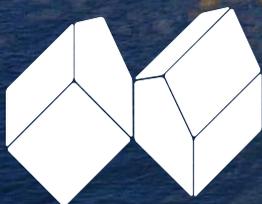


O CHÃO QUE PISAMOS

250 MILHÕES DE ANOS DE ROCHAS
E PAISAGENS EM PORTUGAL

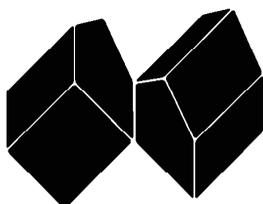
NUNO PIMENTEL



O chão que pisamos

250 milhões de anos de rochas e paisagens em Portugal

NUNO PIMENTEL



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

FICHA TÉCNICA

Rev. Ciência Elem., V10(B)

Publicação trimestral
da Casa das Ciências
ISSN 2183-9697 (versão impressa)
ISSN 2183-1270 (versão online)
rce.casadasciencias.org

DEPÓSITO LEGAL
452634/19

TÍTULO

**O chão que pisamos — 250 milhões de anos
de rochas e paisagens em Portugal**

AUTOR

Nuno Pimentel

FOTOGRAFIAS E ESQUEMAS

Nuno Pimentel

DESIGN E PAGINAÇÃO

Raul Seabra

COORDENAÇÃO EDITORIAL

**Alexandra Coelho
Liliana Freitas**

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Uniarte Gráfica S.A.

TIRAGEM

400 exemplares

IMAGEM CAPA

**Jurássico superior fluvio-deltaico, inclinado para
W pelo diapiro em São Martinho do Porto**

© Todo o material publicado nesta revista
pode ser reutilizado para fins não comerciais,
desde que a fonte seja citada.

CORPO EDITORIAL DA REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

EDITOR

João Nuno Tavares (UNIVERSIDADE DO PORTO)

CONSELHO EDITORIAL

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)
Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)
Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)
Paulo Fonseca (UNIVERSIDADE DE LISBOA)
José Cidade Mourão (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO)
Luís Vítor Duarte (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)
José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

PRODUÇÃO E SECRETARIADO

Alexandra Coelho
Ana Santos
Guilherme Monteiro
Liliana Freitas
Raul Seabra



PROPRIETÁRIO

Casa das Ciências/ICETA
Faculdade de Ciências,
Universidade do Porto
Rua do Campo Alegre, 687
4169-007 Porto
rce@casadasciencias.org

ÍNDICE

PREFÁCIO	5
PREÂMBULO.....	6
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	7
O Registo geológico	9
O Tempo geológico	11
A Dinâmica da Terra.....	15
Fontes e leituras.....	18
CAPÍTULO II – O JOGO DAS PLACAS.....	19
A junção de antigos continentes.....	21
A abertura de um novo oceano.....	24
O fecho de um antigo oceano.....	26
Um longo caminho.....	28
Fontes e leituras.....	30
CAPÍTULO III – A ABERTURA DO ATLÂNTICO	31
Triásico Superior.....	33
Jurássico inferior e médio	37
Jurássico superior	41
Cretácico.....	44
O magmatismo mesozoico	49
A evolução mesozoica	53
Fontes e leituras.....	56
CAPÍTULO IV – A COLISÃO ALPINA	57
A inversão alpina	59
Paleogénico	62
Miocénico	64
Pliocénico	68
Quaternário.....	69
A evolução cenozoica	72
Fontes e leituras.....	74

CAPÍTULO V – O MAR PORTUGUÊS	75
Introdução	77
O Mesozoico.....	80
O Cenozoico.....	82
As Ilhas Atlânticas	
O Arquipélago da Madeira.....	84
O Arquipélago dos Açores.....	88
Fontes e leituras.....	91
 CAPÍTULO VI – AS TERRAS PORUGUESAS	 93
Introdução	95
O Norte de Portugal	97
O Centro de Portugal.....	100
A Orla Ocidental	103
O Ribatejo	109
O Alentejo.....	110
O Algarve.....	116
Fontes e leituras.....	121
 PORTUGAL NO <i>GOOGLE EARTH</i>	 123
 PORTUGAL NAS CARTAS GEOLÓGICAS.....	 124
 PORTUGAL COM OS PÉS NA TERRA.....	 125
 EPÍLOGO	 126
 AGRADECIMENTOS.....	 127
 AUTOR.....	 128
 O PROJETO.....	 129
 NOTAS.....	 131

PREFÁCIO

A sociedade de desenvolvimentismo desenfreado que estamos a viver, descurando os bem conhecidos preceitos de sustentabilidade, está a conduzir o planeta e, com ele, toda a sociedade humana, numa corrida para o abismo, como já se ouve dizer.

Desde o advento da Revolução Industrial, em finais do Século XVIII, temos vindo a atentar, a ritmo crescente, contra o meio físico que a todos rodeia, atingindo, no presente, níveis alarmantes que justificam, entre muitas outras reuniões internacionais, a 27.^a Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP27), de 6 a 18 de novembro de 2022, em Sharm El-Sheikh, no Egito, numa última tentativa de pôr um travão nesta corrida.

Imenso e tido por inabarcável, ao tempo de Gama e Cabral, o nosso Planeta é hoje assustadoramente pequeno, face ao crescimento exponencial da população e ao dito desenvolvimentismo, estando a dar sinais preocupantes, não só na alteração do clima, que sabemos ser desastrosa para milhões de pessoas, mas também nas imensas e constantes agressões que lhe estamos a fazer, igualmente desastrosas, já evidentes na poluição do ar que respiramos, da água que bebemos e dos solos onde, é bom não esquecer, radica a maior parte da cadeia alimentar que nos sustenta.

A exploração racional dos recursos geológicos, mineiros e energéticos, todos eles, não renováveis, a procura e captação igualmente racional das águas subterrâneas e a proteção e preservação do ambiente têm, na Geologia, o essencial dos conhecimentos, pelo que é fulcral atribuir-lhe, ao nível da Escola, a importância que, realmente, tem.

Sempre disse e insisto em dizer que o professor, deve saber muitíssimo mais do que a matéria que tem de ministrar aos alunos a quem se dirige. Não pode, de maneira nenhuma, ser um mero transmissor das noções, tantas vezes estereotipadas e acrílicas dos manuais de ensino. *O chão que pisamos, 250 milhões de anos de rochas e paisagens de Portugal*, de Nuno Pimentel, é mais um livro a permitir ao professor estar muito acima do estipulado no programa oficial.

Prof. António Marcos Galopim de Carvalho

PREÂMBULO

Como contar a história geológica de uma região? Como conhecê-la? Onde está ela inscrita? Como decifrá-la? Estas são as questões com que se deparam os geólogos no seu dia-a-dia e às quais procuram responder com o seu trabalho.

A leitura das rochas é sempre o ponto de partida para todo e qualquer trabalho de investigação geológica. Dessa leitura resultam suposições, interpretações, ideias e modelos daquilo que aconteceu... ou que se crê que terá acontecido. Porque ninguém estava lá na altura, para ter a certeza de que foi assim... ou de que foi de outro modo. A história geológica de uma região é, portanto, um conjunto de interpretações cientificamente razoáveis, organizadas e articuladas de forma coerente. Perante novas rochas ou novas interpretações das mesmas, a história pode sempre ser detalhada, ajustada ou até mesmo modificada. Assim funciona a Ciência... e a Geologia não é exceção. Entenda-se assim tudo que é dito nas próximas páginas como um conjunto de ideias desenvolvidas ao longo de décadas por centenas de geólogos, com formações e olhares distintos... e aqui organizado pelo autor de uma forma abreviada e sintética, procurando não faltar ao rigor. Não pode, portanto, esta breve história geológica ser completa, porque sempre ficam detalhes por explicar, nem sequer garantidamente única e verdadeira, porque sempre há aspetos passíveis de diferente interpretação ou até mesmo contraditório. Outras pessoas contariam seguramente a história de outro modo, com mais atenção a este ou aquele aspeto, sem qualquer lacuna e possivelmente até com melhor prosa em algumas passagens. Ainda assim, espero que estas páginas possam servir para um número alargado de pessoas entender melhor o território em que se movimenta e como ele foi sendo construído e moldado ao longo de milhões de anos, até ser aquilo que hoje conhecemos e de que desfrutamos.

CAPÍTULO I — INTRODUÇÃO

O Registo geológico

Este livro propõe-se contar de uma forma simples e breve a história geológica do território continental e marinho, a que hoje chamamos Portugal, nos últimos 250 milhões de anos. Para conhecermos a história geológica de uma dada região da Terra, temos de conhecer os documentos que a relatam, os materiais que a retratam. E é nas rochas dessa região que podemos encontrar todas as indicações acerca do que ali aconteceu. As rochas são, portanto, **os nossos livros**, os nossos tratados, os nossos registos paroquiais, os nossos jornais da época. Nelas estão inscritos os acontecimentos que então decorreram naquela região, com todos os detalhes.

Para lá chegar, temos, porém, de saber “ler nas rochas” a história que elas encerram. É esse o papel do geólogo — procurar ler nas características das rochas os acontecimentos que presidiram à sua formação e aquilo que elas têm para nos contar. Trata-se, porém, de uma leitura muito especial, com um alfabeto e uma gramática que não são óbvios nem imediatos, que se aprende com a experiência e com o tempo. É preciso perceber o que são as rochas, cada rocha, como se formou, em que condições se originou, decodificar esse alfabeto e **reconstruir as frases**, muitas das vezes incompletas ou de significado dúbio.

Nas **rochas sedimentares**, quer nas que se formaram na superfície terrestre por acumulação de materiais provenientes de outras rochas pré-existentes, quer nas quimiogénicas e biogénicas, todas elas pelos processos chamados exógenos (superficiais, externos), ficam registadas as condições climáticas e paleogeográficas então vigentes. A partir das suas características composicionais, texturais e conteúdo fossilífero, podemos saber se se formaram num rio, num lago, num mar de pequena ou grande profundidade, ou num deserto, por exemplo. E assim poderemos interpretar como seria a paisagem desse local em determinada época.

Nas **rochas ígneas**, naquelas que se formaram por arrefecimento e cristalização de líquidos magmáticos, ficam registadas as condições em que esses líquidos se originaram no interior da Terra e o modo como ascenderam em direção à superfície. Uma rocha ígnea plutónica, com cristais bem desenvolvidos (como o granito), indica uma cristalização lenta e em profundidade, alguns quilómetros abaixo da superfície terrestre. Essa rocha pode depois ser trazida até à superfície e ficar exposta, permitindo-nos estudá-la e reconstituir o seu passado. Já uma rocha ígnea vulcânica, maioritariamente sem cristais visíveis (como o basalto), indica-nos a existência de líquidos que ascenderam à superfí-

cie através de condutas alimentadoras de vulcões que lançaram escoadas e cinzas em seu redor, como hoje vemos em diversos locais do mundo.

Nas **rochas metamórficas**, naquelas que se formam por transformação de outras pré-existentes e que foram sujeitas a condições de pressão e temperatura muito superiores, fica registada essa modificação e o contexto geológico em que se processou. Um xisto indica-nos a pré-existência de um argilito que foi levado a profundidades quilométricas e aquecido a temperaturas que podemos interpretar a partir dos minerais que nele surgiram de novo, enquanto um quartzito nos indica que terá existido um arenito que foi soterrado e aquecido a temperaturas da ordem de algumas centenas de graus.

Se as rochas em si nos contam como e onde se formaram, também nos podem contar o que aconteceu em seu redor, se as soubermos ler com atenção. Se uma rocha sedimentar se formou num determinado local, é porque nesse local existia “espaço de acomodação” para receber e acumular os materiais para aí levados pela água ou pelo vento. Tal implica que essa área estivesse topograficamente deprimida, constituindo uma **bacia sedimentar** e que, portanto, existissem em seu redor áreas montanhosas que lhe fornecessem esses materiais, por erosão e transporte.

Se uma rocha ígnea se formou num dado local do interior da terra, é porque aí existiram condições geológicas para se originarem líquidos magmáticos, por **fusão das rochas** existentes nesse local, podendo aí cristalizar (caso dos migmatitos) ou ascender para níveis menos profundos ou superficiais, onde acabaram por solidificar.

Finalmente, se encontramos no terreno uma rocha metamórfica, tal facto indica-nos que esta rocha foi em tempos sujeita a condições de **pressão e temperatura** próprias das profundidades da crosta, ou seja, que foi soterrada e metamorfoseada pelo calor interno da Terra, antes de ser trazida de novo até à superfície (na sequência do seu levantamento tectónico e subsequente erosão das rochas sobrejacentes), onde hoje a vemos e podemos estudar (FIGURA 1).

As rochas são assim a nossa **janela para o passado** geológico, é nelas que lemos as histórias antigas, que desvendamos as paisagens, vulcões, rios e montanhas de outrora ou as diversas transformações que ocorreram no subsolo mais ou menos profundo, a temperaturas muito diferentes daquelas a que vivemos. Nelas podemos ler também a história da sua deformação mecânica, já que muitas rochas se apresentam fraturadas ou mesmo dobradas, por enormes forças tectónicas que as comprimiram ou distenderam, no passado longínquo. A leitura atenta dessas estruturas físicas permite-nos reconstituir essas forças e procurar interpretar porque ocorreram com aquela intensidade naquele local, num quadro geodinâmico mais global.

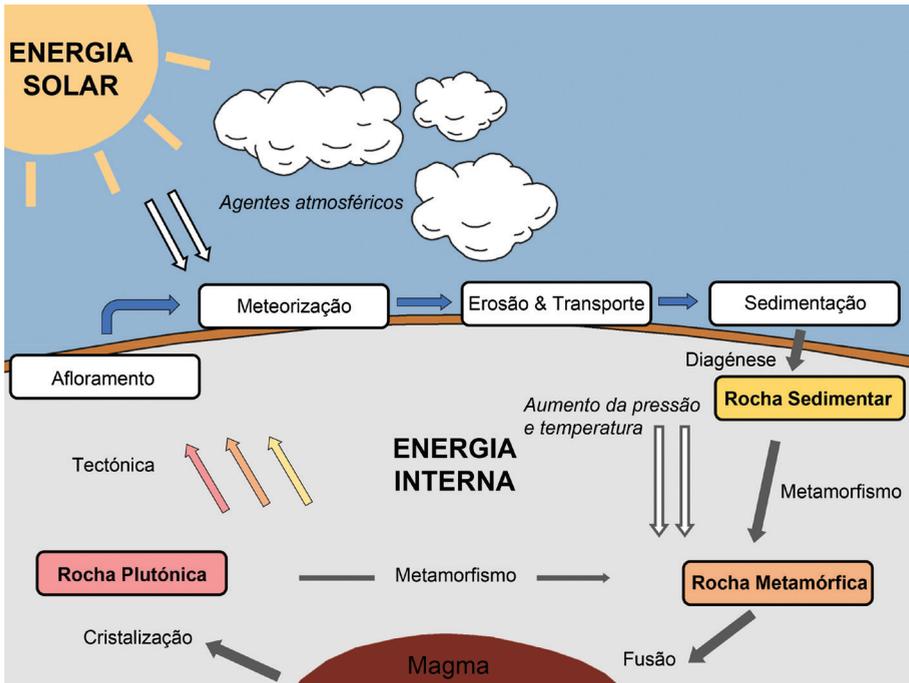


FIGURA 1. O ciclo das rochas (baseado em Kraljević, 2008).

O Tempo geológico

Se as rochas nos permitem vislumbrar o que aconteceu, e como aconteceu, num determinado local, fica ainda por saber outro aspeto fundamental da história geológica de uma região — quando tudo isso aconteceu. As rochas não têm uma data inscrita, como os livros ou jornais, porém, sabemos que se formaram há milhares ou **milhões de anos**, sendo umas mais antigas e outras mais recentes. Mas como podemos sabê-lo com algum rigor?

A questão do tempo geológico sempre intrigou as pessoas que se dedicaram a pensar um pouco na origem e evolução do nosso planeta. Desde muito cedo na nossa História, pensadores, filósofos e religiosos, procuraram entender qual a **idade do nosso planeta** e qual o tempo necessário para o construir e moldar como hoje o conhecemos. A meados do século XVII o arcebispo primaz da Irlanda, James Ussher (1581-1656), após aturada

pesquisa das sucessivas gerações constantes do Velho Testamento, dava a conhecer ao mundo que o Céu e a Terra haviam sido criados por Deus na tarde de sábado, dia 22 de outubro, do ano de 4004 a.C..

No século XVII, **James Hutton** (1726-1797), considerado o pai da Geologia moderna, observou na costa leste da Escócia (*Siccar Point*) uma notável discordância angular entre camadas xistentas muito dobradas e arenitos tabulares sub-horizontais, levando-o a invocar a necessidade de muito tempo para tal e apontando para a ordem dos muitos milhões de anos, “*sem vestígios de um início nem perspectivas de um fim*”.

No século XIX, **Charles Lyell** (1797-1875), observando as espessas séries sedimentares dos Alpes e **Charles Darwin** (1809-1882), postulando a sua teoria de evolução das espécies após a sua passagem pelas Ilhas Galápagos, seguiram essa linha de pensamento, a de um tempo geológico muito para lá dos milénios bíblicos. Os primeiros cálculos de cariz científico basearam-se no tempo que o planeta teria levado a arrefecer, desde o seu estado inicial de fusão e incandescência até à atualidade. Em finais do século XIX, o valor estimado por **Lord Kelvin** (1824-1907) apontou para uma idade do planeta em torno de 100 milhões de anos, tendo possivelmente atingido condições de temperatura favoráveis ao desenvolvimento da vida há cerca de 40 milhões de anos.

Já no século XX, a descoberta da **radioatividade** permitiu constatar que existiriam no interior da Terra enormes quantidade de minerais com isótopos radioativos capazes de libertar calor, o que teria naturalmente implicações nos cálculos de arrefecimento de Lord Kelvin. Por seu lado, o estudo da radioatividade também permitiu perceber que alguns elementos iam “envelhecendo” ao longo do tempo e que a partir da sua concentração atual se poderia estimar há quanto tempo teria tido início esse processo, a partir do momento de formação da rocha — a chamada **Datação Absoluta** ou radiométrica. Percebeu-se que a Terra tinha na realidade milhares de milhões de anos de idade (cerca de $4,54 \times 10^9$ anos) e que grande parte das rochas que conhecemos em nosso redor ou sob os nossos pés, se formou há dezenas ou mesmo centenas de milhões de anos. Conclui-se assim que a visão naturalista, observando as rochas e os fósseis, estava mais próxima da realidade do que os cálculos numéricos baseados em pressupostos termodinâmicos.

A par da questão da idade absoluta da Terra e das suas rochas, outra linha de pensamento foi sendo desenvolvida, com princípios baseados na constatação de que as rochas e os eventos geológicos se sucedem por uma determinada ordem relativa, a qual pode ser observada no terreno. Nas rochas sedimentares, o Princípio da Horizontalidade estipula que qualquer camada, mesmo que hoje se apresente inclinada, terá sido originalmente depositada na horizontal e posteriormente deformada pelas forças tectónicas (que consequentemente lhe foram posteriores). O Princípio da Continuidade

de estipula que as camadas terão uma idade idêntica em toda a sua extensão lateral, enquanto o **Princípio da Sobreposição** estipula que as camadas que se encontram por baixo são por norma mais antigas do que as que as cobrem. Por seu lado, o Princípio de Interseção estipula que as rochas que são cortadas por uma falha ou uma intrusão são forçosamente mais antigas do que essa falha ou essa intrusão, enquanto o Princípio da Inclusão estipula que uma rocha ou mineral incluído numa outra rocha (um seixo rolado num conglomerado, por exemplo) é sempre mais antigo do que a rocha que o contém.

Paralelamente, verificou-se que determinados **fósseis** apenas ocorriam em determinadas camadas sedimentares, sendo inexistentes nas camadas situadas por baixo e nas que estão por acima, respetivamente mais antigas e mais recentes. O entendimento gradual dessa sucessão vertical e temporal de determinados fósseis, considerando que "estas camadas com estes fósseis" são sempre mais antigas que "aquelas outras com aqueles outros fósseis", levou aos conceitos de "identidade paleontológica" e de "sucessão faunística".

Conjugando os Princípios acima enunciados, desenvolveu-se a **Datação Relativa** e a Estratigrafia, com a definição de Idades bem articuladas numa Escala Estratigráfica com quatro grandes Eras, divididas em Períodos e estes em Andares. Na visão histórica inicial, a Era Primária corresponderia às rochas mais antigas do planeta, presentes no núcleo dos continentes e das montanhas, a Era Secundária às rochas que se apresentam tabulares e na periferia dos continentes, a Era Terciária às acumulações de materiais sedimentares presentes em bacias aplanadas e a Era Quaternária aos sedimentos soltos depositados nos rios e litorais atuais. Esta divisão corresponde genericamente ao Paleozoico, Mesozoico e Cenozoico que atualmente usamos, tendo a antiga Era Quaternária sido eliminada e englobada no atual Cenozoico.

Dentro de cada uma destas Eras, foram sendo definidos intervalos temporais mais pequenos, os **Períodos geológicos** e, dentro destes, os Andares, essencialmente com base no seu conteúdo fóssilífero. Assim se fez Geologia até meados do século XX, atribuindo às rochas uma idade relativa, dizendo que seriam da era Mesozoica, do período Jurássico ou do andar Bajociano, sem poder saber, ou sequer supor, o que tal representaria em idade absoluta, em milhares ou milhões de anos (FIGURA 2).

Apenas em meados do século XX, com a datação radiométrica, se pôde atribuir **idades numéricas** a esses intervalos, percebendo-se então que aqueles intervalos tinham na realidade durações muito diferentes entre si. Como exemplo, o período Jurássico durou cerca de 55 milhões de anos, englobando rochas que se formaram há 199,6 a 145,5 milhões de anos, enquanto as rochas atribuídas ao período Carbonífero se formaram há 399,2 a 299,0 milhões de anos, representando assim um intervalo de cerca de 100 milhões de anos. Aos poucos, foi-se podendo datar quase todos os tipos de rochas, sedimentares,

ígneas e metamórficas, com idades muito antigas ou muito recentes, recorrendo a isótopos radioativos com diferentes “períodos de semi-vida” (tempo necessário para a sua quantidade passar a metade da inicial), estabelecendo assim uma escala cronostratigráfica precisa e universal.

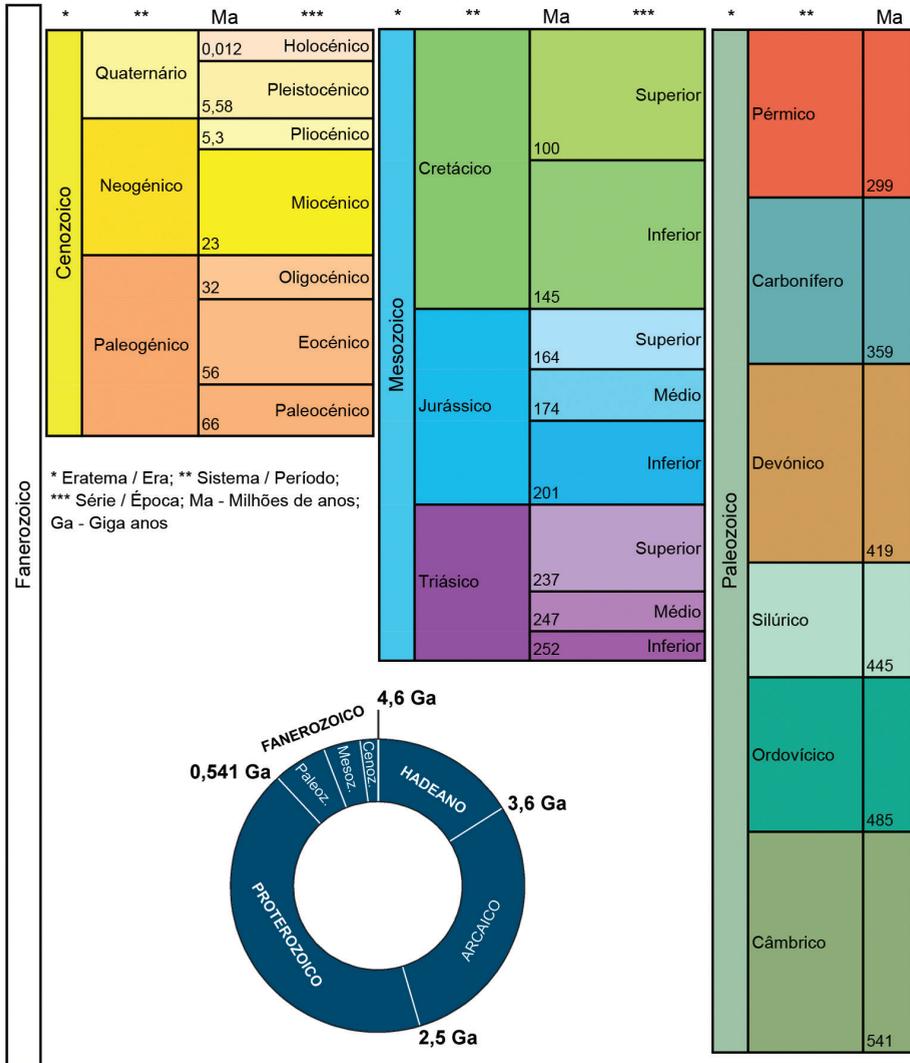


FIGURA 2. Escala cronostratigráfica (idades baseadas em IUGS, 2022).

Se o estudo das rochas nos permite saber o que aconteceu num determinado local, o conhecimento da sua idade permite-nos perceber “quando” isso aconteceu. Se pensarmos agora que num mesmo local podemos ter (e geralmente temos) uma sucessão ou

empilhamento de rochas, desde as mais antigas até às mais recentes, e que as podemos datar e interpretar, teremos então nesse local o “filme” do que foi acontecendo ao longo do tempo, fotograma a fotograma, ou milhão a milhão de anos. Estes “filmes” podem ainda ser temporalmente correlacionados entre si, ou seja, permitem entender o que estava a acontecer em cada momento geológico, numa região e também nas regiões circundantes.

A história geológica de um território é, portanto, uma matriz complexa de dados de diferentes locais e com diferentes idades. Organizando todos esses dados de uma forma criteriosa e cientificamente cuidada, podemos então reconstituir a evolução de todo esse território ao longo de milhões de anos, ou seja, a Geohistória de um local, região, país ou até mesmo do planeta na sua globalidade.

A Dinâmica da Terra

Os processos geológicos necessitam de tempo para se desenrolar. São necessários milhões de anos para soerguer uma montanha e também milhões de anos para destruí-la e formar rochas sedimentares a partir dela. Mas o tempo, por si só, não tem capacidade de movimentar os materiais geológicos ou de os aquecer ou arrefecer, por exemplo. O tempo é, portanto, uma condição necessária, mas não suficiente, para a evolução do nosso planeta. Para que tal aconteça e para que se desenrole uma “história geológica” com múltiplos acontecimentos de enorme escala, existem duas grandes **fontes de energia** que implementam a dinâmica terrestre — a energia solar e o calor interno da Terra (FIGURA 1).

A energia solar é responsável pela dinâmica da atmosfera e da hidrosfera, promovendo a evaporação e a precipitação que irão dar origem às águas de escorrência, aos rios, aos lagos e aos glaciares. É também a energia solar que origina as diferenças de temperatura das massas de ar, com reflexos na pressão atmosférica e nos ventos a que dão origem e, conseqüentemente, também nas ondas do mar. E finalmente é a **energia solar** que alimenta toda a cadeia alimentar dos organismos terrestres e aquáticos e, assim, a biosfera terrestre e a sua importante contribuição para determinados processos geológicos. O Sol é, deste modo, a fonte de energia de toda a geodinâmica externa, responsável por alterar as rochas em contacto com a atmosfera, hidrosfera e biosfera, bem como, em conjugação com a gravidade, erodir e transportar os materiais resultantes até ao seu local de deposição nas bacias sedimentares. Nessas bacias, por seu lado, poderão formar-se também novos materiais sedimentares, em resultado da atividade biológica,