

Datação absoluta

A datação absoluta permite obter um valor numérico para a idade das rochas e pode ser aplicada em rochas magmáticas e metamórficas.

Datação radiométrica: principal método de datação absoluta. Este método baseia-se na tendência de alguns isótopos para emitirem partículas e radiação eletromagnética a partir dos seus núcleos instáveis.



A esta emissão de radiação eletromagnética dá-se o nome de radioatividade, resulta no **decaimento (radioativo)**, ou transformação, de um isótopo instável inicial (**isótopo-pai**) num isótopo final estável (**isótopo-filho**) do mesmo elemento químico ou de outro diferente.

Tempo de semivida:

- tempo necessário para que uma dada quantidade de isótopo-pai se reduza para metade;
- o tempo de semivida é constante para cada par isótopo-pai/isótopo-filho, independentemente das condições de pressão e de temperatura a que a rocha esteve sujeita.



Conhecendo o valor da semivida do isótopo e tendo em conta a quantidade relativa dos dois isótopos num mineral, é possível determinar o início da desintegração do isótopo-pai. Essa determinação permite conhecer o momento em que o mineral se formou e conhecer a idade da rocha de que faz parte. (exemplo: se a razão entre o isótopo-pai e o isótopo-filho for igual a 1, considera-se que ocorreu 50% de decaimento e, assim, o mineral possui idade igual à semivida do isótopo-pai a datação radiométrica baseia-se, portanto, na quantificação e no cálculo da razão entre um isótopo instável (pai) e um isótopo estável (filho)).

Limitações da datação radiométrica:

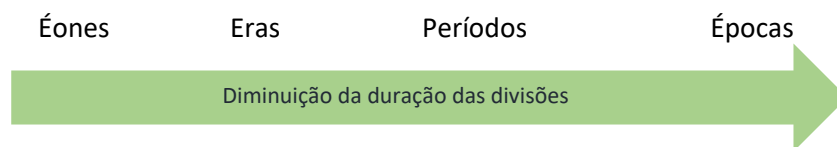
- Só pode ser aplicada a minerais cuja composição química incorpore isótopos radioativos instáveis;
- É um método difícil de aplicar a algumas rochas, como as sedimentares;
- É um método mais complexo e suscetível a contaminações químicas;

- A datação absoluta de rochas magmáticas é mais fiável do que a das rochas sedimentares (a datação dos detritos que constituem as rochas sedimentares não permite determinar a origem da sua formação, mas sim a origem da rocha que sofreu erosão).

Nota: Na datação radiométrica, a escolha do par isótopo-pai/isótopo-filho mais adequado depende da semivida do isótopo-pai e do intervalo de idade da rocha que se pretende datar (ver gráfico da pág. 70).

Memória dos tempos geológicos

A escala do tempo geológico está dividida em intervalos de tempo com duração variável:



Ao longo do tempo geológico, fenómenos como a queda de grandes meteoritos, o vulcanismo intenso ou os processos tectónicos provocaram mudanças na Terra. Estas mudanças incluem alterações climáticas, variações do nível da água do mar (regressões marinhas, o nível dos oceanos baixa ou transgressões marinhas, o nível dos oceanos aumenta), etc. As alterações ambientais conduziram a variações da diversidade biológica, tendo ocorrido quer extinções em massa quer aumentos acentuados do número de espécies.

Nota: A datação, o estudo dos fósseis e das rochas permite reconstituir os ambientes do passado cujas variações resultaram de fatores **biológicos** (extinção e aparecimento de espécies) e **geológicos** (impacto meteorítico, atividade vulcânica, variações climáticas, variações do nível do mar...)

Vulcanismo

Origem e classificação do vulcanismo

Vulcanismo: conjunto de fenômenos que abrangem todos os processos relacionados com a libertação de materiais sólidos (*piroclastos*), líquidos (*lavas*) e gasosos.



Estes materiais são provenientes do **magma** (mistura de material rochoso total ou parcialmente fundido, a elevadas temperaturas). O magma resulta da fusão de rocha da crosta ou do manto, apresentando uma natureza essencialmente silicatada. A sua menor densidade faz com que ascenda através de fraturas nas rochas envolventes, podendo acumular-se em câmaras magmáticas. A acumulação de magma nas câmaras resulta na sua ascensão até à superfície, onde liberta gases e se transforma em **lava** (material líquido cuja viscosidade depende da composição química do magma e da sua temperatura).

Vulcão: Abertura na crosta continental ou oceânica através da qual ocorre libertação de materiais vulcânicos.

Vulcão inativo: não apresenta atividade, mas existe a possibilidade de acontecer uma erupção no futuro.

Vulcão extinto: é improvável ocorrerem erupções ou não há erupções há pelo menos 10 000 anos.

Atividade vulcânica

Processo de transferência de calor do interior da Terra para a superfície.

Vulcanismo primário: corresponde à ocorrência de uma erupção vulcânica, com libertação de magma ou materiais associados.

Vulcanismo secundário/ residual: não ocorre emissão de material magmático, mas ocorrem fenômenos associados à presença de magma, como, nascentes termais, fumarolas...

Vulcanismo primário

O vulcanismo primário pode ser classificado em fissural ou central.

Vulcanismo fissural: ocorre explosão de material vulcânico através de fraturas. É o tipo de vulcanismo mais abundante na Terra.

Vulcanismo central: caracteriza-se pela existência de um edifício principal, ou **cone vulcânico**, resultante da deposição de materiais expelidos nas erupções.



O cone contém uma **cratera**, por onde ocorre a libertação de materiais vulcânicos, que é ligada pela **chaminé** à **câmara magmática**, onde se acumula o magma. Por vezes, ocorre a formação de **cones adventícios ou secundários**, cada um com a sua chaminé e cratera adventícias, alimentados pela conduta principal. Também podem surgir fendas nas encostas dos cones vulcânicos, por onde ocorre atividade vulcânica fissural.

Nota: os vulcões podem apresentar caldeiras vulcânicas que resultam do abatimento do edifício vulcânico, por falta de suporte, devido ao esvaziamento rápido da câmara magmática. Nestas depressões pode ocorrer acumulação de água, originando lagoas, mas também se podem formar cones vulcânicos intracaldeira, resultantes de erupções posteriores à formação da caldeira.

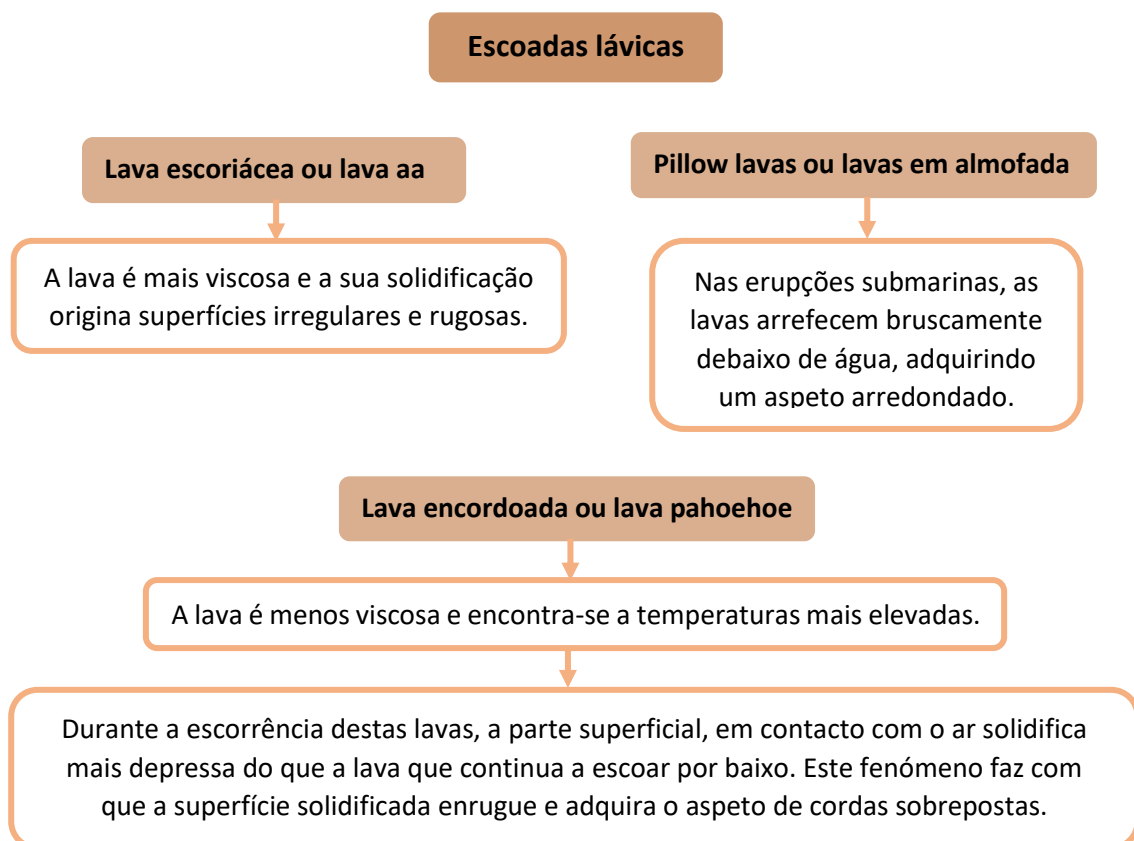
Vulcanismo subaéreo: ocorre à superfície, exposto a condições atmosféricas.

Vulcanismo subaquático: ocorre debaixo de água, em especial nos limites divergentes, formando lavas em almofada que podem estar atualmente à superfície.

Tipos de atividade vulcânica

Atividade efusiva:

- Emissão de **lava com composição básica** (baixo teor em sílica e em gases; elevadas temperaturas);
- Formam-se **escoadas de lava** devido ao deslocamento rápido da lava, que por ser básica, se torna menos viscosa, estas escoadas acumulam-se sob a forma mantos de lava;
- Formam-se **vulcões em escudo** – vulcões grandes com relevos cónicos de vertentes pouco inclinadas, resultantes da sobreposição de escoadas de lava libertadas em erupções sucessivas (exemplo: vulcões do Havai);
- Não ocorrem explosões, pois os gases e o magma libertam-se facilmente;
- A libertação de piroclastos é, geralmente, reduzida, podendo até estar ausente ou ocorrer apenas no início da erupção.



Nota: O arrefecimento dos mantos de lava pode originar a contração do basalto, provocando, por vezes, a sua fratura. Assim originam-se colunas de rocha com disjunção prismática ou colunar. A atividade vulcânica associada ao vulcanismo fissural tende a ser tipo efusivo.

Atividade explosiva:

- Ocorre sobretudo libertação de material piroclástico e de gases, sendo reduzida ou inexistente, a escoada de lavas;
- As lavas tendem a apresentar uma composição mais ácida (elevado teor em sílica e em gases; temperaturas relativamente baixas);
- A elevada viscosidade do magma e das lavas, dificulta a sua movimentação e a libertação dos gases. O aprisionamento dos gases conduz ao aumento da pressão, que origina explosões violentas que fragmentam as rochas e as lavas na chaminé, podendo levar ao desmoronamento do cone vulcânico;
- Os cones vulcânicos apresentam um declive acentuado, devido à acumulação de piroclastos e de alguma lava muito viscosa.

Materiais libertados nas explosões

Nuvens ardentes

Nuvens espessas e densas constituídas por cinzas incandescentes e fragmentos de lava envolvidos por gases a altas temperaturas.

Estas nuvens deslocam-se a grande velocidade nas vertentes dos vulcões, constituindo escoadas piroclásticas destrutivas.

Piroclastos

Resultam da projeção de materiais fragmentados de lava parcialmente solidificada para o exterior, ou da projeção de materiais arrancados das paredes vulcânicas (piroclastos de queda).

Bombas e blocos

Lapilli

Cinzas

Diminuição
do
tamanho

Nota: Neste tipo de atividade vulcânica a consolidação da lava viscosa na cratera pode originar domos vulcânicos (forma mais arredondada) ou agulhas vulcânicas (forma mais aguçada).

Atividade Mista:

- Apresenta características típicas da atividade efusiva e da atividade explosiva;
- As lavas emitidas apresentam, normalmente uma composição intermédia, tendendo a ser mais viscosas do que as lavas básicas emitidas no vulcanismo efusivo;
- A emissão de lava nos períodos efusivos pode alternar com a projeção de materiais piroclásticos (bombas, lapilli, cinzas...);
- Formam-se, normalmente, estratovulcões (vulcões compósitos) – vulcões com declive acentuado e constituídos por camadas alternadas de lavas e de piroclastos acumulados em torno da cratera principal ou de crateras adventícias.

Nota: Em todo o tipo de erupções vulcânicas ocorre a emissão de elevadas quantidades de materiais gasosos. As erupções tendem a iniciar-se pela emissão de gases (o vapor de água é o mais abundante, mas também é libertado dióxido e monóxido de carbono, nitrogénio, dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio...).

Vulcanismo residual

O vulcanismo ativo engloba outras manifestações além da atividade eruptiva:

Fumarolas: libertação de gases através de aberturas à superfície, provenientes de uma câmara magmáticas ou de fluidos aquosos que circulam nas suas proximidades. Designam-se por **mofetas**, quando as emanações são ricas em CO₂, e por **sulfataras**, quando são ricas em compostos de enxofre (em todas as situações se liberta vapor de água e outros gases).

Nascentes termais: são utilizadas para fins medicinais, a temperatura da água é pelo menos 4°C superior à temperatura ambiental e o aumento da sua temperatura aumenta a sua capacidade de dissolução de minerais das rochas, tornando-se mais mineralizada.

Géiseres: são jatos intermitentes de água quente e vapor libertados à superfície de forma regular, através de fraturas.

Vulcanismo e tectónica de placas

A atividade vulcânica concentra-se, sobretudo, nas zonas de fronteira de placas – vulcanismo interplaca – apresentando uma expressão reduzida no interior das mesmas – vulcanismo intraplaca.

O **vulcanismo interplaca** está associado a limites divergentes e convergentes, ocorrendo principalmente nas dorsais oceânicas e nos riftes continentais; no Anel de Fogo do Pacífico associado a zonas de subducção e da cintura do Mediterrâneo aos Himalaias.

O **vulcanismo intraplaca** está associado, sobretudo, a pontos quentes ou hotspots, que podem ocorrer no interior de placas oceânicas ou no interior de placas continentais. A posição dos pontos quentes na superfície terrestre não está dependente do movimento de placas litosféricas, podendo ou não coincidir com limites tectónicos.

Pontos quentes: formam-se na sequência de acontecimentos que têm início com o aquecimento de rochas do manto profundo, provavelmente nas proximidades do núcleo.

Essas rochas tornam-se menos densas e ascendem em direção ao manto superior sob a forma de **plumas mantélicas**. Na base da litosfera parte deste material sofre **fusão**, originando magma básico que alimenta o vulcanismo dos pontos quentes.

Pensa-se que as plumas mantélicas são relativamente estacionárias mantendo-se ativas por longos períodos de tempo. À medida que a placa litosférica se vai deslocando sobre a pluma, os vulcões edificadas vão sendo afastados, tornando-se extintos. Na região que, em determinado momento se encontra sobre a pluma mantélica, podem formar-se novos vulcões. (Nas situações em que o ponto quente se localiza na crosta continental, mais espessa, é mais difícil o magma básico chegar à superfície. Assim o calor libertado na câmara magmática pode fundir as rochas da crosta continental e formar um magma mais ácido que alimenta o vulcanismo explosivo à superfície).

A ilha por cima do ponto quente oceânico é a mais recente, e com o afastamento ao ponto quente aumenta a idade das ilhas e a sua erosão.

Vulcanismo em Portugal

Território continental: há evidências de vulcanismo primário extinto (escoadas de lava, depósitos de piroclastos e chaminés vulcânicas), nomeadamente, no Algarve, no Alentejo e na Estremadura.

Arquipélago da Madeira: as ilhas correspondem a antigos vulcões submarinos que libertaram elevadas quantidades de lava e que passaram a ter atividade subaérea. Este processo esteve associado a um ponto quente e as erupções subaéreas foram geradas, maioritariamente, por atividade fissural. Atualmente não há vulcanismo primário ativo, mas o vulcanismo na Madeira não deve ser considerado extinto.

Açores (limite divergente): a atividade vulcânica nos Açores está relacionada com o seu contexto tectónico. O arquipélago está localizado na fronteira entre as placas litosféricas norte-americana, euroasiática e africana, o que se traduz na existência de sistemas de fraturas por onde ascende o magma (nos Açores há manifestações de vulcanismo primário, sobretudo efusivo, e de vulcanismo secundário).

Prevenção de riscos vulcânicos

Para reduzir o risco vulcânico, os geólogos tentam prever a ocorrência de erupções através da monitorização de aspetos que evidenciam a aproximação de magma à superfície, como o registo de ondas sísmicas, a deteção de deformações das encostas do vulcão (recorrendo à tecnologia GPS), a medição da temperatura das águas em fontes termais e dos níveis de emissões de gases, que aumentam com a proximidade do magma.

Outras medidas de prevenção/redução de risco são o ordenamento de território em zonas vulcânicas e o desenvolvimento de planos de evacuação das populações em caso de crises vulcânicas.

Fenómenos vulcânicos com elevados riscos:

- Nuvens ardentes → elevado número de mortos;
- Queda de cinzas → problemas respiratórios graves e destruição de culturas agrícolas;
- Escoadas de lava → destruição de habitações, equipamentos e culturas agrícolas;

- Lahars (movimentos de lama constituída por piroclastos e água, ao longo de vales ou encostas íngremes, em forma de avalanche);
- Tsunamis resultantes do colapso de vulcões.

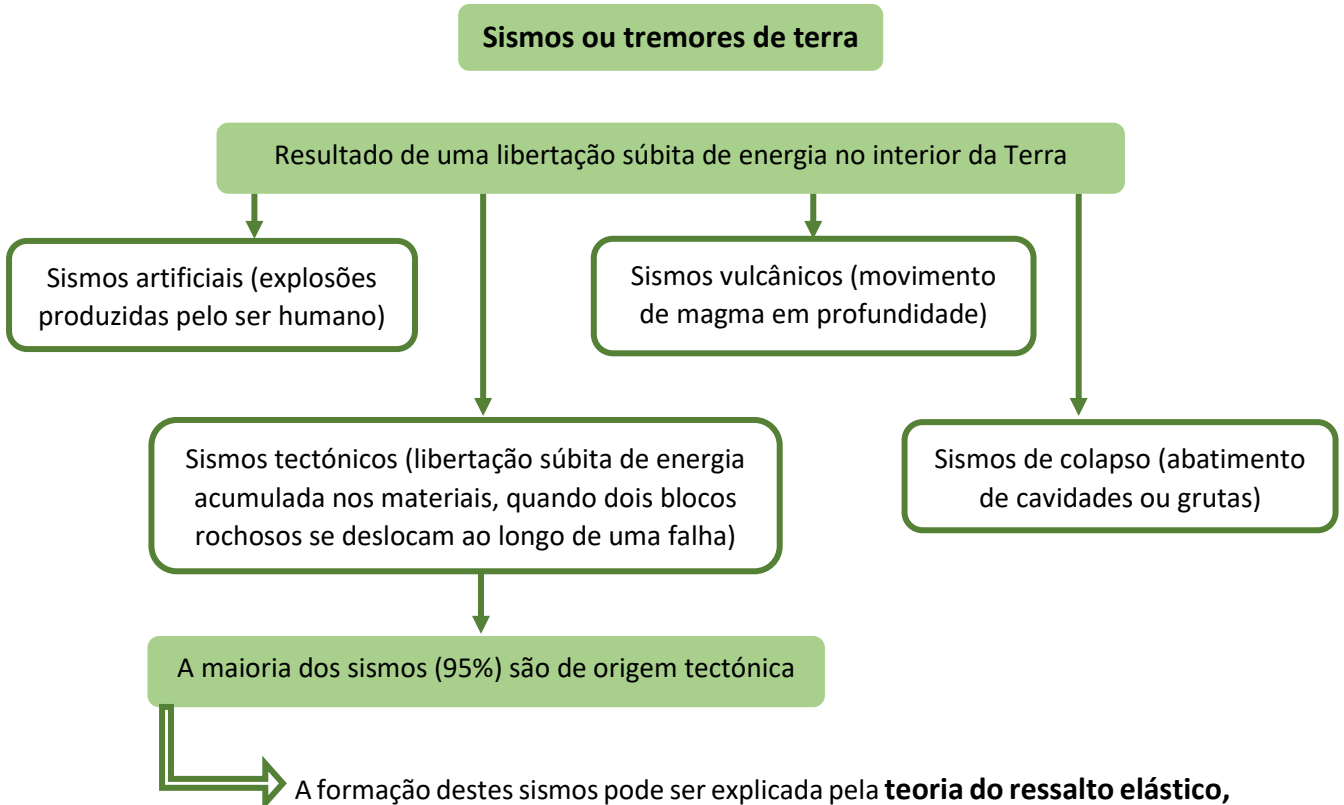
Impacto socioeconómico da atividade vulcânica

Vantagens da atividade vulcânica:

- Exploração agrícola (nas áreas vulcânicas os solos são mais férteis devido ao elevado teor de sais minerais);
- O calor libertado pelo magma pode ser aproveitado para a produção de energia elétrica, em centrais geotérmicas para o aquecimento de água ou de infraestruturas;
- Os ambientes vulcânicos têm características únicas que tornam os destinos atraentes para o turismo;
- As rochas e os materiais vulcânicos podem ser utilizados como materiais de construção em edifícios, infraestruturas ou pavimentos.

Sismologia

Origem dos sismos



A formação destes sismos pode ser explicada pela **teoria do ressalto elástico**, segundo a qual as rochas estão sujeitas à ação de forças resultantes do movimento das placas tectónicas, que as deformam. Ao atingir o seu limite de elasticidade, o material rochoso entra em rutura, libertando subitamente a energia elástica acumulada (formar-se uma falha).

Foco sísmico ou hipocentro: local do interior do Globo onde ocorre a rutura de rochas, que dá origem ao sismo, com libertação de energia sísmica. Quanto à profundidade do foco, os sismos podem ser classificados em superficiais, intermédios e profundos.

Ondas sísmicas: ondas concêntricas que se propagam em todas as direções, provocando a vibração das partículas dos materiais. São o resultado da libertação de energia/calor ao longo da falha, devido à fricção entre os blocos.

Raio sísmico: trajetória perpendicular à frente da onda com origem no foco.

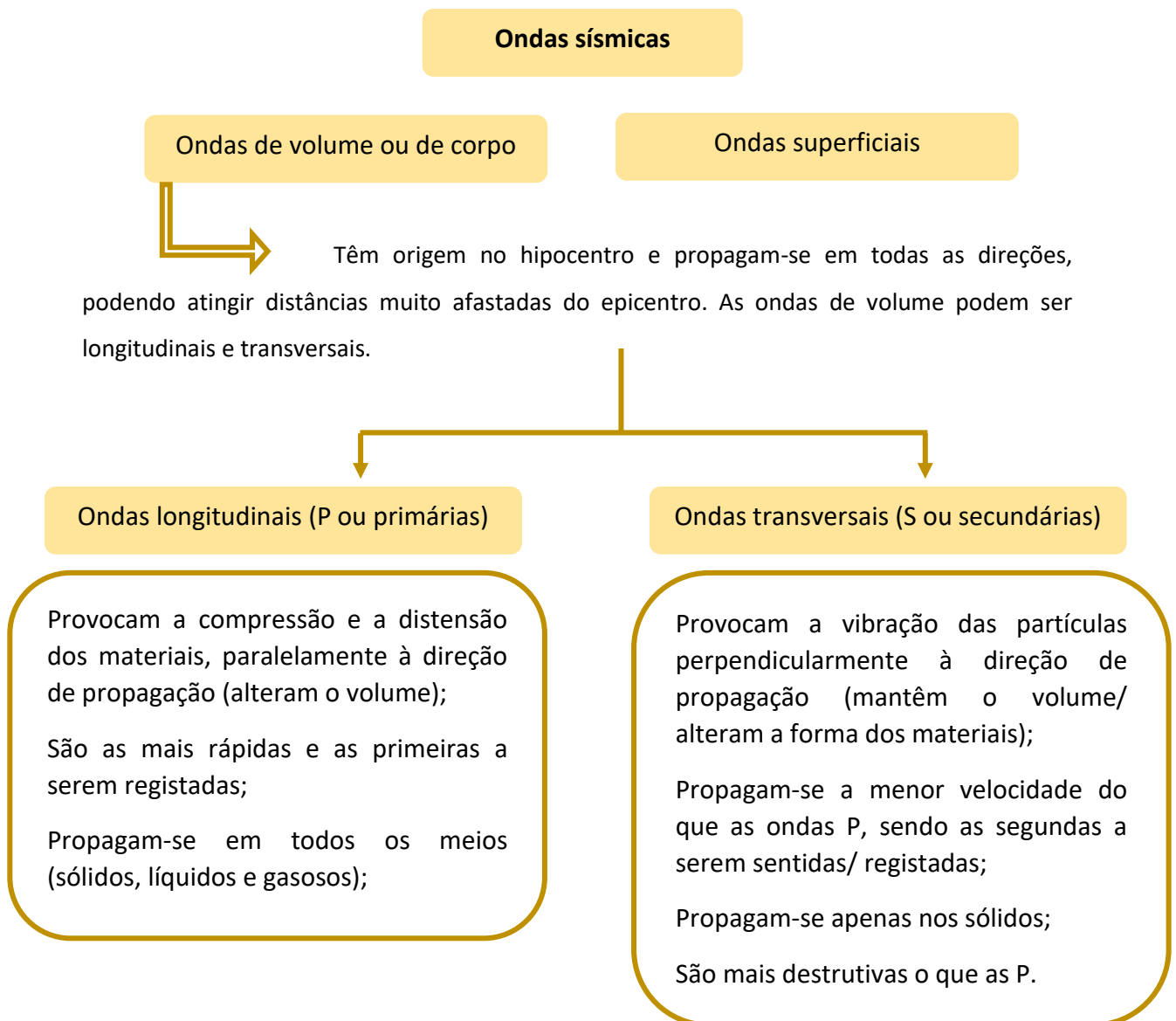
Epicentro: ponto à superfície mais próximo do hipocentro e situado na sua vertical.

Abalos premonitórios: pequenos sismos que ocorrem antes do sismo principal/mais forte.

Réplicas: sismos mais fracos, que ocorrem após o sismo principal e que resultam do reajustamento dos blocos onde ocorreu a rutura e que podem prolongar-se durante dias, meses ou anos.

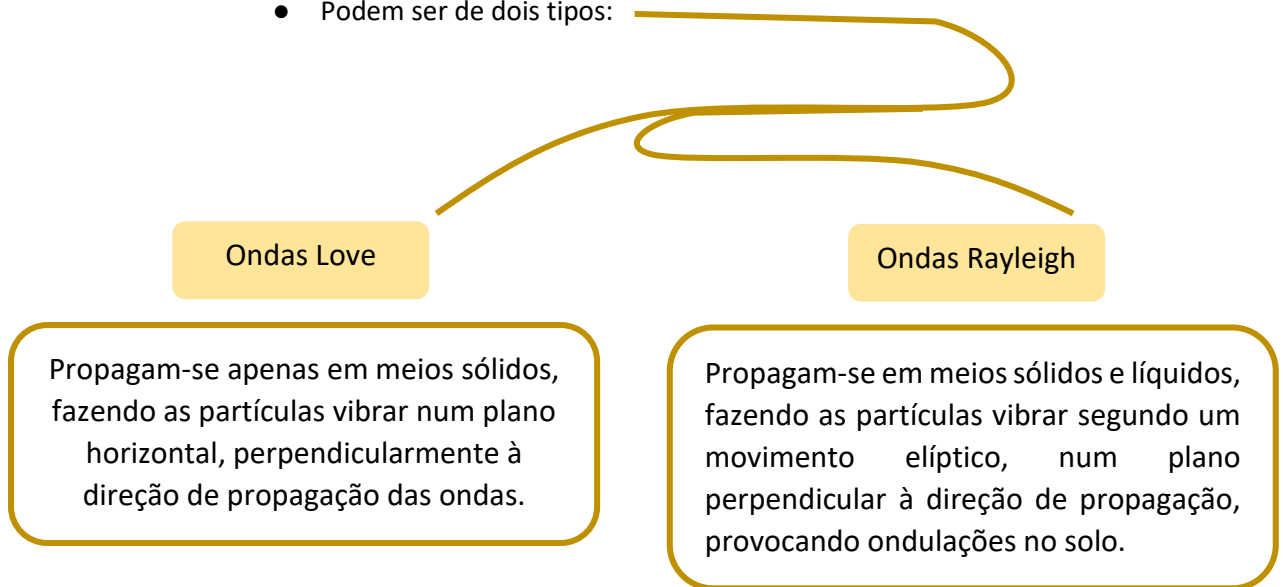
Nota: Os sismos podem resultar de deslocamentos verticais de blocos rochosos ao longo de falhas situadas no fundo oceânico. Estes deslocamentos podem causar perturbação na coluna de água e gerar deslocamentos na superfície do mar (tsunamis). Estas ondas também podem originar deslizamentos de vertentes.

Ondas sísmicas e seu registo



Ondas superficiais (L ou longas):

- Propagam-se apenas à superfície, a partir do epicentro;
- Resultam da interação entre as ondas P e S e o relevo;
- São mais lentas, sendo as últimas a serem registadas;
- São as mais destrutivas, devido à sua elevada amplitude provocam deformação intensa dos materiais;
- Podem ser de dois tipos:



Nota: A velocidade de propagação das ondas de volume é diretamente proporcional à rigidez e inversamente proporcional à densidade dos materiais.

Registo de ondas sísmicas

Os movimentos da superfície provocados pelos sismos são detetados por sismógrafos que os registam sob a forma de sismogramas. O sismograma permite calcular o tempo de chegada de cada tipo de onda e a sua amplitude (distância máxima de afastamento de uma partícula em relação à situação de repouso, durante uma oscilação).

As ondas S e P partem do hipocentro ao mesmo tempo, contudo, quanto maior a distância ao epicentro, maior o intervalo entre os tempos de chegada dessas ondas. Este atraso, registado no sismograma, permite calcular a distância epicentral e, conseqüentemente, definir uma circunferência cujos pontos são localizações potenciais do epicentro. O cruzamento de dados registados em três estações diferentes permite determinar o ponto de interseção das circunferências, cuja localização coincide com o epicentro.

Nota: As estações geofísicas utilizam sempre três sismógrafos: um mede a componente vertical e os outros dois medem a componente horizontal (N-S e E-W).

Escalas de avaliação sísmica

Um sismo pode ser avaliado através de escalas de magnitude ou de intensidade.

Magnitude sísmica: quantifica a energia libertada no hipocentro (escala de Richter).

Intensidade sísmica: avalia os efeitos produzidos pelo sismo, baseando-se no grau de destruição provocada no ambiente e nas construções, bem como na forma como as vibrações são sentidas pela população (escala de Mercalli Modificada e escala Macrossísmica Europeia).

Escala de Richter	Escala de Mercalli e Macrossísmica
<p>A escala é aberta (não tem limite superior) e é logarítmica (um sismo com magnitude 5 liberta cerca de 30 vezes mais energia do que um sismo com magnitude 4).</p> <p>A magnitude é determinada graficamente, conjugando a amplitude máxima das ondas registadas nos sismogramas com a distância epicentral, obtida a partir do intervalo de chegada das ondas S e P.</p> <p>Pode ser calculada rápida e automaticamente por programas informáticos.</p>	<p>Classificam os efeitos de um sismo em 12 graus, quanto maior o grau maior a destruição (ver pág.136).</p> <p>A avaliação da intensidade de um sismo é feita através de inquéritos às populações.</p> <p>Os dados obtidos permitem traçar isossistas sobre mapas, sendo elaboradas cartas de isossistas.</p>

Nota: Os sismos são o fenómeno natural que liberta mais energia. Cada sismo apresenta um só valor de magnitude sísmica, independentemente da estação onde o sismograma foi registado. (é improvável um sismo ter magnitude superior a 10)

Nota: A intensidade de um sismo é influenciada por vários fatores (quantidade de energia libertada no hipocentro, rochas que constituem o subsolo, tipo de ocupação humana na região, profundidade do foco, distância epicentral...). Assim um sismo pode ter várias intensidades (normalmente a intensidade diminui com o aumento da distância ao epicentro).

Isossistas: linhas curvas que delimitam zonas de igual intensidade.

Sismos e tectónica de placas

A maioria dos sismos está associada à atividade tectónica, podendo ser:

- **Sismos interplaca:** sismos que ocorrem na proximidade dos limites de placas litosféricas. Nos limites convergentes, com subducção, é possível a ocorrência de sismos com foco a profundidade variável (desde sismos superficiais a até aos mais profundos). Nos limites divergentes e transformantes, os sismos tendem a ser superficiais. A maioria dos sismos são interplaca.
- **Sismos intraplaca:** sismos cujo hipocentro se localiza no interior das placas (afastado dos limites). Estes sismos são menos frequentes e tendem a ser superficiais.

Nota: Em Portugal há sismos interplaca, devido ao sistema de falhas associadas à dorsal médio-oceânica (nos Açores), e ao longo da falha Açores-Gibraltar (um limite transformante que se prolonga até à região sul e sudoeste do país). Na Madeira e em Portugal continental a atividade sísmica é intraplaca (com atividade baixa a moderada).

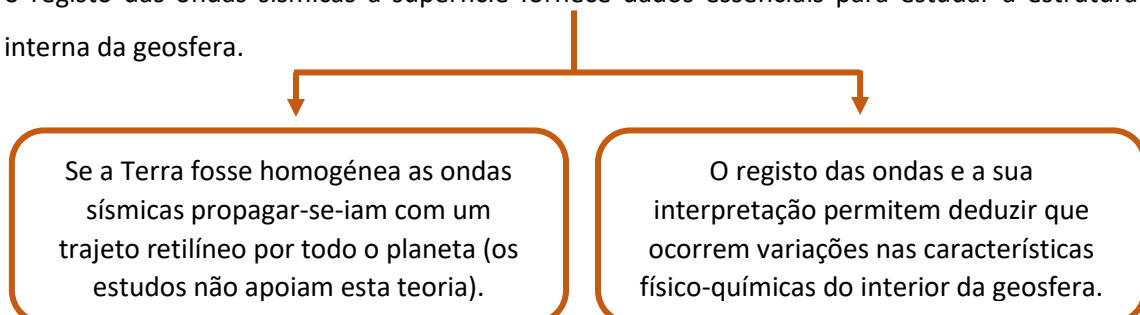
Previsão e prevenção do risco sísmico

Medidas de prevenção para salvaguardar vidas e bens:

- Determinar o risco sísmico;
- Elaborar planos de ação e socorro em situações de emergência;
- Desenvolver planos de ordenamento de território;
- Educação/ sensibilização das populações para os comportamentos a ter;
- Transmissão rápida de informação às autoridades competentes; lançamento de alertas à comunicação social e às populações, de forma a minimizar os impactos negativos.

Ondas sísmicas e o estudo do interior da Terra

Como a velocidade e a propagação das ondas varia consoante o meio que atravessam, o registo das ondas sísmicas à superfície fornece dados essenciais para estudar a estrutura interna da geosfera.



As ondas sísmicas, ao propagarem-se em profundidade, podem ser refletidas ou refratadas, quando atingem meios com características físico-químicas distintas. Estas características resultam de variações da rigidez e da densidade dos materiais, devido à sua composição mineralógica e ao seu estado físico.

Descontinuidades sísmicas: superfícies nas quais as ondas sísmicas mudam de velocidade e/ou de direção ou deixam de se propagar.

Descontinuidade de Mohorovicic (Moho): limite entre a crosta e o manto, em que as ondas aceleram devido ao aumento da rigidez no manto. A espessura da crosta continental é mais ou menos uniforme, mas a espessura da crosta continental é mais variável, sendo mais fina em regiões de menor altitude e mais espessa em regiões de maior altitude.

Descontinuidade de Gutenberg: limite entre o manto sólido e o núcleo externo líquido, originando reflexão das ondas P e S e refração das ondas P. As ondas S deixam de se propagar no núcleo externo líquido. Estes processos são responsáveis pela zona de sombra sísmica à superfície.

Zona de sombra sísmica:

- **Ondas P:** 102 a 143 graus de distância epicentral
- **Ondas S:** 102 a 180 graus de distância epicentral

Descontinuidade de Lehmann: limite entre o núcleo externo líquido e o núcleo interno sólido (onde as ondas P são refratadas e passam a propagar-se mais rapidamente).

Nota: devido à descontinuidade de Moho, por vezes, as ondas refratadas chegam mais rapidamente a um determinado local do que as ondas diretas. (Quanto maior a distância ao epicentro, maior a probabilidade de isto acontecer) → Tal acontece devido ao aumento da velocidade das ondas no manto.

Estudo da estrutura interna da geosfera

Métodos diretos

Os métodos diretos consistem, essencialmente, no estudo de amostras de materiais rochosos da crosta e do manto:

- Vulcanismo: estudo de materiais libertados na atividade vulcânica para determinar a composição química e as características físicas das camadas menos profundas (às vezes é possível estudar xenólitos).
- Afloramentos: estudo de rochas que estão expostas à superfície, mas que se formaram em profundidade. Assim, é possível nalguns locais estudar rochas da crosta inferior e do manto.
- Minas: permitem a recolha de amostras de material em explorações a céu aberto ou em escavações, possibilitando ainda o estudo das variações da temperatura nos níveis superiores da crosta.
- Sondagens: perfurações realizadas na crosta e que permitem obter amostras cilíndricas de materiais (tarolos), a partir dos quais é possível avaliar a natureza das rochas e dos fluidos que elas contêm.

Métodos indiretos

Os métodos indiretos são usados para estudar os materiais que constituem a crosta inferior, o manto e o núcleo. Não dependem do estudo e observação desses materiais, mas sim dos dados obtidos acerca destes, de uma forma indireta.

Baseiam-se em estudos geofísicos que envolvem sismologia, geomagnetismo e geotermia, que indicam que a terra está dividida em camadas concêntricas com constituição heterogênea.

Sismologia: a propagação das ondas sísmicas varia em função dos materiais que atravessam, podendo deixar de ser propagadas, alterar a sua velocidade e alterar a sua direção em resultado de fenómenos de reflexão e refração. O comportamento das ondas e o facto de estas se propagarem nas camadas internas mais profundas da Terra e de se registarem a milhares de quilómetros do hipocentro, possibilita o uso das ondas na dedução de existência de discontinuidades internas da terra, que separam camadas com propriedades físicas e químicas distintas. (Ver página 157, fig.6)

Os principais contributos da sismologia para a compreensão da estrutura interna são:

- A descoberta de uma descontinuidade entre a crosta e o manto, designada por descontinuidade de Mohorovicic, onde se regista um aumento das velocidades P e S.
- A deteção de uma zona de baixa velocidade sísmica no manto superior (astenosfera), onde diminui a rigidez e aumenta a plasticidade, essencial para o mobilismo tectónico.
- Aumento contínuo da velocidade sísmica desde a base da astenosfera até à base do manto (mesosfera), aumentando a rigidez dos materiais em profundidade.
- A dedução da existência do núcleo externo líquido, separado do manto pela descontinuidade de Gutenberg, a partir da qual não se propagam ondas S e se verifica uma diminuição acentuada da velocidade das ondas P.
- A constatação de que o núcleo interno é sólido e está separado do núcleo externo pela descontinuidade de Lehmann, ocorrendo propagação das ondas S e aumento da velocidade das ondas P.

Técnica de tomografia sísmica: permite produzir imagens tridimensionais do interior da Terra.

Geomagnetismo:

A Terra comporta-se como íman, gerando um campo magnético cujas linhas de força se apresentam atualmente orientadas numa direção aproximada sul-norte. Essa direção vai variando ao longo do tempo, podendo inverter as posições dos polos magnéticos, num processo de **inversão de polaridade**. Qualquer orientação do campo magnético do passado, com a configuração do atual, corresponde a uma **polaridade normal**, enquanto as orientações opostas correspondem a períodos de **polaridade inversa**.

Considera-se que o campo magnético é uma consequência da existência de cargas elétricas em movimento no interior do planeta (que pode ser explicado pela existência de um fluido metálico em movimento). Assim, o geomagnetismo constitui uma evidência da existência de uma região constituída por metal líquido no interior da Terra.

Um dos efeitos do campo magnético consiste na **magnetização de minerais ricos em ferro**, na sua formação, após o arrefecimento do magma. Esta magnetização é o testemunho do geomagnetismo do passado ou **paleomagnetismo**. O registo paleomagnético é importante no estudo da estrutura interna da Terra e na sua dinâmica, já que:

- Existência de registos paleomagnéticos e rochas com mais de 3500Ma indica que o campo magnético terrestre estaria ativo nessa altura, sugerindo a existência de um núcleo metálico líquido desde os primórdios da Terra.

- O estudo do magnetismo do fundo oceânico revelou a existência de anomalias magnéticas simétricas relativamente aos riftes. Anomalia magnética → diferença entre o campo magnético esperado e o valor efetivamente medido (quando a intensidade do campo é superior ao esperado origina-se uma **anomalia positiva** e quando é inferior ao esperado origina-se uma **anomalia negativa**).
- É possível determinar a posição dos continentes antigos ao longo do tempo (**paleogeografia**).
- O estudo das variações atuais do campo magnético na superfície da Terra tem fornecido dados importantes relativamente à composição e ao estado físico dos materiais em profundidade.
- Permitiu constatar que a duração dos períodos com polaridade normal e polaridade inversa tem variado ao longo do tempo, sugerindo que o movimento do material no núcleo externo é complexo e ainda pouco conhecido.

Nota: A polaridade dos basaltos do fundo oceânico. A uma anomalia positiva associa-se uma polaridade normal e a uma anomalia negativa associa-se uma polaridade inversa.

Gravimetria:

- Nos locais onde o valor da gravidade é superior ao normal (**anomalia gravimétrica positiva**), em profundidade existem materiais mais densos, tais como metais.
- Nos locais onde o valor da gravidade é inferior ao normal (**anomalia gravimétrica negativa**), em profundidade existem materiais menos densos, tais como, domos salinos, gesso, jazigos petrolíferos ou aquíferos.

Geotermia:


A Terra armazena no seu interior enormes quantidades de calor, sendo uma parte deste transferido para superfície de forma contínua.




Fluxo térmico: quantidade de energia calorífica libertada por unidade de superfície e por unidade de tempo.

Nota: O fluxo térmico não é uniforme, sendo mais alto nos riftes e menor no interior das grandes placas continentais e nas fossas oceânicas.

O vulcanismo, as nascentes termais e as medições em minas e sondagens permitem constatar o aumento da temperatura com a profundidade.


 **Gradiente geotérmico:** variação da temperatura em função da profundidade (grau C/km). Na crosta o valor médio deste gradiente é de 25°C/Km, diminuindo gradualmente para intervalos mais profundos do interior da Terra.

 **Regiões com maior fluxo térmico** (zonas de rifte) ---- > Apresentam uma variação mais acentuada da temperatura até à base da litosfera relativamente à variação que ocorre nas regiões com **menor fluxo térmico** (litosfera continental).

O estudo deste gradiente permite inferir o estado físico de cada camada, este estado não dependendo só da temperatura, mas também da composição química e da pressão a que se encontram os materiais.

Grau geotérmico: distância vertical, em metros, associada à variação de 1°C. O grau geotérmico é inversamente proporcional ao gradiente geotérmico, no entanto ambos variam com a profundidade.

Na litosfera as temperaturas são insuficientes para fundir os materiais, já na transição para a astenosfera o aumento da temperatura permite a fusão parcial do material mantélico.

 **Convecção mantélica:** mistura de material profundo (+ quente) com material menos profundo (+ frio), esta convecção ocorre na astenosfera e no restante manto.

	Métodos diretos	Métodos indiretos
Vantagens	Permitem o estudo detalhado de amostras com origem na crosta ou deslocadas para perto da superfície pela tectónica ou pelo vulcanismo	Permitem o estudo das características das camadas mais internas da Terra
Limitações	Só permitem o estudo de camadas mais superficiais (crosta e manto superior)	Fornecem dados muito complexos para inferir as propriedades das camadas, estando dependentes de desenvolvimentos tecnológicos.

Nota: O calor interno da Terra deve-se em parte à desintegração radioativa de materiais.