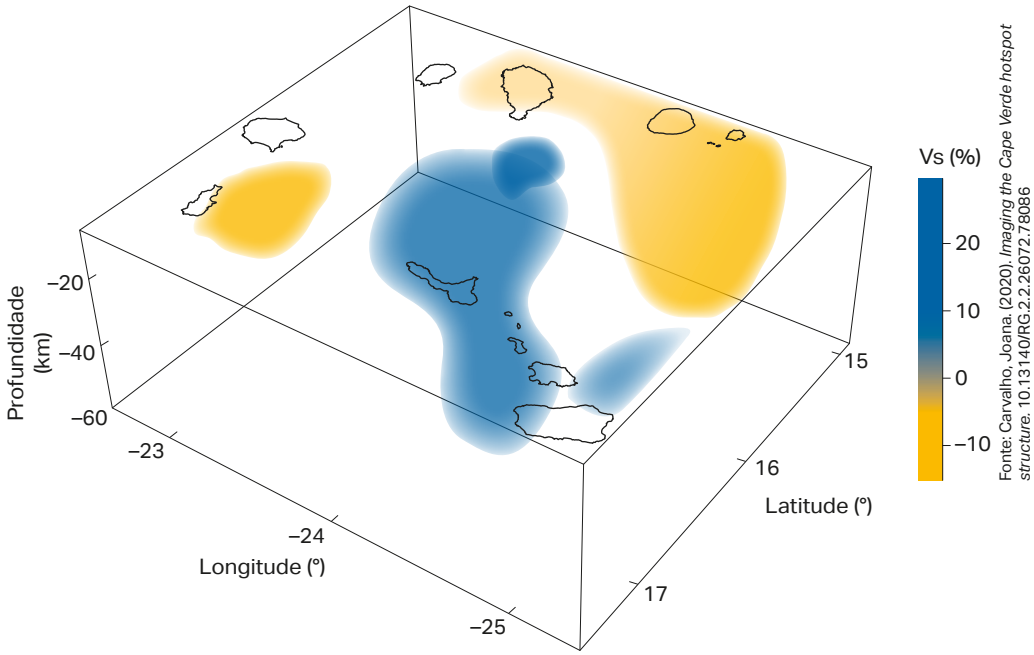


Fig. 1

1. Explica como foram obtidos os dados para a elaboração do gráfico da figura 1.
2. Refere o tipo de ondas sísmicas cuja variação de velocidade foi usada para a construção do gráfico da figura 1.
3. Sabendo que a cor azul representa anomalias positivas e a cor laranja representa anomalias negativas na velocidade das ondas sísmicas, indica qual o grupo de ilhas com anomalias positivas.
4. Justifica a afirmação: "O *hotspot* de Cabo Verde tem provavelmente dois centros ativos", com base na figura 1.

Atividade laboratorial Simulação de plumas térmicas

Diversos estudos apontam para que o arquipélago de Cabo Verde está sobre um *hotspot* com dois centros ativos. Podes construir um modelo e simular a ascensão de plumas térmicas. Recorda que os modelos, mesmo os modelos científicos, embora sejam uma forma de explicar processos naturais, têm limitações: não representam exatamente a realidade e não são definitivos. São analogias que permitem simular processos reais, mas que ajudam a compreender processos complexos, como o funcionamento de pontos quentes.

Material

- 2 Gobelés de 500 mL
- Areia fina
- 2 Placas de madeira
- Lamparina de álcool
- Areia grossa
- 2 Velas vermelhas grandes
- Tripé e rede de aquecimento
- Faca de cozinha
- Água

Procedimento

1. Cuidadosamente, corta uma das velas em pedaços com a faca e coloca-os dentro de um gobelé. Procede do mesmo modo com a outra vela.
2. Aquece um dos gobelés até que os pedaços de vela derretam. Retira o gobelé e coloca sobre a placa de madeira. Procede do mesmo modo com o outro gobelé.
3. Mede a altura da camada de cera no fundo do gobelé. Coloca areia fina de modo que a espessura da areia seja o dobro da espessura da cera. Procede do mesmo modo com o outro gobelé mas deita areia grossa.
4. Deita água até cerca de 400 mL em cada um dos gobelés.
5. Aquece novamente cada um dos gobelés. Regista as tuas observações.

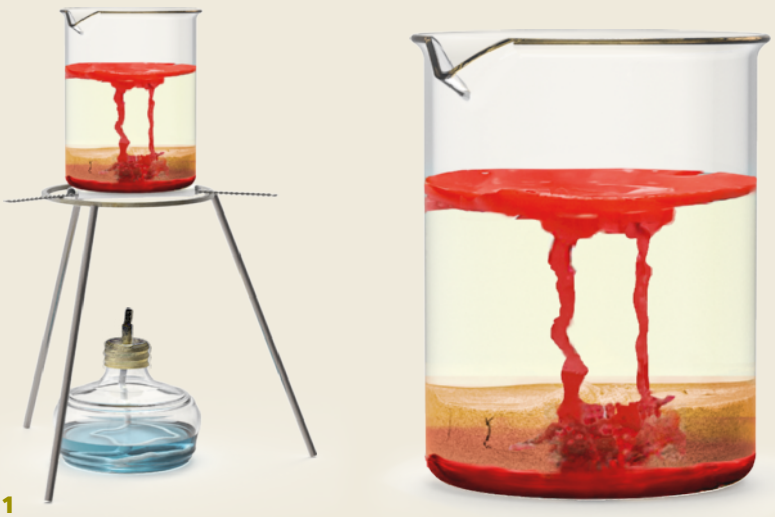


Fig. 1

Baseado em: *Guia para Trabalho Prático no Ensino das Ciências Naturais*. D. Lima, N. Orion, C. Vasconcelos, FCUP, 2023.

Discussão

1. Explica o que observas tendo por base os teus conhecimentos sobre a provável origem das ilhas de Cabo Verde.

Em resumo...

O que é a hipótese da deriva continental?

Alfred Wegener questionou o imobilismo e propôs a **hipótese da deriva continental** segundo a qual os continentes atuais se movimentavam através do globo terrestre, tendo estado unidos no passado. Propôs a denominação de **Pangeia** para um único supercontinente, rodeado por um único oceano chamado Pantalassa.

Quais foram as evidências apresentadas por Wegener?

Os **argumentos morfológicos** estão relacionados com a forma dos diferentes continentes. Algumas margens continentais de continentes atualmente separados ajustam-se como as peças de um *puzzle*.

Os **argumentos litológicos** estão relacionados com a mesma origem e idade das rochas em diferentes continentes. Há semelhanças nas sequências litológicas em vários continentes atualmente separados.

Os **argumentos paleontológicos** estão relacionados com a existência de fósseis idênticos em diferentes continentes. Fósseis das mesmas espécies de animais e de plantas, incapazes de atravessar o oceano, foram encontrados em continentes atualmente separados.

Os **argumentos paleoclimáticos** estão relacionados com a presença de vestígios e registos semelhantes dos mesmos climas do passado geológico em diferentes continentes. Marcas de glaciares, de climas frios, com a mesma idade, foram descobertos em regiões atualmente com climas quentes.

Qual é a morfologia dos fundos oceânicos?

A **plataforma continental** corresponde à zona imersa da margem continental, onde são depositados os sedimentos transportados pelos rios e glaciares. O **talude continental** marca a transição entre a área continental e a oceânica e apresenta muitas vezes canhões submarinos. A **planície abissal** é uma superfície quase horizontal que se estende a partir da base do talude continental, onde se depositam sedimentos finos. A **dorsal oceânica** é uma extensa cordilheira montanhosa de origem vulcânica. A **fossa oceânica** é a zona mais profunda do fundo oceânico, que ocorre na orla do talude continental e da planície abissal.

O que é a teoria da tectónica de placas?

Segundo a **teoria da tectónica de placas**, a litosfera está dividida em várias placas que se movem umas relativamente às outras.

Uma **placa tectónica** é uma porção de litosfera que se movimenta sobre a astenosfera.

Em resumo…

Que processos geológicos ocorrem ao nível dos limites das placas tectónicas?

- O **limite das placas tectónicas** é a fronteira entre duas placas tectónicas, ou seja, a zona onde as placas se encontram uma com a outra e se movimentam uma em relação à outra.
- Um **limite divergente** é uma zona de separação de duas placas tectónicas que se afastam uma da outra, em sentidos opostos. Este é um **limite construtivo**, pois há formação e acrescentamento de nova litosfera.
- Um **limite convergente** é uma zona de aproximação entre duas placas tectónicas que colidem uma com a outra. Este é, geralmente, um **limite destrutivo** e forma-se uma **zona de subducção** – local onde a placa litosférica mais densa afunda sob a placa litosférica menos densa e mergulha no manto até fundir.
- Um **limite transformante** é uma zona em que as placas tectónicas se deslocam horizontalmente, deslizando com atrito uma pela outra. Este é um **limite conservativo**, pois não há produção nem destruição de litosfera.

Qual é a relação entre a constância do volume e da massa da Terra e a destruição dos fundos oceânicos?

- A teoria da tectónica de placas explica a **constância do volume e da massa da Terra**.
- À medida que ocorre a formação de nova litosfera oceânica, a partir dos riftes das dorsais oceânicas, e a expansão dos fundos oceânicos, vai acontecendo, de um modo mais ou menos contínuo, a destruição da litosfera oceânica mais antiga nas zonas de subducção.

Qual é o motor do movimento de deriva dos continentes?

→ Segundo a teoria da tectónica de placas, o motor do movimento de deriva dos continentes poderão ser as **correntes de convecção do manto** – movimentos de circulação de material rochoso mantélico devidos a diferenças de temperatura e de densidade.

Qual é o papel da astenosfera na movimentação das placas litosféricas?

→ Os movimentos de convecção do manto são cíclicos e extremamente lentos e geram a força necessária para arrastar as placas litosféricas sobre a **astenosfera**.

Quais são as principais placas tectónicas?

→ As placas tectónicas principais são a **Placa Africana**, a **Placa da Antártida**, a **Placa Euro-Asiática**, a **Placa do Pacífico**, a **Placa Indo-Australiana**, a **Placa Norte-Americana** e a **Placa Sul-Americana**.

Em resumo...

Qual é a diferença entre as sismicidades interplaca e intraplaca?

- Na sismicidade interplaca ocorrem **sismos interplaca** nas proximidades dos limites das placas tectónicas.
- Na sismicidade intraplaca ocorrem **sismos intraplaca** no interior das placas tectónicas, como em **Cabo Verde**.

Como varia a profundidade do foco sísmico com o tipo de limite tectónico?

- Nos limites transformantes e nos limites divergentes, os sismos interplaca têm, geralmente, **focos superficiais**.
- Nos limites convergentes, os sismos interplaca podem ter **focos superficiais** ou **focos profundos**.
- Os sismos intraplaca têm, geralmente, **focos superficiais**.

Qual é o tipo de atividade vulcânica que ocorre em cada tipo de limite de placas tectónicas?

- No vulcanismo interplaca ocorrem **vulcões interplaca** nas proximidades dos limites das placas tectónicas.
- No vulcanismo intraplaca ocorrem **vulcões intraplaca** no interior das placas tectónicas, como em **Cabo Verde**.
- O **vulcanismo interplaca** pode ser de dois tipos: vulcanismo de subducção e vulcanismo de vale de rifte.
- O **vulcanismo de subducção** está associado a limites convergentes, nos quais a placa tectónica mais densa mergulha sob a menos densa.
- O **vulcanismo de vale de rifte** está associado a limites divergentes, nos quais as placas tectónicas se afastam uma da outra.
- O **vulcanismo intraplaca** está associado, principalmente, à existência de pontos quentes ou *hotspots*.
- O vulcanismo intraplaca explica a existência do arquipélago de **Cabo Verde** e de outras ilhas no interior de placas oceânicas e de vulcões isolados no interior dos continentes.
- O **ponto quente** ou *hotspot* é o local da superfície terrestre onde ocorre atividade vulcânica devido a um grande aumento de temperatura provocado pela ascensão de material proveniente do interior da Terra.
- Os pontos quentes são locais onde emergem, sob a forma de cogumelos, **plumas térmicas** – colunas de material rochoso provenientes, provavelmente, da zona de fronteira entre o manto e o núcleo.

Teste formativo

1 **Lê atentamente o texto e observa a figura 1. Nas questões seguintes, seleciona a opção que completa corretamente a frase.**

A origem do *hotsptot* de Cabo Verde é, geralmente, atribuída a uma pluma térmica do manto. Os estudos desenvolvidos permitiram construir um modelo tomográfico tridimensional com a localização de câmaras magmáticas na litosfera oceânica sob o arquipélago, alimentadas por uma pluma mantélica vinda do manto profundo (Fig. 1).

Baseado em: Liu e Zhao (2021), DOI: 10.1093/gji/ggab012

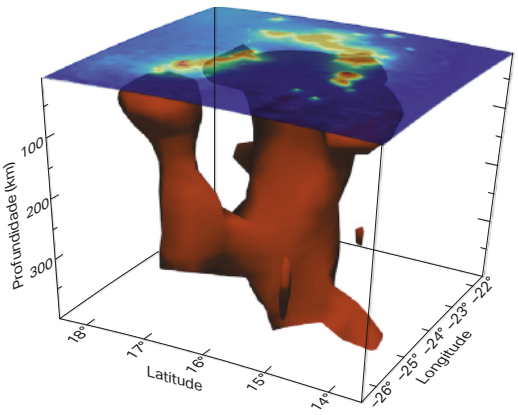


Fig. 1

1.1. O *hotspot* de Cabo Verde é…

(A) um ponto quente interplaca.
(B) um ponto quente intraplaca.
(C) a subida de material da litosfera.
(D) o local à superfície da astenosfera.

1.2. As câmaras magmáticas no *hotspot* de Cabo Verde…

(A) são alimentadas por uma pluma do manto inferior e estão localizadas na crusta oceânica sob o arquipélago.
(B) são alimentadas por uma pluma do manto superior e estão localizadas na astenosfera oceânica sob o arquipélago.
(C) estão localizadas na litosfera oceânica sobre o arquipélago.
(D) estão localizadas na astenosfera oceânica sob o arquipélago.

1.3. O *hotspot* de Cabo Verde está localizado…

(A) entre a Placa Africana e a Placa Sul-Americana.
(B) entre a Placa Somali e a Placa Indo-Australiana.
(C) sob a Placa Africana, na litosfera oceânica.
(D) sob a Placa Núbia, na litosfera continental.

1.4. Na região da placa litosférica que se encontra sobre a pluma térmica do *hotspot* de Cabo Verde…

(A) podem formar-se montanhas de rochas plutónicas.
(B) formam-se novos vulcões à medida que a placa se vai deslocando sobre a pluma e os antigos são os mais ativos.
(C) podem formar-se arcos insulares.
(D) formam-se novos vulcões à medida que a placa se vai deslocando sobre a pluma e os antigos ficam extintos.

Teste formativo

2 **Observa a figura 2 que representa um dos argumentos da hipótese da deriva continental.**

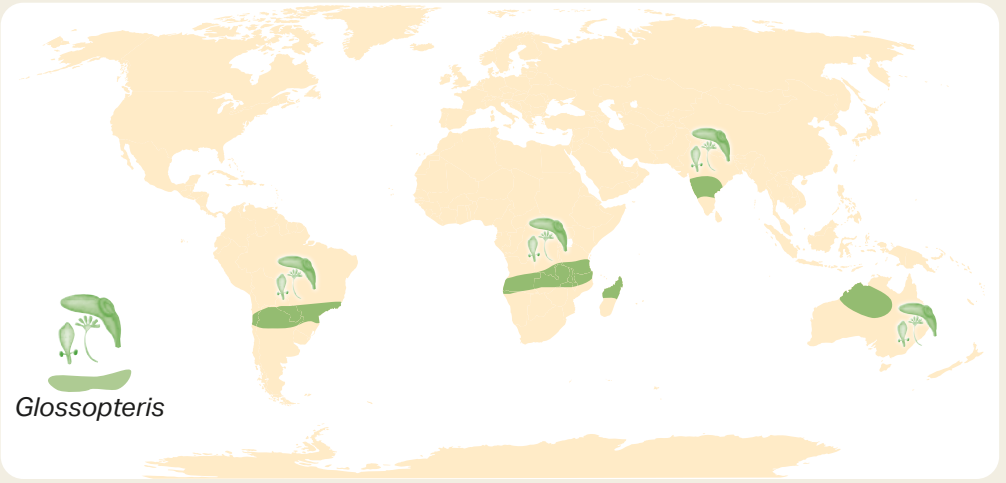


Fig. 2

2.1. Nomeia o autor da referida hipótese.

2.2. Identifica o tipo de argumentos a que se refere a figura 2.

2.3. Justifica, com dados da figura 2, a importância dos fósseis de *Glossopteris* como prova da deriva dos continentes.

2.4. Refere os outros tipos de argumentos que apoiam a hipótese da deriva continental.

2.5. Apresenta dois argumentos que fragilizaram a referida hipótese.

3 **Ordena as letras de A a E de modo a reconstituir a sequência cronológica do processo de correntes de convecção do manto. Inicia na letra A.**

A – Na litosfera as temperaturas são insuficientes para fundir os materiais, mas, na transição para a astenosfera, o aumento da temperatura permite a fusão parcial do material mantélico.

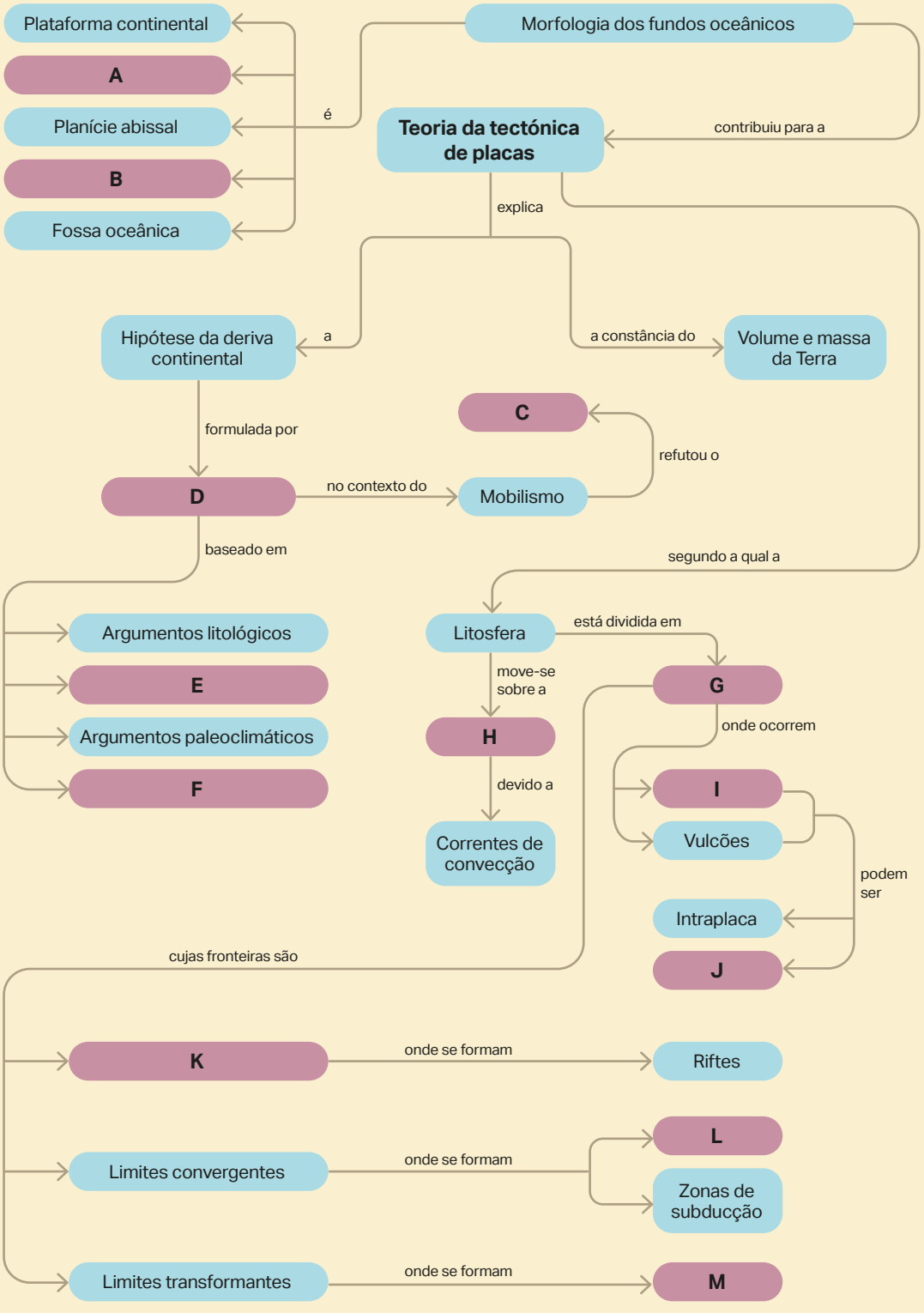
B – Por sua vez, os materiais do manto superior arrefecem, tornam-se mais densos e podem incorporar restos de placas oceânicas que sofreram subducção.

C – A convecção é gerada quando os materiais aquecem na base do manto, em resultado da condução de calor do núcleo externo, sofrem expansão e tornam-se menos densos, permitindo a sua ascensão.

D – Estes materiais mais frios e mais rígidos são transportados no sentido descendente, podendo atingir a base do manto.

E – Na astenosfera e no restante manto, a convecção mantélica mistura material profundo e mais quente com material menos profundo e mais frio.

Mapa de conceitos



Biologia e Geologia 11.º ano

Criação intelectual
Maria dos Anjos Viana
Helena Santos

Revisão científica
Universidade
de Cabo Verde

Design
Porto Editora

Créditos fotográficos
© Stock.Adobe.com
Depositphotos.com
© Pedro Moita

Edição
2025