

CAPÍTULO 03 –

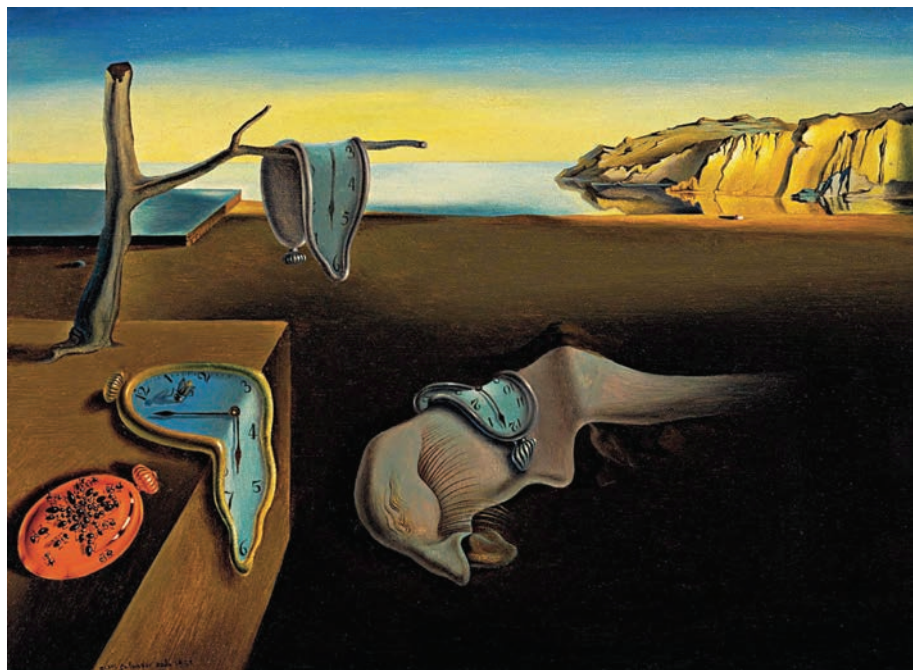
TEMPO GEOLÓGICO

Gilson Burigo Guimarães

Tempo... Palavra com poucas letras, mas com uma imensidão de significados. É motivo de intensos debates acadêmicos e filosóficos, opondo visões como as de Isaac Newton (1543-1727) e Immanuel Kant (1724-1804) (afinal, o **tempo** é real ou uma mera abstração?) e rendendo famosos questionamentos como o de Santo Agostinho (354-430): “*O que então é o tempo? Se ninguém me pergunta, eu sei; se eu quiser explicar isso para quem me pergunta, eu não sei...*”.

É também um tema que inspira as mais variadas manifestações culturais. Passa por uma frequente sensação de sua volatilidade, como no depressivo registro na canção *Time*, da banda britânica de rock Pink Floyd; estranheza e desgaste, como nos surreais relógios das obras de Salvador Dalí; ou ordenamento e aplicação, funcional ou simbólica, como se vê em diversos sistemas de contagem do tempo, alguns verdadeiros ícones de fases da história humana (de Stonehenge ao Big Ben).

Há ainda a questão do reconhecimento de dois aspectos dos ditos “fenômenos temporais”, a recorrência e o caráter direcional de alguns eventos, ambos fartamente ilustrados na análise da geodiversidade. No primeiro caso, ao se examinar uma situação em particular, torna-se difícil ou praticamente impossível precisar sua posição em uma sequência de acontecimentos, os quais parecem se suceder e repetir indefinidamente em ciclos (por exemplo, o ciclo hidrológico). Já no segundo caso é nítido que as diferentes etapas levam a estados diferenciados, com um começo, meio e fim (por exemplo, a separação de crosta, manto e núcleo a partir de um planeta fundido e homogêneo no início da história da Terra). Esta é a base para a distinção do que Gould (1991) descreveu como “ciclo do tempo” X “seta do tempo”.



A obra “Persistência da Memória”, pintada em 1931 por Salvador Dalí, é um dos principais símbolos do surrealismo e encontra-se, hoje, no Museu de Arte Moderna de Nova Iorque (EUA). A obra sugere a maleabilidade do tempo, onde presente e passado se fundiriam. Fonte: Wikipedia.

Mas seja o tempo subjetivo ou concreto, a descrição do mundo e suas transformações praticamente impõe o emprego de escalas cronológicas, seja com componentes cíclicos (horas do dia, meses do ano) ou direcionais (numeração crescente ou decrescente dos séculos, a partir de um ano de referência). E é neste momento que fica evidente a necessidade de padrões de contagem com amplitudes variadas.

O cotidiano de uma pessoa, as aventuras desde seu nascimento, passando pela infância, adolescência, maturidade, até os momentos finais de sua vida são suficientemente descritos em termos de dias (e suas subdivisões em horas, minutos e segundos) e anos (divididos em semanas e meses, ou agrupados em décadas). Raramente os acontecimentos em intervalos mais curtos (frações de segundos) ou mais longos (séculos) chegam a ser percebidos por um indivíduo, sem o auxílio de recursos tecnológicos de precisão ou o acesso a arquivos, por

mais que estes eventos sejam determinantes para sua existência, como os efeitos da descarga de um raio, com duração média de milésimos de segundos ou a decisão de um tataravô de migrar da Europa para o Brasil.

E como conduzir o cidadão comum, familiarizado com sua “escala padrão de referência temporal”, a assimilar histórias que não devam ser contadas em anos ou poucos séculos, mas sim em muitos milhões ou mesmo alguns bilhões de anos? Como amarrar no tempo o conjunto de episódios que determinam a geodiversidade de uma região, de um continente ou do globo? Esta certamente não é uma tarefa fácil.

Muitos pesquisadores argumentam que o conhecimento científico trouxe pelo menos três rupturas fundamentais na estrutura do pensamento humano, no que tange à relevância da espécie humana. A revolução copernicana, em termos astronômicos, conduziu à percepção de que a Terra não está no centro do Universo; a evolução das espécies, em termos biológicos, deixou claro que o *Homo sapiens* é apenas mais uma dentre tantas outras formas de vida e não o resultado de um processo excepcional; a compreensão da imensidão do tempo em bases geológicas (o **tempo profundo**), avaliado com algarismos gigantescos em comparação com a perspectiva habitual humana, levou à constatação de que toda a história da sociedade humana está comprimida em um instante irrisório da existência do planeta. Descer da posição do topo do pedestal, de alguém especial em termos de “quem”, “quando” e “onde” transita pelos limites do inaceitável, frustrante ou definitivamente errado para muitas pessoas, em alguns casos representando as raízes de um distanciamento do conhecimento científico (do desinteresse ao medo).

O nível atual de entendimento sobre a idade da Terra e, deste modo, o que se convencionou denominar de **tempo geológico**, é fruto de um período de grande efervescência científica entre o final do século XVIII e a primeira metade do século XX (ver HALLAM 1985; GOULD 1991; CARNEIRO et al. 2005). Hoje a ciência trabalha confortavelmente em torno de um consenso de que a Terra tem uma idade de pouco mais de quatro bilhões e meio de anos¹, muito diferente da ideia de alguns milhares de anos defendida por certos setores da sociedade (por exemplo, algumas religiões criacionistas) ou, num outro extremo, de que ela seja eterna.

¹ A melhor estimativa científica atual aponta para $4,56 \cdot 10^9$ anos ou 4,56 Ga, com o “G” significando *giga*, ou bilhão e “a” correspondendo a *annus*, ou ano (ver AUBRY et al. 2009 para uma discussão sobre a adequação do emprego de unidades na abordagem do tempo geológico). Escrevendo-se por extenso se tem 4.560.000.000 anos (quatro bilhões e quinhentos e sessenta milhões de anos).

A **Escala do Tempo Geológico** (ver quadros 1, 2 e 3) nada mais é do que um conjunto hierárquico de intervalos da história da Terra (as unidades geocronológicas), aos quais são atribuídos nomes compostos específicos (Éon Fanerozoico; Período Devoniano; etc.), cada qual passível de subdivisões. Das categorias de status mais elevado para as de menor, têm-se os éons, eras, períodos, épocas, idades (um éon divide-se em eras, estas em períodos e etc.), sendo seus limites objeto de constante avaliação e refinamento (ver as frequentes atualizações na página da Comissão Internacional de Estratigrafia na internet, em www.stratigraphy.org).

Essa escala normalmente é retratada de modo a espelhar um dos princípios fundamentais da Estratigrafia, a Lei da Superposição de Camadas. Assim, unidades mais antigas são posicionadas na base da escala, enquanto unidades mais jovens estão no topo. Mas para aqueles pouco familiarizados com a Escala do Tempo Geológico ela não é de fácil assimilação... Trata-se de um conjunto aparentemente complexo de termos “estranhos”, os quais obedecem a uma organização cuja lógica não é óbvia, principalmente na escolha dos valores que marcam os limites entre as diferentes unidades.

Bem, toda ciência tem seu vocabulário próprio, seu jargão... A Geologia é a ciência que estuda o Planeta Terra e assim se viu obrigada a constituir uma escala de tempo própria para descrevê-lo. Os limites das divisões desta escala estão relacionados a momentos relevantes de sua história, tais como mudanças climáticas, alterações marcantes na biosfera (extinções em massa; surgimento e diversificação de organismos; etc.), aspectos tectônicos, dentre outros, os quais obviamente não seguem um ritmo constante.

Muitos dos termos empregados para as unidades geocronológicas surgiram ao longo dos séculos XVIII e XIX, primeiro para descrever conjuntos de estratos de uma região, que na sequência foram correlacionados a terrenos de outras áreas (por exemplo, rochas devonianas seriam aquelas formadas em um momento equivalente ao das rochas observadas no Condado de Devon, Inglaterra). Análises comparativas dos tipos de rochas e principalmente de seus fósseis, predominantemente ao longo da Europa Centro-Occidental, permitiram identificar uma lógica para o empilhamento de estratos sedimentares, o que hoje se reconhece na Escala do Tempo Geológico nas divisões e na ordem relativa de eras, períodos e épocas do Fanerozoico. Somente a partir do início do século XX, com o desenvolvimento das técnicas de datação radiométricas, é que valores absolutos (numéricos) para os limites entre as unidades passaram

a ser estabelecidos, tarefa ainda hoje em contínuo processo de aprimoramento, avançando também para os intervalos mais antigos (o “Pré-Cambriano”).

Ao longo de bilhões de anos de história, a Terra vem construindo e remodelando sua constituição e aparência, estabelecendo sua riqueza em termos abióticos (a geodiversidade) e também de formas de vida e suas relações (a biodiversidade). O ser humano, mesmo como um acréscimo de última hora (microsegundo?), tem a seu favor a peculiar capacidade de atribuir valor às diversas formas de expressão deste magnífico passageiro do Sistema Solar que é a Terra, reconhecendo um gigantesco e precioso grupo de patrimônios. Estudando e, humildemente, aprendendo a ler as mensagens gravadas nas muitas páginas do tempo geológico, a sociedade humana poderá estabelecer uma relação minimamente duradoura, estável e harmônica com o ambiente que a cerca.



A imagem de uma ampulheta, um dispositivo cronométrico desenvolvido na Europa Medieval, consolidou-se atualmente como um ícone da passagem do tempo. Seu desenho também ilustra a ligação de passado e futuro pelo presente (ampolas conectadas de vidro) e a impessoalidade de seu ritmo.

Imagem: Divulgação.

Quadro 1: éons e eras da Escala do Tempo Geológico.

Éon	Era	intervalo em (Ma)
Fanerozoico	Cenozoico	66 a 0 ('hoje')
	Mesozoico	252 a 66
	Paleozoico	541 a 252
Proterozoico	Neoproterozoico	1000 a 541
	Mesoproterozoico	1600 a 1000
	Paleoproterozoico	2500 a 1600
Arqueano	Neoarqueano	2800 a 2500
	Mesoarqueano	3200 a 2800
	Paleoarqueano	3600 a 3200
	Eoarqueano	4000 a 3600
Hadeano	-	4560 a 4000

(1) a unidade Ma indica uma idade em milhões de anos ($M = \text{mega} = 1 \cdot 10^6 = 1 \text{ milhão}$);

(2) 1000 Ma (um mil milhão de anos) é o mesmo que 1 Ga ou 1 bilhão de anos. Assim, dizer que o Hadeano teve início há 4560 Ma é o mesmo que afirmar que isto ocorreu há 4,56 bilhões de anos;

(3) como o período mais antigo do Paleozoico se chama "Cambriano" (ver quadro 2), todo intervalo anterior ao seu início, ou seja, com idades mais antigas que 541 milhões de anos, é informalmente referido como Pré-Cambriano;

(4) praticamente não existem registros da fase "mais infernal" da juventude da Terra (o nome Hadeano é uma referência ao deus grego dos infernos, Hades), por isso não se reconhecem subdivisões para este éon;

(5) valores numéricos e denominações das unidades geocronológicas com base na versão de janeiro de 2013 da Carta Cronoestratigráfica Internacional, disponível em www.stratigraphy.org (ver COHEN et al. 2013). Ver também observação (2) do quadro 2.

Quadro 2: períodos do Éon Fanerozoico.

Éon Fanerozoico	Era	Período	intervalo (em Ma)
	Cenozoico	Quaternário	2,6 a 0 ('hoje')
		Neógeno	23 a 2,6
		Paleógeno	66 a 23
	Mesozoico	Cretáceo	145 a 66
		Jurássico	201 a 145
		Triássico	252 a 201
	Paleozoico	Permiano	299 a 252
		Carbonífero	359 a 299
		Devoniano	419 a 359
Siluriano		443 a 419	
Ordoviciano		485 a 443	
	Cambriano	541 a 485	

(1) a unidade Ma indica uma idade em milhões de anos;

(2) os valores das idades são aproximados para números inteiros (exceto o limite Quaternário/ Neógeno) e não têm representados os erros inerentes à sua determinação (condicionados por limitações tecnológicas e/ou dos métodos de datação empregados). Por exemplo, o limite entre o Paleozoico e o Mesozoico (ou seja, término do Permiano e início do Triássico) está em $252,17 \pm 0,06$ Ma, o que significa dizer que ocorreu em algum momento entre 252,23 Ma e 252,11 Ma (uma incerteza de 60 mil anos). Aqui foi "simplificado" para 252 Ma;

(3) para valores numéricos e denominações das unidades geocronológicas ver Cohen et al. (2013).

Quadro 3: épocas da Era Cenozoico.

Era Cenozoico	Período	Época	intervalo (em Ma)
	Quaternário	Holoceno	0,0117 a 0 ('hoje')
		Pleistoceno	2,588 a 0,0117
	Neógeno	Plioceno	5,333 a 2,588
		Mioceno	23,03 a 5,333
	Paleógeno	Oligoceno	33,9 a 23,03
		Eoceno	56,0 a 33,9
		Paleoceno	66,0 a 56,0

(1) a unidade Ma indica uma idade em milhões de anos;

(2) aqui os valores das idades são apresentados com o máximo de precisão indicada em Cohen et al. (2013) (comparar com o quadro 2), fonte também das denominações das unidades geocronológicas;

(3) os 0,0117 Ma do Holoceno significam que a época mais recente da Escala do Tempo Geológico abrange, aproximadamente, os últimos 11.700 anos;

(4) da análise dos quadros 1 a 3 conclui-se que o momento atual está no Éon Fanerozoico, Era Cenozoico, Período Quaternário, Época Holoceno;

(5) alguns autores defendem que a intervenção do ser humano é tão significativa que ele deve ser considerado um agente geológico. Com isto existe a proposta da inclusão de um novo intervalo (época?) na escala, denominado de Antropoceno (ver ZALASIEWICZ et al. 2008).

Atividade proposta: O Tempo Geológico em 400 m rasos

Raramente quem observa a Escala do Tempo Geológico consegue **realmente** incorporar o significado de seus números. Comparações com recortes temporais mais familiares não se aplicam, tais como os utilizados para descrever o que acontece na vida de alguém e de seus ancestrais diretos (dias, séculos etc.), ou então para recontar a história da civilização (algo que não chega aos 12.000 anos). O acúmulo de “zeros” das idades geológicas acaba por promover um efeito quase embaçante, nublando a capacidade de obtenção de foco para as pessoas de fora de áreas como as Geociências ou a Astronomia. Fatos ocorridos há dez mil, cem mil, um milhão, dez milhões, cem milhões, um bilhão de anos assumem tal imensidão, que acabam por adquirir contornos indistinguíveis.

Diante dessa dificuldade costuma-se empregar o recurso das analogias, das quais algumas das mais famosas são as do gênero t-t (“tempo-tempo”), onde se convida o iniciante na descoberta do “tempo profundo” a imaginar que toda a história da Terra possa ser comprimida nas 24 horas de um dia, ou então nos 365 dias de um ano.

Outra estratégia se enquadra na categoria t-x (“tempo-distância”), comparando-se os bilhões de anos geológicos com dimensões métricas selecionadas. Obviamente algumas escolhas são melhores do que outras. Por exemplo, representar de modo proporcional os éons em uma folha de papel A4 é até possível (faixas horizontais dispostas ao longo do maior comprimento da folha, de 29,7 cm), mas impraticável se houver também a intenção de retratar as épocas do Cenozoico. A época de maior duração, o Mioceno (~ 17,7 milhões de anos), estaria presente como uma faixa de 1,15 mm, enquanto o Holoceno (11.700 anos) teria 0,00076 mm de largura! Lembrando que o traço do grafite normalmente tem 0,5-0,7 mm, mesmo o Mioceno não poderia ser devidamente indicado.

Aqui se faz uma sugestão de atividade para representação de alguns momentos significativos da história da Terra, tendo por base uma estrutura didático-recreativa da UEPG: a pista de atletismo (Figura 1)². A ideia é a de retratar alguns intervalos da Escala do Tempo Geológico (éons, eras, períodos, etc.), fenômenos marcantes da evolução biológica, idade das rochas da região dos Campos Gerais, eventos tectônicos e climáticos etc. Abre-se também a possibilidade de indicação de marcos da civilização humana, tais como a escrita ou a queda do Império Romano.

² Uma pista oficial de atletismo, como a do Departamento de Educação Física da UEPG, tem uma sequência de retas e trechos em arco divididos em raias, constituindo um circuito fechado de quatro segmentos de 100 m cada, tendo como referência a medida da raia mais interna (total de 400 m).



Figura 1 – Vista geral da área do Campus Uvaranas. Ao centro pista de atletismo. No rumo sudoeste da pista observa-se o conjunto de blocos didáticos em que se localiza também o Bloco L e a Exposição Geodiversidade na Educação. Fonte: Google Earth.

Para facilitar os cálculos iniciais dessa analogia propõe-se desconsiderar o Éon Hadeano, uma vez que quase nada desse intervalo cronológico foi preservado da intensa dinâmica de processos modeladores do planeta. Assim, os 4 bilhões dos demais éons (Arqueano, Proterozoico e Fanerozoico) corresponderiam aos 400 metros da pista (poderia se utilizar 56 m externos como área de aquecimento e deste modo incluir o Hadeano). Isto significa que cada metro cobriria 10 milhões de anos.

Episódios relevantes no tempo geológico e na história humana poderiam ser assinalados com suas posições na pista de atletismo tendo como ponto de partida o início de uma de suas retas, correspondente ao começo do Arqueano (há 4 bilhões de anos). Uma corrida imaginária pela pista (setas verdes na Figura 2) consumiria os primeiros 150 m no Arqueano (trecho em azul na Figura 2), os próximos 195,9 m no Proterozoico (vermelho na Figura 2) e os 54,1 m finais no Fanerozoico (amarelo na Figura 2).

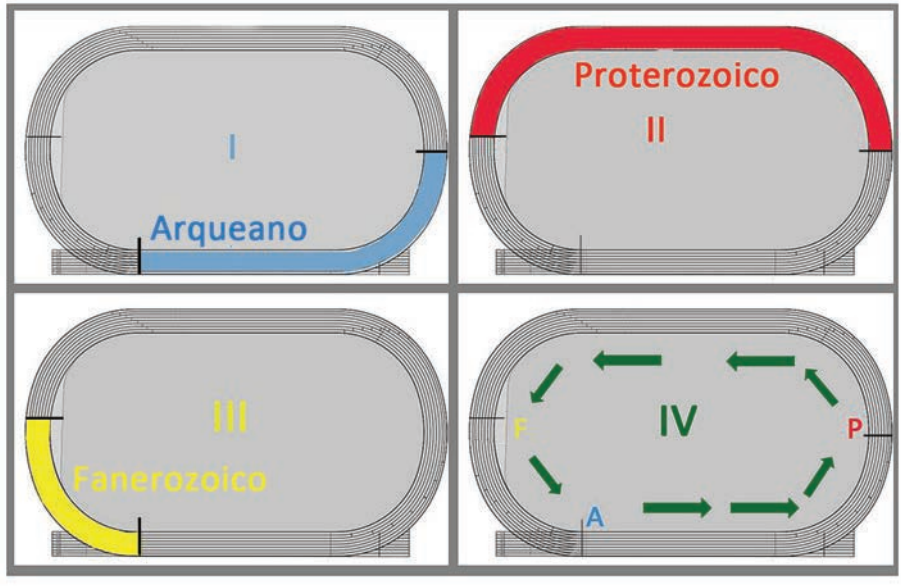


Figura 2 – Pista de atletismo da UEPG. Caso as durações dos éons Arqueano, Proterozoico e Fanerozoico fossem representadas proporcionalmente na pista (analogia “tempo-distância”) ocupariam os trechos I, II e III, ao longo de uma corrida imaginária (IV), com início correspondente ao começo do Arqueano (A) e passando pelos inícios do Proterozoico (P) e Fanerozoico (F). Imagem: Liccardo.

Esta seria uma corrida muito disputada, com o trecho final (últimos 60 m ou 600 milhões de anos) riquíssimo em emoções. É compreensível que quanto mais próximo dos dias atuais maiores sejam a quantidade e a fidelidade dos dados obtidos da leitura das rochas (quanto mais antigo maior o conjunto de fenômenos superimpostos, tornando complexa a interpretação). Mas foi também neste intervalo final que a vida experimentou uma transformação impressionante, especialmente em sua diversidade de formas macroscópicas (“Fanerozoico” remete a algo como *vida visível*). Trilobitas, dinossauros e quase tudo que é mais bem estudado sobre a vida no passado surgiria nos metros finais desta corrida de 400 metros.

A seguir, uma lista de alguns exemplos que poderiam ser destacados. Tal como a contagem do tempo geológico, os valores são apresentados em ordem decrescente, indicando a distância para a linha de chegada:

- a. início do Arqueano (400 m)
- b. início do Proterozoico (250 m)
- c. idade de sedimentação (~100-90 m ?) e metamorfismo (~63-59 m) das rochas do Grupo Itaiacoca (Neoproterozoico), onde se extrai boa parte dos principais recursos minerais da região (rochas carbonáticas como corretivo agrícola, cal e cimento, além de talco)
- d. início do Fanerozoico e, portanto, do Paleozoico (54,1 m)
- e. idade das rochas das Formações Furnas (~42-40 m; fim do Siluriano e início do Devoniano), visíveis em alguns dos melhores exemplos do patrimônio geológico regional, como o Buraco do Padre ou as Furnas em Vila Velha
- f. idade das rochas e fósseis da Formação Ponta Grossa (~40-38 m; Devoniano)
- g. idade das rochas do Grupo Itararé (~30-29 m; fim do Carbonífero e início do Permiano), presentes como os “Arenitos de Vila Velha”
- h. final do Paleozoico (e do Permiano) e início do Mesozoico (Triássico) (25,2 m), na maior extinção em massa da história (perda de ~95% da vida)
- i. primeiros dinossauros (22,5 m) e primeiros mamíferos (22 m) (Triássico)
- j. idade das rochas do Magmatismo Serra Geral (~13 m; começo do Cretáceo), visíveis como o diabásio (“pedra-ferro”) largamente utilizado no calçamento da cidade de Ponta Grossa ou os basaltos do Terceiro Planalto Paranaense (inclusive nas Cataratas do Iguaçu)
- k. final do Mesozoico (e do Cretáceo) e início do Cenozoico (Paleógeno) (6,6 m), com a extinção de vários organismos, tais como dinossauros e pterossauros
- l. resfriamento do planeta, com primeiras geleiras na Antártida (3,5 m), Groenlândia (0,7 m) e início da atual Era do Gelo (~ 0,25 m)
- m. surgimento do gênero Homo (perto de 2 Ma, ou seja, faltando 20 cm)
- n. surgimento da espécie humana, o Homo sapiens (~ 200.000 anos, a 2 cm)

- o. início do Holoceno e término da mais recente fase glacial (1,17 mm)
- p. primeiros escritos (~ 6.000 a.C. ?, ou ~ 8 mil anos atrás; 0,8 mm)
- q. queda do Império Romano Ocidental (476 d.C.; 0,1538 mm).

Conclusão? A análise comparativa não deixa dúvidas sobre o papel discreto da espécie humana quando posicionada na perspectiva do tempo geológico (idade da Terra). Investindo um pouco mais no significado desta atividade, pode-se afirmar que um indivíduo adulto e saudável não deveria precisar de muito mais que 60 segundos para correr os 400 m (o recorde mundial masculino é de 43,18 s e o feminino de 47,60 s). Esse tempo na pista de atletismo seria gasto para apreciar quase toda a história da Terra. Quanto tempo seria necessário para percorrer a duração da espécie humana, os 2 cm proporcionais? E a história escrita, ou seja, menos de 1 mm? Reflita sobre o significado desses números... Se tiver um tempinho !



O ser humano desenvolveu mecanismos engenhosos para registrar o transcurso de diferentes intervalos do tempo. Aqui um relógio de sol é empregado para identificar um fenômeno cíclico, a sucessão dos meses do ano. Osservatorio Vesuviano, sede de Nápoles/Itália do Instituto Nacional de Geofísica e Vulcanologia.

Imagem: Gilson.



O mineral zircão ($ZrSiO_4$) é um dos principais cronômetros geológicos nos métodos de datação radiométrica. Técnicas analíticas de precisão determinam quantidades minúsculas de diferentes isótopos de urânio e chumbo, com isso permitindo que seja calculada a idade de formação do mineral que abriga estes elementos químicos.

Coleção: Laboratório de Geologia. Imagem: Liccardo.



Normalmente associamos os processos e produtos da geodiversidade a fenômenos ocorridos há milhões ou bilhões de anos, mas mesmo atualmente eles estão em operação, como durante as erupções de 2002/2003 do Monte Etna (Sicília/Itália), produzindo rochas com menos de duas décadas de idade. Imagem: Gilson.