Tira Teimas

Desde a sua abertura em Maio de 2005 que o **CENTRO CIÊNCIA VIVA DE ESTREMOZ** tem tido uma relação de proximidade com as escolas, que constituem sem dúvida o seu principal grupo de visitantes. Desde sempre que temos procurado que esta relação não se esgote nas visitas dos grupos escolares ao Centro dinamizando, em estreita colaboração com a **ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE ÉVORA**, actividades/produtos que possam ser úteis para os professores.

Surgem então, por exemplo:

- as acções de formação (em ambiente de sala de aula ou no campo), que são actualmente realizadas de uma forma regular no nosso **Centro de Formação** (www.ccvestremoz.com/formacao)**;**
- a orientação de visitas de campo para grupos escolares (www.ccvestremoz.com/actividades-escolares);
- a elaboração de material didáctico sobre diversas temáticas na área das **Ciências da Terra** (www.ccvestremoz.com/ccvestremoz-recursos).

Desde 2014 que algum deste material tem surgido com regularidade sob a forma de Conversas da Terra, um conjunto de textos profusamente ilustrados com desenhos originais que temos vindo a distribuir de uma forma aberta (ccvestremoz.wixsite.com/ccvestremoz-recursos/conversas).

Criámos também há alguns anos o **TIRA-TEIMAS**, onde respondemos de uma forma individual a dúvidas que nos sejam colocadas (www.ccvestremoz.com/tira-teimas).
Pela frequência com que alguns professores têm recorrido a este serviço e pelos temas abordados percebemos que, apesar das respostas do TIRA-TEIMAS não terem a forma elaborada e mais completa dos textos das Conversas da Terra, seria útil difundir algumas junto da comunidade escolar, evidentemente omitindo a identidade de quem nos colocou a questão.

Centro Ciência Viva de Estremoz
Novembro de 2026

CCV ESTREMOZ CENTRO CIÊNCIA VIVA · UNIVERSIDADE DE ÉVORA · ICT Instituto de Ciências da Terra · CIÊNCIA VIVA Desde 1996 · MUNICÍPIO DE ESTREMOZ · VIVE ESTREMOZ
PESSOAS 2030 · PORTUGAL 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.1
Zonamento Composicional do Interior da Terra

PERGUNTA

Se no início o zonamento composicional do interior da Terra era bastante simples, considerando apenas crosta, manto e núcleo, posteriormente evoluiu para um detalhe um muito maior do ponto de vista mineralógico. Como foi isso possível?

RESPOSTA

Com a identificação das descontinuidades de Mohorovičić e Gutenberg, estavam estabelecidas as bases para o estabelecimento do primeiro **ZONAMENTO COMPOSICIONAL** do interior da Terra, que é não só químico (por haver variação dos elementos químicos presentes), mas também mineralógico (por essa variação se expressar em minerais diferentes). Este zonamento baseia-se essencialmente em três grandes zonas aproximadamente concêntricas: crosta (por vezes referida como crusta), manto e núcleo (figura 33). Quanto aos materiais que constituíam estas três zonas, eles só poderiam ser inferidos conjugando informação de diferentes fontes, pois o acesso direto às rochas que constituem o nosso planeta, resume-se às poucas dezenas de quilómetros da zona mais superficial.

A dimensão destas zonas de raízes era tal, que o aumento do poder de flutuação seria suficiente para compensar o excesso de peso da cadeia de montanhas. Se este processo fosse perfeito, isto deveria levar a que, ao contrário do observado, os fios de prumo não sofressem qualquer desvio na proximidade dos grandes relevos. Isto levou-o a admitir que a fluidez do substrato seria imperfeita e que este tivesse alguma viscosidade, causando algum atraso no reajuste isostático, e fazendo com que as anomalias da atração gravitacional fossem menores (Airy, 1855). Airy também salientou que esta situação só se aplicaria a relevos com uma certa dimensão, pois no caso de pequenos relevos, a resistência da crosta seria suficiente para os sustentar (Davies, 1999).

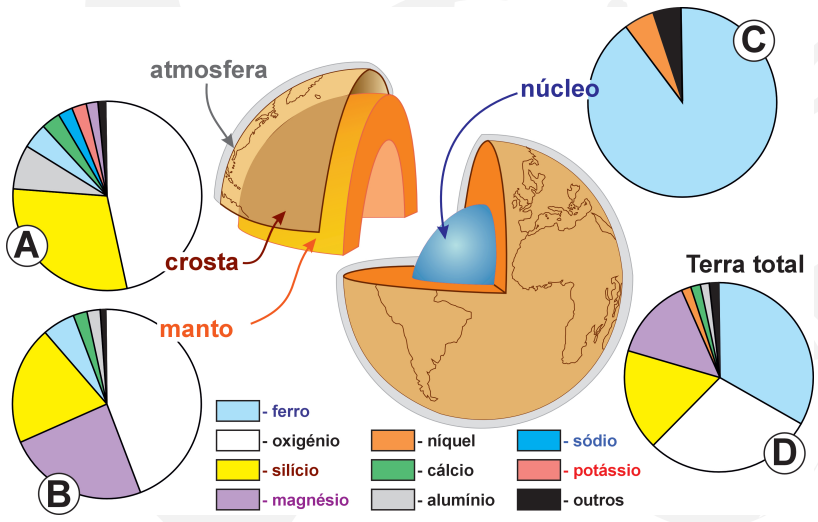

Figura 33 - Zonamento composicional principal do interior da Terra (crosta, manto e núcleo) e abundância relativa entre os principais elementos químicos na crosta (A), manto (B), núcleo (C) e na globalidade da Terra (D).

CCV ESTREMOZ Centro Ciência Viva · Universidade de Évora · ICT Instituto de Ciências da Terra · Ciência Viva Desde 1996 · Município de Estremoz · Vive Estremoz
Pessoas 2030 · Portugal 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.2
Zonamento Composicional do Interior da Terra

Mas se o limite entre as diferentes zonas estava bem constrangido, o mesmo não se passava com o tipo de materiais geológicos aí existentes. Com efeito, eles tiveram de ser inferidos conjugando a informação de diferentes fontes. Mas, sendo a Terra um planeta quimicamente diferenciado a sua composição média global pode ser aproximada, tanto por argumentos cosmogeoquímicos (em particular pela abundância relativa média dos materiais refratários do Sol), como pela composição dos meteoritos condríticos (Lay, 2002) que são considerados corpos indiferenciados que preservam a matéria original de formação do Sistema Solar. Terá sido a partir de uma Terra precoce, aproximadamente homogénea com esta composição, que se terá gerado o zonamento composicional que conhecemos:

- Inicialmente com a individualização entre um núcleo metálico e um manto primordial envolvente.
- Numa fase posterior com a segregação de uma crosta superficial através de um processo evolutivo complexo (Palin et al., 2020).

Foi este modelo conceptual que permitiu ir incluindo a informação que se foi acumulando, de forma a estabelecer a composição das unidades básicas do zonamento composicional da Terra que são descritas a seguir.

A **CROSTA** é, não só a zona mais externa e menos densa, mas também a que apresenta uma maior heterogeneidade do ponto de vista composicional, pelo menos com base na informação que temos disponível. Apesar da crosta representar apenas cerca de 0.5% da massa da Terra (Fischer e Mcdonough, 2025), ela cobre toda a sua superfície o que é possível devido à sua espessura reduzida quando comparada com o raio da Terra (*i.e.*, ≈6370 km). Desde cedo que os estudos geofísicos tornaram evidente a existência de uma dicotomia entre uma crosta continental e uma crosta oceânica (*e.g.*, Holmes, 1931). Atualmente a crosta continental representa aproximadamente 70% do volume total da crosta, mas apenas cobre cerca de 40% da superfície do planeta, sendo o restante ocupado pela crosta oceânica. A razão desta aparente discrepância resulta (Cawood *et al.*, 2025) da espessura média da crosta continental ser de aproximadamente 35 a 40 km (variando entre menos de 10 km nas margens continentais muito estiradas e mais de 80 km nas zonas de colisão continental, como nos Himalaias), enquanto que a da crosta oceânica é de apenas 6 a 7 km (embora possa chegar aos 40 km nos planaltos oceânicos). Do ponto de vista dos elementos químicos presentes, a crosta é formada essencialmente por oxigénio, silício e alumínio, bem como por ferro, cálcio, sódio, potássico e magnésio (figura 33A). A abundância relativa destes elementos não é igual nos dois tipos de crosta. A crosta oceânica tem uma composição máfica (teores elevados em ferro e magnésio e baixos teores de silício), constituída essencialmente por basaltos à superfície e gabros nos níveis mais profundos.

Quanto à crosta continental, ela tem uma composição félsica, com teores elevados em silício, a sua composição média andará próxima do diorito ou granodiorito (Holmes, 1931). No entanto, tal como este autor salientou, a existência de xenólitos de granulitos básicos, anfibolitos e gnaisses nas chaminés kimberlíticas da África do Sul indica que a parte inferior da crosta

CCV ESTREMOZ Centro Ciência Viva · Universidade de Évora · ICT Instituto de Ciências da Terra · Ciência Viva Desde 1996 · Município de Estremoz · Vive Estremoz
Pessoas 2030 · Portugal 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

continental será mais básica. A reflexão sísmica e os dados dos xenólitos sugerem uma estrutura transicional com alternância de rochas máficas e ultramáficas. Esta complexidade leva a que nem sempre haja uma correspondência exata entre o Moho sísmico, definido essencialmente pelo salto na velocidade de propagação das ondas primárias ***P*** (Mohorovičić, 1909), e o Moho petrológico baseado na composição das rochas e na mineralogia (Cawood *et al.*, 2025).

Esta dicotomia sobre a possibilidade de existência de duas crostas continentais com propriedades distintas, tinha sido enfatizada em 1925 pelo sismólogo e meteorologista austro-americano Victor Conrad (1876–1962). Ao estudar os sismogramas referentes ao sismo que no dia 28 de Novembro de 1923 afetou a região de Tauern na Áustria apercebeu-se da existência de duas ondas primárias P, com amplitudes e tempos de chegada ligeiramente diferentes, levando-o a propor a existência de uma superfície de descontinuidade intracrustal que viria a ser denominada **DESCONTINUIDADE DE CONRAD** em sua homenagem. Embora nas décadas seguintes vários trabalhos tenham proposto a existência desta superfície de descontinuidade, a 15 ou 20 km de profundidade, noutras regiões continentais (ela não existe em domínio oceânico), foi ficando claro que a sua extrapolação entre várias regiões da Terra era difícil (ou impossível?) de ser feita. Com efeito, não só nem sempre era identificada, mas também quando aparecia a profundidade a que surgia era bastante variável, além de que, por vezes, aparecia mais do que uma superfície de descontinuidade intracrustal. Isto levou os geofísicos americanos Robert Litak e Larry Brown (1951-) em 1989 a questionar o significado desta descontinuidade, realçando que, sendo a crosta continental o resultado de uma evolução tectónica muito complexa ao longo de milhares de milhões de anos (*e.g.* Palin *et al.*, 2020), seria expectável que a sua estrutura fosse bastante heterogénea à escala do nosso planeta. Isto levaria à possibilidade de existência de várias superfícies de descontinuidade pouco inclinadas entre leitos com propriedades reológicas distintas representando, por exemplo, suturas de processos orogénicos anteriores. Por este motivo, o conceito de descontinuidade de Conrad foi perdendo o sentido e caindo no esquecimento, não sendo atualmente considerada uma divisão global do zonamento composicional da Terra.

Importa salientar que, embora os conceitos de Sial e Sima tenham sido propostos na perspetiva de diferenciar, respetivamente, regiões continentais mais superficiais e descontínuas e uma região contínua de composição mais básica, que se estendia mesmo sob os continentes (figura 4), eles não podem ser encarados como sinónimos dos conceitos de crosta continental e oceânica.

CCVESTREMOZ CENTRO CIÊNCIA VIVA · UNIVERSIDADE DE ÉVORA · ICT Instituto de Ciências da Terra · CIÊNCIA VIVA Desde 1996 · MUNICÍPIO DE ESTREMOZ · VIVE ESTREMOZ
PESSOAS 2030 · PORTUGAL 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.4
Zonamento Composicional do Interior da Terra

Com efeito, embora a parte mais profunda da crosta continental tenha uma composição mais básica ela, não só é completamente distinta da crosta oceânica, mas também a sua génese é totalmente diferente. Por isto os conceitos de Sial e Sima deixaram de ser utilizados, por não refletirem a dinâmica dos processos tectónicos.

A influência dos processos isostáticos atuando sobre uma crosta continental, mais espessa e menos densa, e uma crosta oceânica, mais fina e mais densa, acaba por se traduzir na distribuição bimodal que caracteriza o nosso planeta, com os continentes a apresentarem uma altitude média de 797 metros e os oceanos uma profundidade média de 3686 metros (figura 34; Cawood *et al.*, 2018).

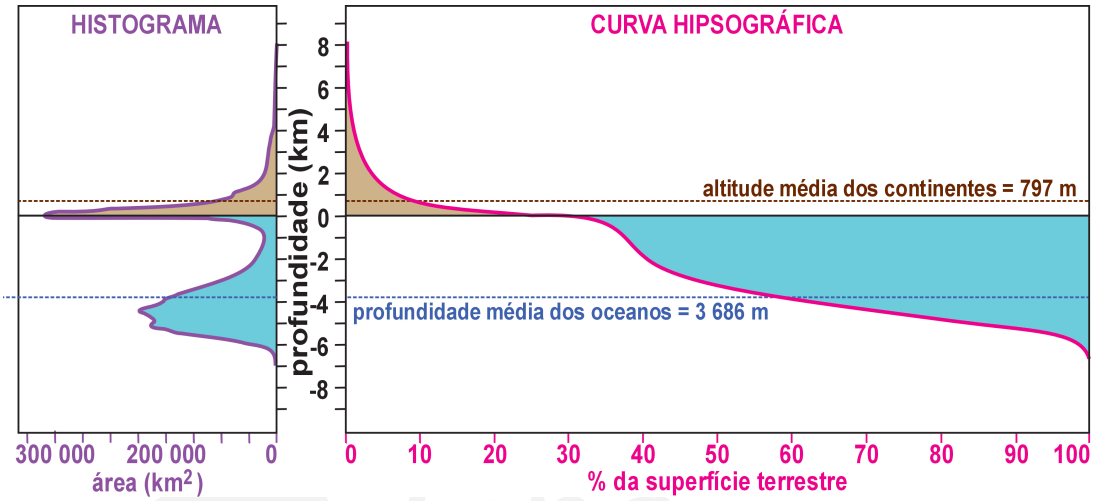

Figura 34 - Histograma e curva hipsométrica da topografia dos continentes e das zonas oceânicas (adaptação do *CCVEstremoz* baseada em Cawood *et al.*, 2018).

O **MANTO** é a zona de materiais silicatados entre a crosta e o núcleo a cerca de 2900 km de profundidade, o que significa que representa cerca de 48% do raio da Terra, quase 84% do seu volume e aproximadamente 68% da massa do nosso planeta (Fischer e Mcdonough, 2025).

O manto é constituído por rochas ultramáficas, sendo os elementos químicos mais abundantes o oxigénio, o magnésio e o silício, com teores ainda significativos de ferro, cálcio e alumínio (figura 33B). Embora do ponto de vista composicional o manto seja normalmente considerado relativamente homogéneo, constituído por peridotito formado pelos minerais dos grupos da olivina e da piroxena (conceção que é facilitada pelo forte impacto das imagens de xenólitos de peridotitos olivínicos em basaltos frequentemente utilizadas quando se fala no manto), a realidade é bastante mais complexa devido às enormes variações de pressão e temperatura que ocorrem nas diferentes zonas do manto terrestre que tornam estes minerais instáveis a maiores profundidades[2].

[2] *Para uma descrição mais detalhada dos polimorfos do grupo da olivina, consultar Dias, 2019, páginas 213-214.*

CCVESTREMOZ CENTRO CIÊNCIA VIVA · UNIVERSIDADE DE ÉVORA · ICT Instituto de Ciências da Terra · CIÊNCIA VIVA Desde 1996 · MUNICÍPIO DE ESTREMOZ · VIVE ESTREMOZ
PESSOAS 2030 · PORTUGAL 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.5
Zonamento Composicional do Interior da Terra

As unidades consideradas no zonamento composicional referido anteriormente (figura 33) foram individualizadas essencialmente com base nos processos de reflexão e/ou refração das ondas sísmicas de corpo (figuras 31 e 32). Contudo, o acumular da informação das características de propagação das ondas ***P*** e ***S***, foram originando tabelas com as suas velocidades de propagação em profundidade (*e.g.*, Jeffreys e Bullen, 1935). Cedo foi ficando claro que estas velocidades não variavam significativamente entre os vários locais da superfície da Terra, o que levou à elaboração de gráficos unidimensionais de velocidades de propagação das ondas ***P*** e ***S*** *versus* profundidade. Em 1981 os geofísicos polaco-americano Adam Dziewonski (1936-2016) e o americano Don Anderson (1933-2014) compilam e revêm os dados existentes, apresentando o que denominam de **MODELO PRELIMINAR DE REFERÊNCIA DA TERRA** (*i.e.*, o *Preliminary Reference Earth Model* – **PREM**; figura 35A), o qual tem vindo normalmente a ser utilizado na generalidade dos estudos geofísicos do interior da Terra.

Utilizando uma abordagem semelhante, em 1940 o sismólogo e matemático neozelandês Keith Bullen (1906-1976), recorrendo às variações nas taxas de propagação das velocidades de propagação das ondas sísmicas, tinha proposto uma divisão interna da Terra em sete zonas concêntricas (de *A* a *G*; figura 35B). Trabalhos posteriores, introduziram algumas modificações no modelo original, levando ao abandono da zona F e à necessidade de subdividir a zona *D*, com a individualização de uma nova zona (denominada *D˝*) com cerca de 200 km de espessura na base do manto (Livermore, 2019).

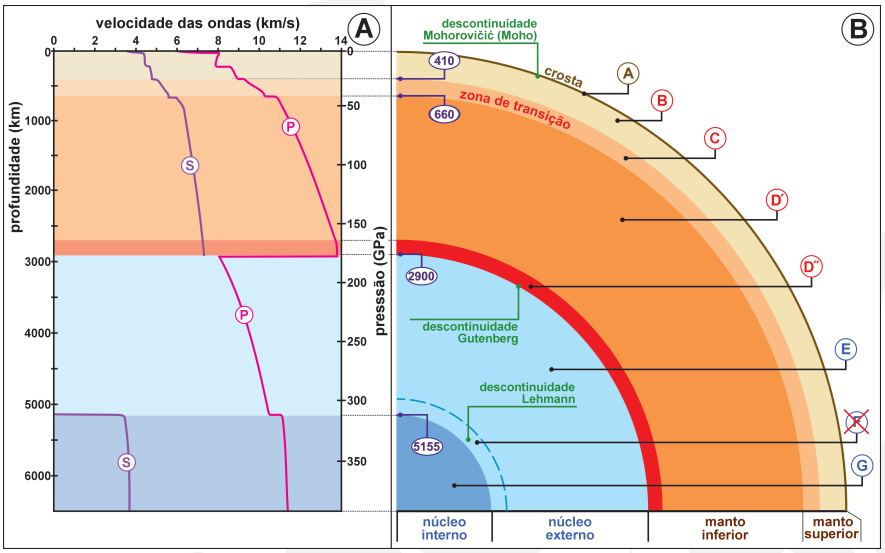

Figura 35 - Da utilização da variação da velocidade de propagação das ondas sísmicas (***P*** e ***S***) e em profundidade ao zonamento interno da Terra:
A - Representação esquemática do *Modelo Primário de Referência da Terra* (adaptação do *CCVEstremoz* baseada em Dziewonski e Anderson, 1981);
B - Zonamento do interior da Terra seguindo a proposta de Bullen (adaptação do *CCVEstremoz* baseada em Bullen, 1940).

CCVESTREMOZ CENTRO CIÊNCIA VIVA · UNIVERSIDADE DE ÉVORA · ICT Instituto de Ciências da Terra · CIÊNCIA VIVA Desde 1996 · MUNICÍPIO DE ESTREMOZ · VIVE ESTREMOZ
PESSOAS 2030 · PORTUGAL 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.6
Zonamento Composicional do Interior da Terra

Embora a proposta de Bullen tenha sido importante pois permitiu enfatizar e caracterizar a diversidade do interior do planeta, o seu contributo, quer para a compreensão dos processos geológicos que aí estariam ativos, ou até para a própria constituição da Terra em geral e do manto em particular, foi limitado. Foi esta limitação que levou ao seu abandono, a favor de modelos padrões mais adequados à compreensão da dinâmica da Terra. Contudo, os avanços recentes dos métodos geofísicos, em especial da tomografia sísmica (que serão abordados no capítulo 7), de algum modo vieram dar um novo alento ao trabalho de Bullen, não da globalidade da sua sistemática, mas porque a camada *D˝* tem vindo a revelar-se um elemento fundamental para a convecção mantélica.

O impasse na compreensão do significado das descontinuidades identificadas nos gráficos de velocidade de propagação das ondas sísmicas em profundidade (figura 35A), veio a ser ultrapassado essencialmente graças aos contributos do físico e geoquímico australiano Alfred Edward Ringwood (1930-1993), mais conhecido por Ted Ringwoog, o qual se dedicou ao desenvolvimento de metodologias experimentais inovadoras para a compreensão da mineralogia mantélica. Inicialmente trabalhando com compostos químicos que pudessem funcionar como análogos de baixa temperatura para as transformações nas estruturas dos silicatos às altas pressões e temperaturas existentes no manto, evoluiu para experiências com minerais comuns no manto, nomeadamente do grupo das olivinas e das piroxenas (*i.e.*, os constituintes fundamentais do peridotito) e granadas, sujeitos às condições aí existentes.

Embora a abordagem com algum detalhe dos estudos que foram então sendo feitos não tenha sentido neste livro, importa salientar que a sua equipa demonstrou que, para pressões da ordem dos 14 gigapascal (*i.e.*, ≈410 km de profundidade), a estrutura cristalina das olivinas deixa de ser estável, transformando-se numa estrutura mais compacta e originando a malha mais densa característica do mineral wadsleyite (figura 36). Posteriormente verificaram que, quando a pressão atingia os cerca de 17,5 GPa (i.e., ≈520 km de profundidade), a própria wadsleyite deixa de ser estável, ocorrendo novo colapso para a malha cristalina ainda mais densa de outro mineral, que viria a ser designado de ringwoodite, em homenagem aos trabalhos de Ted Ringwoog. Importa salientar que os minerais olivina, wadsleyite e ringwoodite são minerais polimorfos, pois têm todos a mesma fórmula química [$(Mg,Fe)_2SiO_4$]. Entretanto foram sendo realizados estudos semelhantes em granadas, um mineral cuja importância aumenta em profundidade devido à transformação das piroxenas (Livermore, 2019). Estes mostraram que o aumento da pressão leva a que estas granadas mantélicas, que são ricas em magnésio e ferro [$(Mg,Fe)_3Al_2(SiO_4)_3$], se vão transformando gradualmente num outro mineral mais denso do grupo das granadas, a majorite [$(Mg,Si)_3Al_2(SiO_4)_3$]. Finalmente, quando a pressão atingia valores da ordem dos 24 GPa, o que corresponde a uma profundidade de cerca de 660 km, ocorre uma profunda reorganização da matéria cristalina, com um conjunto de novos minerais de maior densidade (figura 36), principalmente bridgmanite [$(Mg,Fe,Al)_2(Si,Al)O_3$] que, tanto quanto sabemos, é o mineral mais abundante na Terra, mas também ferropericlase [(Mg,Fe)O] e perovskite cálcica ($CaSiO_3$).

CCV ESTREMOZ Centro Ciência Viva · Universidade de Évora · ICT Instituto de Ciências da Terra · Ciência Viva Desde 1996 · Município de Estremoz · Vive Estremoz
Pessoas 2030 · Portugal 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.7
Zonamento Composicional do Interior da Terra

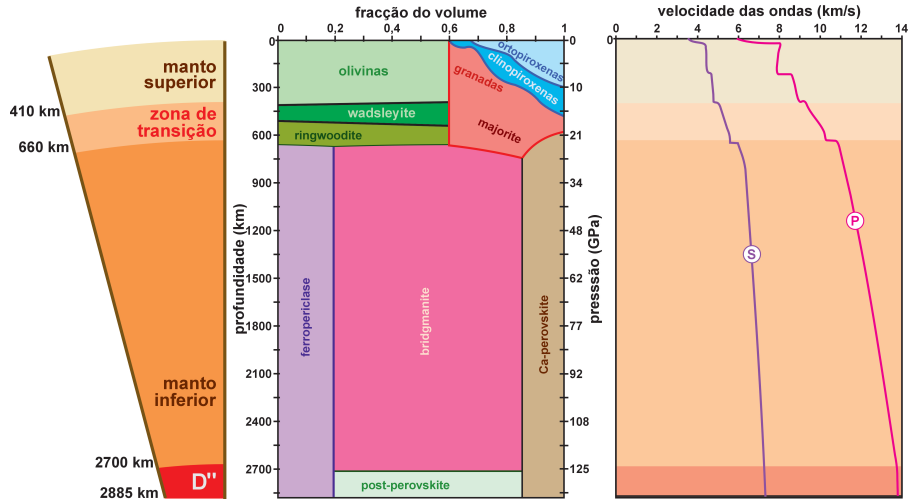

Figura 36 - Representação esquemática da relação entre os campos de estabilidade dos principais minerais que ocorrem no manto versus a variação da velocidade de propagação das ondas sísmicas ***P*** e ***S*** (adaptação do *CCVEstremoz* baseada em Livermore, 2019).

Os exemplos anteriores, mostram que existe uma correlação evidente entre as profundidades a que são expectáveis as transformações químicas e/ou mineralógicas e aquelas a que ocorrem variações, mais ou menos bruscas, na velocidade de propagação das ondas sísmicas (figura 36). Isto permitiu refinar o zonamento composicional do manto, considerando a existência de uma fronteira principal aos cerca de 660 km de profundidade, que separa um manto superior de um manto inferior. Trata-se de um zonamento baseado nas características químicas e mineralógicas distintas dos materiais que é suposto existir no manto. Uma análise mais fina mostra que na base do manto, isto é, entre os 410 e os 660 km, existirá a chamada zona de transição, caracterizada essencialmente pela ocorrência de transformações mineralógicas envolvendo os polimorfos pertencentes ao grupo da olivina, a wadsleyite e a ringwoodite.
Em 1975 Ted Ringwood sintetiza muitos dos resultados que vinham sendo obtidos no contexto da geoquímica e mineralogia de alta pressão no seu livro *THE COMPOSITION AND PETROLOGY OF THE EARTH'S MANTLE*, que se tornou uma referência no estudo do manto.

O **NÚCLEO** surge a partir dos cerca de 2900 km de profundidade, o que corresponde a mais de 55% do raio da Terra, mas representa apenas 16% do seu volume, embora se concentre aqui mais de 32% da sua massa (Fischer e Mcdonough, 2025). É a zona mais inacessível da Terra, nunca tendo sido encontrado nenhum fragmento mineral ou de rocha que seja considerado um vestígio desta zona mais interna do nosso planeta. Contudo, por estranho que possa parecer, existem vários indícios que constrangem a sua composição. Excluindo propostas mais ou menos fantasiosas sobre o interior do nosso planeta, como a do filósofo francês RENÉ DESCARTES (1596-1650; figura 15), o primeiro modelo cientificamente fundamentado surge em finais do século XIX quando, em 1897, o físico e sismólogo alemão Emil Johann Wiechert (1861-1928) propõe que a Terra teria de ter um núcleo de ferro rodeado por uma carapaça rochosa. A razão desta proposta resulta

CCVESTREMOZ CENTRO CIÊNCIA VIVA · UNIVERSIDADE DE ÉVORA · ICT Instituto de Ciências da Terra · CIÊNCIA VIVA Desde 1996 · MUNICÍPIO DE ESTREMOZ · VIVE ESTREMOZ
PESSOAS 2030 · PORTUGAL 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Zonamento Composicional do Interior da Terra

essencialmente da desproporção, entre a dimensão bastante significativa da massa do núcleo terrestre e o seu reduzido volume em termos da totalidade do planeta.

A massa da Terra já era conhecida desde 1798 quando o cientista britânico Henry Cavendish (1731--1810), numa clássica e muito engenhosa experiência, conseguiu determinar em laboratório a força de atração gravitacional extremamente fraca entre dois objetos. Isto permitiu-lhe utilizar a lei da gravitação universal estabelecida em 1687 por Isaac Newton (1643-1727), para estimar que a densidade média da Terra seria cerca de 5,5 vezes superior à da água. Como a dimensão do nosso planeta já era conhecida desde os tempos de Eratóstenes de Cirene (276 a.C.-194 a.C.), foi fácil Cavendish estimar a massa da Terra. Sendo os valores obtidos para a densidade média da Terra muito superiores aos das rochas existentes à superfície, tornava-se inevitável admitir a predominância em profundidade de materiais com uma densidade bastante mais-elevada. Foi utilizando estes valores que Wiechert propôs que o interior da Terra seria composto por duas zonas concêntricas principais:

- Um núcleo metálico com elevada densidade (que estimou em 8,2), composto essencialmente por ferro, que existiria a profundidades superiores a cerca de 1400 km.
- Uma zona externa envolvente com uma densidade média próxima de 3,2.

Como foi referido anteriormente, pouco depois os trabalhos de Oldham e Gutenberg vieram a confirmar esta divisão, embora tenham demonstrado que a profundidade da fronteira manto-núcleo era superior, sendo da ordem de 2900 km.

A proposta do ferro como elemento químico dominante não surgiu por acaso. Para além de ter de ser um elemento comum no sistema solar, ele precisava de apresentar propriedades magnéticas de modo a justificar o campo magnético terrestre, assunto que será discutido em pormenor de seguida quando se for analisar o zonamento físico da Terra. Para além disto, existe um grupo de meteoritos, que é o dos sideritos (também denominados de ferrosos ou metálicos), constituídos essencialmente por ligas de ferro e níquel, na proporção de 16/1 (Badro *et al*, 2014). Como a generalidade dos modelos cosmológicos considera que estes meteoritos correspondem a fragmentos do núcleo de planetesimais diferenciados durante as fases precoces de formação do sistema solar, é normalmente assumido que o núcleo da Terra terá uma composição semelhante.

Estas conceções foram sendo confrontadas com resultados da aplicação de métodos geofísicos, experiências laboratoriais e modelações geoquímicas que levaram ao refinamento das propostas iniciais. Atualmente pensa-se que do ponto de vista dos elementos químicos presentes, é atualmente aceite que o núcleo é formado essencialmente por uma liga de ferro com algum níquel (≈5%,). O facto de a densidade estimada para o núcleo ser 5 a 10% inferior à desta liga metálica (Badro *et al*, 2014), indica a presença de elementos menos densos (figura 33C). Contudo, a dificuldade em obter informação sobre esta zona mais remota da Terra leva a que não exista consenso sobre quais serão, sendo frequentemente sugerido a possibilidade de se tratar de enxofre, silício, oxigénio, carbono ou até hidrogénio.

CCV ESTREMOZ Centro Ciência Viva · Universidade de Évora · ICT Instituto de Ciências da Terra · Ciência Viva Desde 1996 · Município de Estremoz · Vive Estremoz
Pessoas 2030 · Portugal 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.9
Zonamento Composicional do Interior da Terra

Sintetizando, em relação ao zonamento composicional da Terra é possível considerar sistemáticas distintas, consoante as características utilizadas (figura 37). Se todas têm em comum um núcleo formado essencialmente por uma liga metálica de ferro e níquel em que o ferro é dominante, para profundidades inferiores a 2900 km a situação é mais complexa.

A visão inicial privilegiava uma perspetiva química, separando um manto dominado por silicatos de ferro e magnésio, de uma crosta onde os teores destes dois elementos químicos são menores (figura 37A). Aumentando o detalhe da observação da crosta, tornou-se possível individualizar uma crosta continental, dominada por rochas silicatadas ácidas, de uma crosta oceânica de características básicas (figura 37B). A incorporação de modelos teóricos e experimentais de química e mineralogia de alta pressão, permitiu que os modelos evidenciados pelos dados de propagação das ondas sísmicas em profundidade (e.g., zonamento de Bullen; figura 35) evoluíssem para modelos de base química e mineralógica, permitindo a separação entre um manto superior e um manto inferior (figura 37C) ou, numa visão mais detalhada, introduzindo uma zona de transição no manto superior utilizando os polimorfos de alta pressão das olivinas (figura 37D). Já no início do século XX, dados de mineralogia de ultra-alta pressão e modelos teóricos de modelação, sugerem que a pressões da ordem dos 120 GPa (o que corresponde a profundidades de cerca de 2600 km), a própria estrutura da bridgmanite, torna-se instável originando malhas cristalinas ainda mais densas formando um outro mineral que tem vindo a ser denominado de pós-bridgmanite (Livermore, 2019). A possível existência de este nível nas zonas mais profundas do manto inferior (figura 37E), vem dar novo alento ao nível D'' (figura 37E); no entanto, como irá ser discutido no capítulo G, este é um assunto complexo e que tem alimentado profundas controvérsias na comunidade científica.

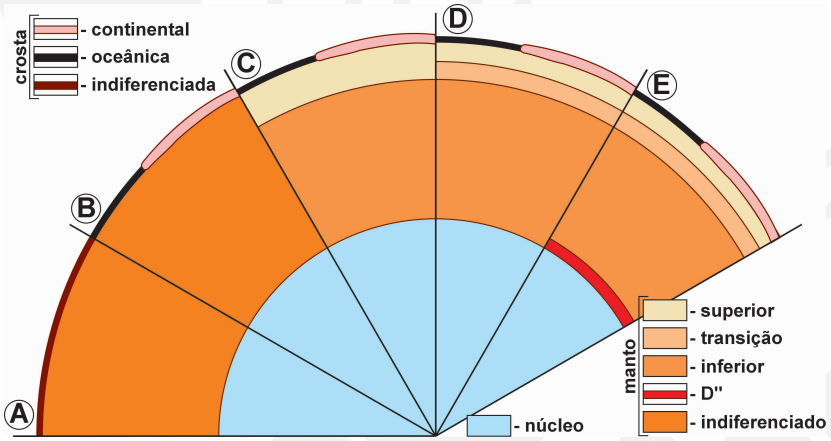

Figura 37 - Diferentes perspetivas no zonamento composicional da Terra, consoante as características químicas e/ou mineralógicas utilizadas.

CCV ESTREMOZ Centro Ciência Viva · Universidade de Évora · ICT Instituto de Ciências da Terra · Ciência Viva Desde 1996 · Município de Estremoz · ViVE Estremoz · Pessoas 2030 · Portugal 2030 · Cofinanciado pela União Europeia

Tira-Teimas 12.10
Zonamento Composicional do Interior da Terra

este texto é parte do livro JANGADA DE PEDRA; DA DERIVA DOS CONTINENTES À TECTÓNICA DE PLACAS E… MAIS ALÉM… da autoria de Rui Dias, geólogo da Universidade de Évora que será lançado em breve.



CCV ESTREMOZ CENTRO CIÊNCIA VIVA
UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ICT Instituto de Ciências da Terra
CIÊNCIA VIVA Desde 1996
MUNICÍPIO DE ESTREMOZ
VIVE ESTREMOZ
PESSOAS 2030
PORTUGAL 2030
Cofinanciado pela União Europeia