

GEOLOGIA HISTÓRICA

Princípios de Estratigrafia – Determinação do Tempo Geológico

**Professor - Adolpho José Melfi
e
Professora – Célia Regina Montes**

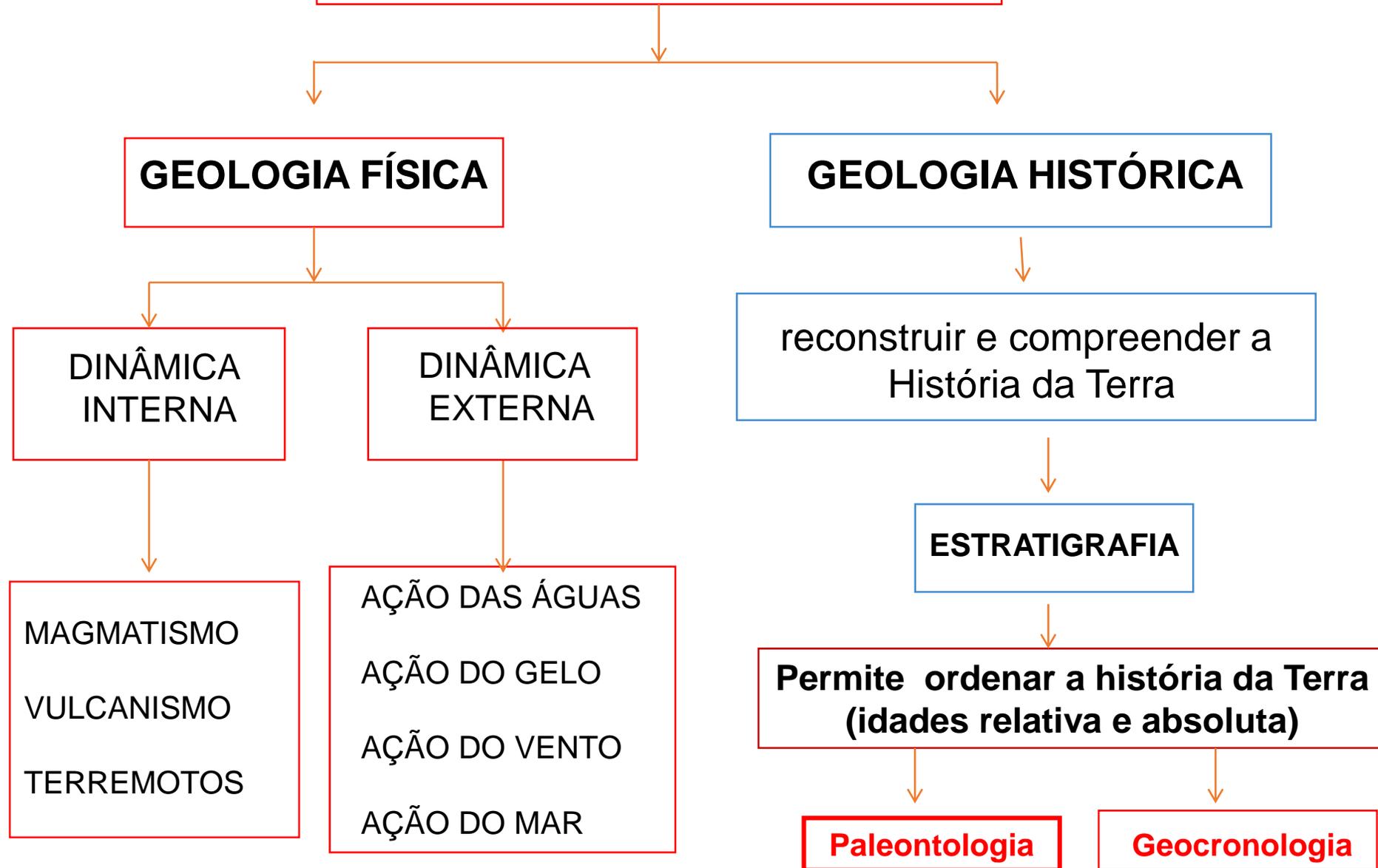
22-05-2023

Bibliografia

Teixeira, W. et al. (org.) – Decifrando a Terra, 2ª Edição. Cia Editora nacional, 2009, 623p. **Capítulo 10** - Geologia e a Descoberta da Magnitude do Tempo Geológico, p.280-305); **Capítulo 20** - Planeta Terra: passado, presente e futuro, p. 536 -563; **Capítulo 21** - As Ciências da Terra: sustentabilidade e desenvolvimento, p.564 - 577.

Carneiro, C.D.R., et al. – A determinação da idade das rochas, Terrae Didatica 1 pag.6 a 35, 2005 UNICAMP.

GEOLOGIA GERAL



Os Ambientes Geológicos se modificaram repetidas vezes durante os 4,6 bilhões de anos de existência do Planeta Terra

- A Geologia Histórica visa estabelecer as relações entre os eventos (**estratigrafia**)
- Quantificar o tempo (**paleontologia e geocronologia**)

Idade muito antiga da Terra: conceito relativamente recente (<300 anos)

Propostas anteriores (escrituras bíblicas)

Judaísmo pré-cristão → poucos milhares de anos (**3.761 aC**)

Idade Média (1560) → baseada na Bíblia (**5.520 anos**)

Os métodos científicos eram ainda imprecisos para estimar os cálculos sobre a idade da Terra:

- 1) Tempo para o mar se tornar salgado – 90 milhões de anos;**
- 2) Taxa de sedimentação – a dinâmica da Terra impede uma sedimentação contínua;**
- 3) Perda de calor da Terra (Lord Kelvin) – conhecimento insuficiente do ponto de fusão da crosta;**
- 4) Contagem das camadas alternadas de origem glacial (Suécia) – 13.500 anos**

A Terra teria que ser mais jovem que 100 mil anos



Arcebispo Ussher
publicou volumoso tratado sobre
a cronologia bíblica e, com isto,
concluiu que a Terra teria cerca
de 6.000 anos;
Aceitação literal dos escritos
hebraicos.

O cômputo da Idade da Terra

<i>Da Criação até o Dilúvio</i>	<i>1.656 anos</i>
<i>Do Dilúvio até Abraão</i>	<i>292</i>
<i>Do Nascimento de Abraão até Êxodo do Egito</i>	<i>503</i>
<i>Do Êxodo até a Construção do Templo</i>	<i>481</i>
<i>Do Templo até o Cativoiro</i>	<i>414</i>
<i>Do Cativoiro até o Nascimento de Jesus Cristo</i>	<i>614</i>
<i>Do Nascimento de Jesus Cristo até hoje</i>	<i>1.560</i>
<i>Idade da Terra</i>	<i>5.520 anos</i>

Dois movimentos da cultura ocidental foram importantes para consolidar a Geologia como ciência

► **Iluminismo** - (movimento cultural europeu, entre os séculos XVII/XVIII e que buscava mudanças políticas, econômica e sociais para a sociedade da época. Os iluministas acreditavam que isto seria atingido através da disseminação do conhecimento em detrimento do pensamento religioso).

- Substituiu as teorias sobrenaturais dos fenômenos que ocorriam na natureza, por leis físicas naturais

► **Revolução industrial** - (Inglaterra no final do século XVIII, início do século XIX).

- A demanda de matéria prima e de recursos energéticos oriundos da Terra, incentivou o desenvolvimento dos estudos e a realização de pesquisas em Ciências da Terra.

Charles Darwin – No seu livro “**A origem das espécies**”, publicado há 160 anos, o naturalista britânico dava um novo rumo para a biologia com sua “**Teoria da Evolução**” e discordava dos cientistas da época que defendiam a tese de que a Terra deveria ser mais jovem que 100 milhões de anos. Darwin defendia a tese de que esta idade seria insuficiente para manter a longa estabilidade necessária para a evolução gradual das espécies e sua diversificação.

- Ainda estudante da Universidade de Cambridge, Darwin participou da grande expedição a bordo do navio “HMS Beagle” e teve a oportunidade de coletar dezenas de exemplares de diferentes espécies de animais vivo e de fósseis, que reforçavam suas hipóteses sobre a Teoria da evolução.

- As coletas de fósseis no arquipélago de Galápagos foram importantes para ele concluir, após vários anos de estudo, que em cada ilha do arquipélago existiam espécies distintas de tartarugas, que se diferenciavam pelo tamanho do pescoço e pelo formato do casco e que nitidamente seriam produtos da evolução.

Objetivos da Geologia Histórica:

- Quantificar o tempo
- Estabelecer as relações entre os eventos

Nas rochas encontramos os registros de processos geológicos que permitem determinar como estes processos ocorreram no passado e determinar a evolução do nosso planeta, desde sua origem

Geologia como ciência – segunda metade do século XVIII

Werner - **Netunismo** (as rochas seriam formadas por precipitações nas águas do mar)

Hutton - **Plutonismo** (as rochas seriam formadas por consolidação de materiais quentes, no estado de fusão que estariam no interior da Terra)

Princípio fundamental da geologia formulado por James Hutton (Séc. 18)



UNIFORMITARISMO

O presente é a chave do passado



Marcas de ondas (ripple marks)

**Formação litorânea associada à
ação das ondas**



Marcas de ondas fossilizadas

**Arenito com estrutura de marcas
de ondas**

A Geologia torna-se Ciência no século 18

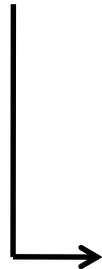
No livro de Hutton “**Theory of the Earth**” publicado em 1795”, Hutton concorda com Darwin que a Terra deveria ser muito mais antiga; derruba a teoria do neptunismo por meio do estudo sobre o granito, rocha plutônica, com grande presença na superfície da Terra; As primeiras ideias modernas sobre a geologia apareceram no livro de Hutton, onde são citados os métodos da geologia para a determinação da idade das rochas e da Terra.

- **Estratigráficos**
- **Paleontológicos**
- **Radiométricos**

Estratigrafia – estuda a distribuição temporal do registro geológico



Rochas estratificadas = rochas sedimentares



- Métodos de datação
- Normalização da nomenclatura dos agrupamentos de rochas

Métodos de datação:

- Sucessão temporal de eventos (sem saber quando) – **datação relativa**
- Determinação de quando o evento ocorreu – **datação absoluta**

Qual a importância dessas novas metodologias?

- **Auxiliar na reconstrução dos ambientes antigos de sedimentação** (paleoclimatologia, paleogeografia);
- **Permitir correlações e datações**, seja por meio da estratigrafia, ou da paleontologia (idades relativas), seja por meio dos métodos radiométricos (idades absolutas)
- **Auxiliar a compreender a evolução da vida** - por meio dos estudos Bioestratigráficos, Paleontológicos e Geocronológicos.

1 - MÉTODOS ESTRATIGRÁFICOS

Nicolau Steno (1638-1686) – Pai da estratigrafia

Estabeleceu os Princípios Fundamentais da Estratigrafia, com base na compreensão dos processos geológicos e no registro desses processos, encontrados nas rochas

A aplicação desses princípios permitiu estabelecer uma datação relativa dos eventos e estabelecer a sucessão temporal das rochas de uma determinada região



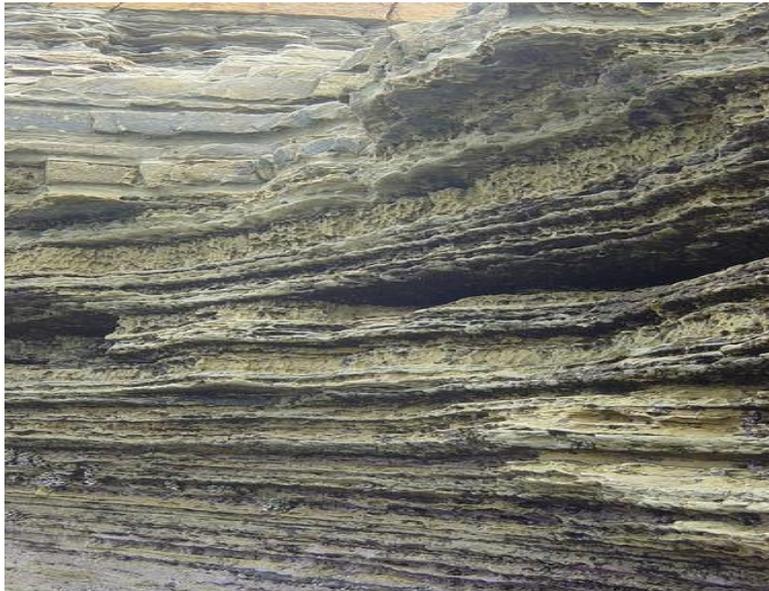
**Coluna
Estratigráfica**

Princípios da Estratigrafia



Superposição de camadas sedimentares:
na ausência de perturbações tectônicas,
uma camada é sempre mais recente do
que aquelas que ela recobre

Arenitos: Grand Canyon - Rio Colorado (EUA)



Horizontalidade original: camadas
sedimentares se acumulam em
camadas sucessivas dispostas de
modo horizontal

Varvito: Rocha sedimentar de origem glacial (Itú, SP)

Princípio da Continuidade Lateral

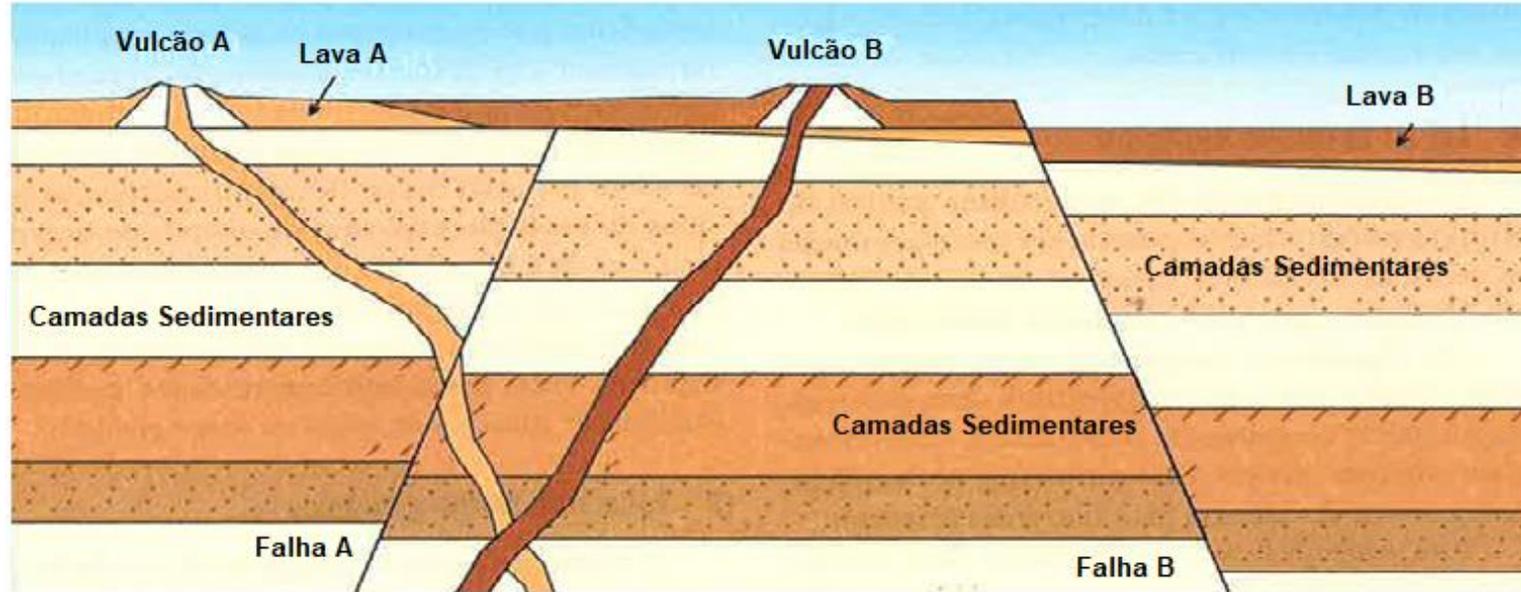
camadas sedimentares são contínuas, estendendo-se até às margens da bacia de acumulação e normalmente se afinam lateralmente

Continuidade lateral



Princípio das Relações de Corte

Rochas ígneas intrusivas ou falhas que cortam uma sequência de rochas são mais jovens que as rochas por elas cortadas



Falha

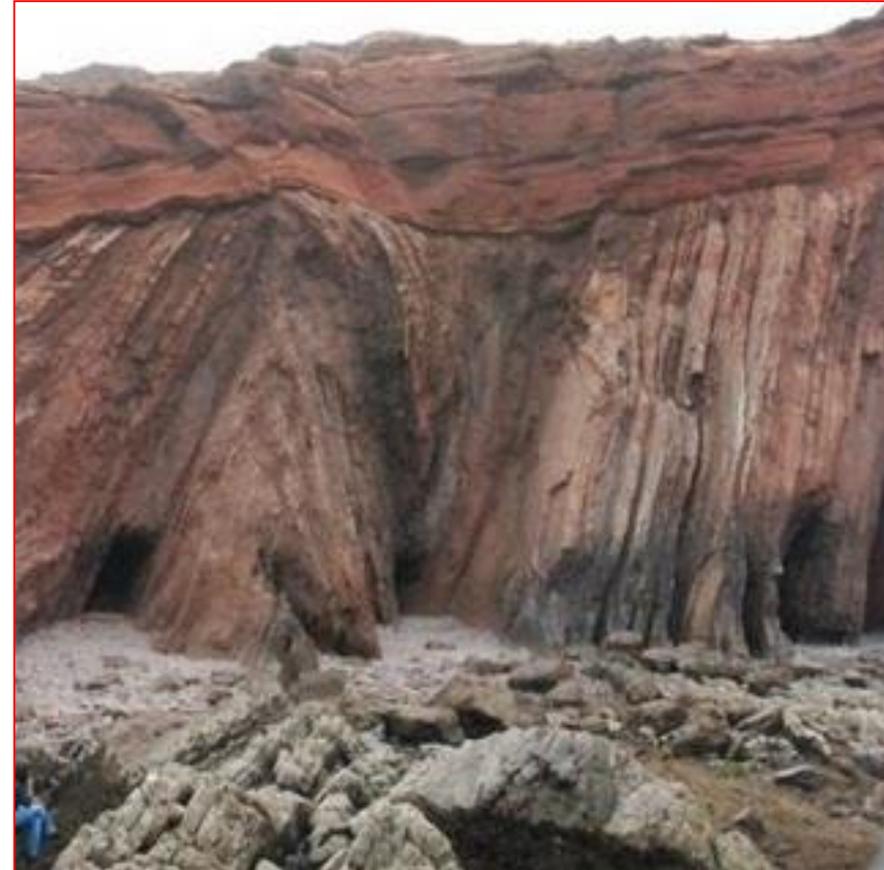


Princípios das Discordâncias

Superfícies de erosão, abaixo da qual pode existir qualquer tipo de rocha, mais acima somente rochas sedimentares

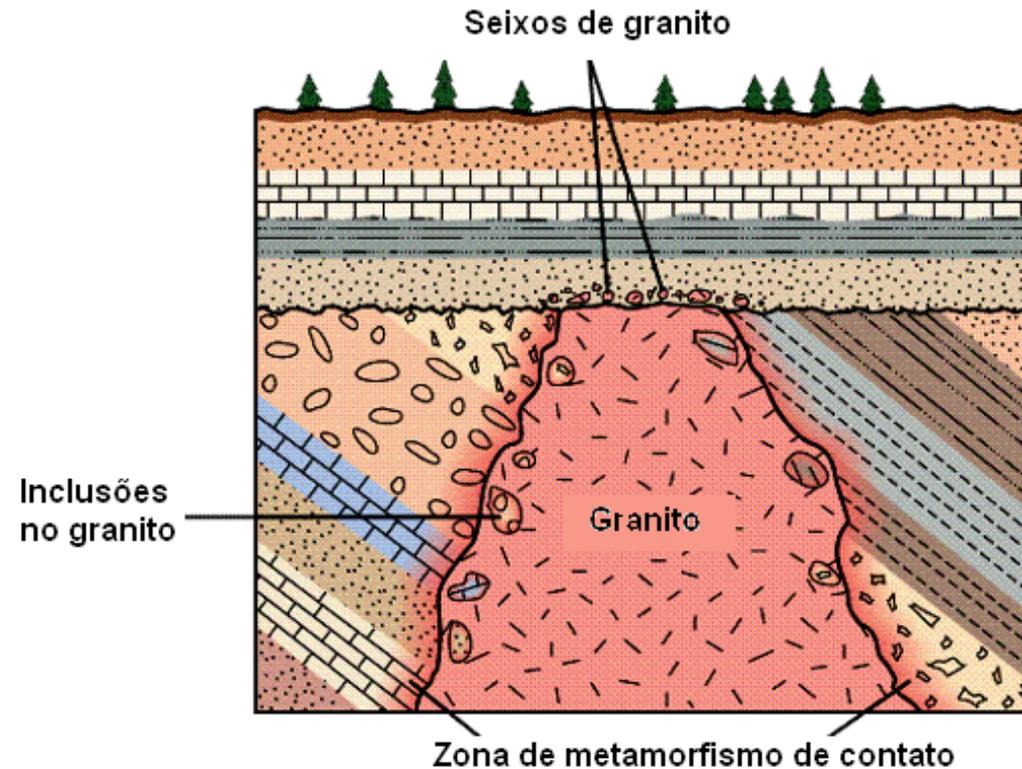
Discordância angular – arenito vermelho do Triássico – (248-206 Ma) e xistos dobrados do Carbonífero Superior (323-290 Ma)

(Algarves, Portugal)



Princípios da Estratigrafia

Fragmentos inclusos: fragmentos de rochas inclusos em rochas ígneas (intrusivas ou não) são sempre mais antigos



2 - Métodos Paleontológicos

Paleontologia - estuda a vida existente no passado da Terra e sua evolução ao longo do tempo geológico

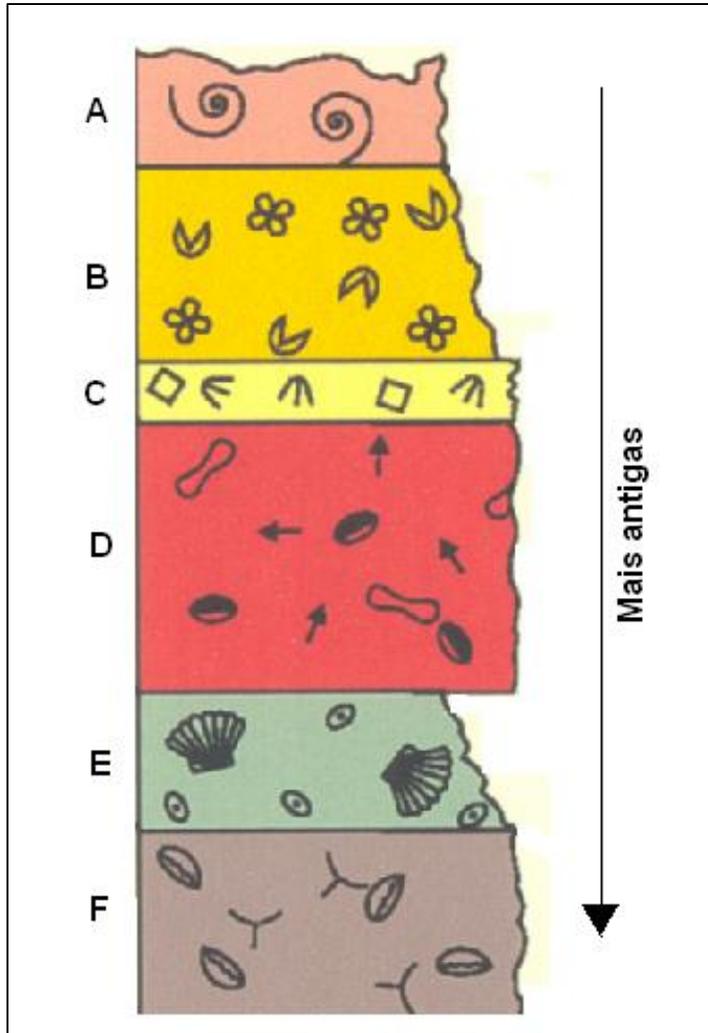
Arthur Smith (1769-1839): Foi o primeiro a reconhecer a importância dos fósseis, para determinar a idade relativas das rochas estratificadas (Bioestratigrafia)

Cada camada continha fósseis peculiares, que se sucediam na mesma ordem em formações geológicas muito afastadas, entre si

De Lapparent (1893): Primeira coluna estratigráfica mundial

Princípio da sucessão faunística

O conteúdo fossilífero, mesmo em um único tipo de rocha pode variar das camadas mais antigas para as mais jovens



Os grupos de fósseis ocorrem nas rochas, segundo uma ordem determinada e invariável e desde que esta ordem seja conhecida, será possível determinar a idade relativa entre as camadas (fóssil = tempo)

CORRELAÇÕES

Afloramento = parte da história geológica de uma região

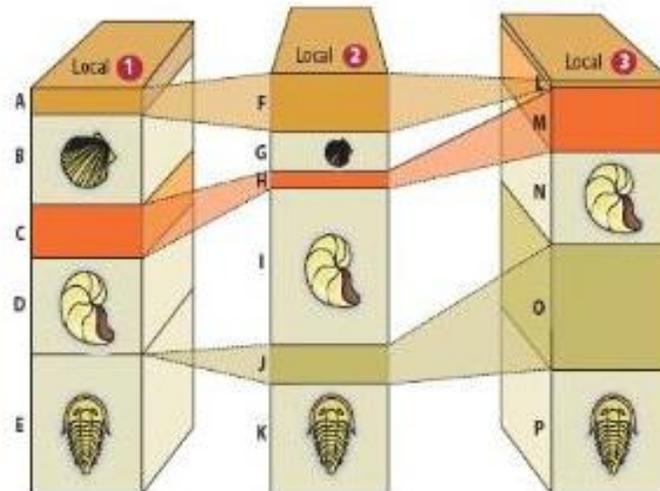
História completa de uma região, continente ou da Terra = somatória das histórias obtidas nos afloramentos



Coluna Estratigráfica



Construída com base nas correlações



Evolução da Terra - rica de eventos que podem ser datados

- ▶ **Datações relativas**
- ▶ **Datações absolutas**

Datações relativas – ordena os eventos no tempo; baseado no estudo das rochas sedimentares – **Paleontologia**

Datações absolutas – fornece numericamente a idade do evento em anos - **Geocronologia**

3 - Métodos Geocronológicos

Três descobertas foram fundamentais para a determinação das idades absolutas das rochas

Becquerel (1896) – sais de urânio marcavam Chapas fotográficas (emissões de raios X).

Marie e Pierre Curie (1903) – certas rocha e minerais emitiam quantidades constantes de energia - **radioatividade**.

Rutherford – Estudou as propriedades de elementos radioativos dos sistemas radioativos naturais (emissões de energia por partículas): **O decaimento de elementos radioativos instáveis formando outros elementos estáveis.**

“The Age of the Earth”- Arthur Holmes (1923) – importância da radioatividade nos processos geológicos e propôs a primeira escala do tempo geológico baseada em métodos radiométricos.

Decaimento radioativo → reação espontânea que ocorre no núcleo de um átomo instável, que se transforma em outro átomo estável

Elemento com núcleo atômico instável - elemento-pai ou nuclídeo – pai

Elemento formado com núcleo atômico estável - elemento-filho ou nuclídeo - filho (radiogênico)

Decaimento {
Emissão de partícula alfa
Emissão de partícula beta
Captura de elétron

Constante de desintegração - Cada elemento-pai leva um determinado tempo para se transformar em elemento-filho

Conceito de meia vida - para expressar as taxas de decaimento, isto é o tempo decorrido para que a metade da quantidade original de átomos instáveis se transforme em átomos estáveis

**Principais radioisótopos
utilizados em geocronologia**

Isótopo-pai	Isótopo-filho	Meia-vida	Aplicação
(Sm) Samário 147	(Nd) Neodímio 143	106,0 (Ga)	Rochas ígneas, metamórficas, meteoritos
(Rb) Rubídio 87	(Sr) Estrôncio 87	48,8 (Ga)	Rochas ígneas, metamórficas, meteoritos
(Ar) Argônio 40	(Ar) Argônio 39	1,25 (Ga)	Minerais potássicos de todos os tipos de rochas
(U) Urânio 238	(Pb) Chumbo 206	4,5(Ga)	Minerais ricos em urânio de todos os tipos de rochas (zircão, monazita, titanita)
(K) Potássio 40	(Ar) Argônio 40	1,25 (Ga)	Minerais potássicos de todos os tipos de rochas
(U) Urânio 235	(Pb) Chumbo 207	0,70 (Ga)	Minerais ricos em urânio de todos os tipos de rochas (zircão, monazita, titanita)
(Re) Rênio 187	(Os) Ósmio 187	43,0 (Ga)	Rochas ígneas, sulfetos, meteoritos
(C) Carbono 14	(N) Nitrogênio 14	5.730 anos	Carvão, ossos, conchas, troncos, dentes, fósseis, folhas papel, água, gelo

Holmes (1946): Taxa de decaimento U-Pb (minerais U) – Terra teria no mínimo 3 Ba.

Patterson (1956): Taxa de decaimento $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ medidas em meteoritos férricos e líticos e em sedimentos oceânicos obteve idades concordantes de 4,55 +/- 0,07 bilhões de anos.

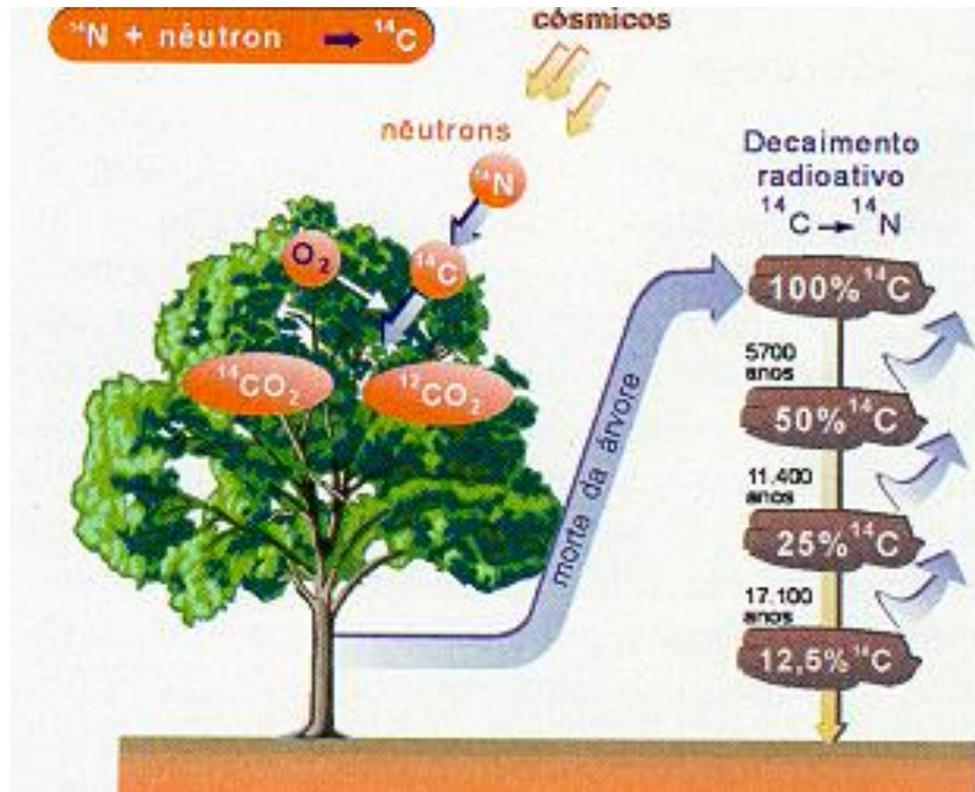
Método radiométrico do ^{14}C → Ciências ambientais e biológicas

Carbono

- ^{12}C - estável
- ^{13}C - estável
- ^{14}C - radioativo

Meia vida ^{14}C = 5.730 anos

Datação de materiais geológicos e biológicos (conchas, ossos, árvores)



^{14}C decai nos organismos vivos para ^{14}N , mas a formação contínua mantém a razão $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$ praticamente constante

Após a morte, o organismo deixa de absorver C, mas ^{14}C continua decaindo, alterando a razão inicial

Quando mais tempo decorrer após a morte, menor será a quantidade de ^{14}C

Comparando-se a razão $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ medida na amostra, com a razão universal é possível determinar a idade

Duas grandes subdivisões do tempo geológico

Éon - Fanerozóico



Fanerozóico - (Fossilífero) – 560 M.a. até O Cenozóico

SUPER ÉON - Pré-Cambriano



Proterozóico (2,5 Ba a 560 Ma) – fauna Ediacara (metazoários)

Arqueano (3,9 B.a. a 2,5 B.a.) – rochas mais antigas e presença de bactérias

Hadeano (4,6 Ba.a 3,9 Ba) – sem registro geológico



INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2023/04



System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)		
					Epoch / Era	System / Period
Phanerozoic	Quaternary	Holocene	0.0002	present		
		Upper Pleistocene	0.0117			
		Pleistocene	Chibanian	0.129		
			Calabrian	0.774		
			Gelasian	1.80		
		Pliocene	Piacenzian	2.58		
			Zanclean	3.600		
			Neogene	Messinian	5.333	
				Tortonian	7.246	
				Miocene	Serravallian	11.63
	Langhian	13.82				
	Paleogene	Oligocene	Burdigalian	15.97		
			Aquitanian	20.44		
		Eocene	Chattian	23.03		
			Rupelian	27.82		
			Priabonian	33.9		
		Paleocene	Bartonian	37.71		
			Lutetian	41.2		
			Ypresian	47.8		
			Thanetian	56.0		
			Selandian	59.2		
	Mesozoic	Upper Cretaceous	Danian	61.6		
			Maastrichtian	66.0		
			Campanian	72.1 ± 0.2		
		Lower Cretaceous	Santonian	83.6 ± 0.2		
			Coniacian	86.3 ± 0.5		
			Turonian	89.8 ± 0.3		
			Cenomanian	93.9		
Albian			100.5			
Aptian			~ 113.0			
Barremian			~ 121.4			
Hauterivian			125.77			
Valanginian			~ 132.6			
Berriasian	~ 139.8					
		Berriasian	~ 145.0			

System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)	
					Epoch / Era
Phanerozoic	Jurassic	Tithonian	149.2 ± 0.7		
		Upper	Kimmeridgian	154.8 ± 0.8	
			Oxfordian	161.5 ± 1.0	
			Callovian	165.3 ± 1.1	
		Middle	Bathonian	168.2 ± 1.2	
			Bajocian	170.9 ± 0.8	
			Aalenian	174.7 ± 0.8	
		Lower	Toarcian	184.2 ± 0.3	
			Pliensbachian	192.9 ± 0.3	
			Sinemurian	199.5 ± 0.3	
	Hettangian		201.4 ± 0.2		
	Rhaetian		~ 208.5		
	Triassic	Upper	Norian	~ 227	
			Carnian	~ 237	
			Ladinian	~ 242	
		Middle	Anisian	247.2	
			Olenekian	251.2	
			Induan	251.002 ± 0.024	
	Permian	Changhsingian	254.14 ± 0.07		
		Wuchiapingian	259.51 ± 0.21		
		Capitanian	264.28 ± 0.16		
		Lopingian	266.9 ± 0.4		
		Guadalupian	Roadian	273.01 ± 0.14	
			Kungurian	283.5 ± 0.6	
			Artinskian	290.1 ± 0.26	
		Cisuralian	Sakmarian	293.52 ± 0.17	
			Asselian	298.9 ± 0.15	
			Upper Carboniferous	Gzhelian	303.7 ± 0.1
Kasimovian				307.0 ± 0.1	
Pennsylvanian	Moscovian		315.2 ± 0.2		
	Lower	Bashkirian	323.2 ± 0.4		
		Serpukhovian	330.9 ± 0.2		
	Mississippian	Visean	346.7 ± 0.4		
		Tournaisian	358.9 ± 0.4		

System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)		
					Epoch / Era	System / Period
Phanerozoic	Devonian	Famennian	372.2 ± 1.6			
		Upper	Frasnian	382.7 ± 1.6		
			Givetian	387.7 ± 0.8		
			Eifelian	393.3 ± 1.2		
		Middle	Emsian	407.6 ± 2.6		
			Praagian	410.8 ± 2.8		
			Lower	Lochkovian	419.2 ± 3.2	
				Pridoli	423.0 ± 2.3	
			Silurian	Ludlow	425.6 ± 0.9	
		Wenlock		Gorstian	427.4 ± 0.5	
	Homerian			430.5 ± 0.7		
	Sheinwoodian	433.4 ± 0.8				
	Llandovery	Telychian		438.5 ± 1.1		
		Aeronian		440.8 ± 1.2		
		Rhuddanian		443.8 ± 1.5		
		Hirnantian		445.2 ± 1.4		
		Katian		453.0 ± 0.7		
	Ordovician	Sandbian		458.4 ± 0.9		
		Middle	Darriwilian	467.3 ± 1.1		
			Dapingian	470.0 ± 1.4		
		Lower	Floian	477.7 ± 1.4		
	Tremadocian		485.4 ± 1.9			
	Cambrian	Furongian	Stage 10	~ 489.5		
			Jiangshanian	~ 494		
			Paibian	~ 497		
		Miaolingian	Guzhangian	~ 500.5		
			Drumian	~ 504.5		
	Terreneuvian	Series 2	Wuliuan	~ 509		
Stage 4			~ 514			
Stage 3		Stage 3	~ 521			
		Stage 2	~ 529			
Fortunian	538.8 ± 0.2					

System / Period	Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)	
					Epoch / Era
Proterozoic	Neoproterozoic	Ediacaran	~ 635		
		Cryogenian	Tonian	~ 720	
			Stenian	1000	
		Mesoproterozoic	Ectasian	1200	
			Calymmian	1400	
		Paleoproterozoic	Statherian	1600	
	Orosirian		1800		
	Rhyacian		2050		
	Siderian		2300		
	Neoarchean		2500		
	Mesoarchean		2800		
	Archean	Paleoarchean	3200		
		Eoarchean	3600		
		Hadean	4000		
Hadean		4567			

Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Italic fonts indicate informal units and placeholders for unnamed units. Versioned charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran, only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (-) is provided.

Ratified Subseries/Subepochs are abbreviated as U/L (Upper/Late), M (Middle) and L/E (Lower/Early). Numerical ages for all systems except Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Jurassic, Triassic, Permian, Cambrian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012), those for the Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Jurassic, Triassic, Permian, Cambrian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommissions.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (www.cgmw.org)



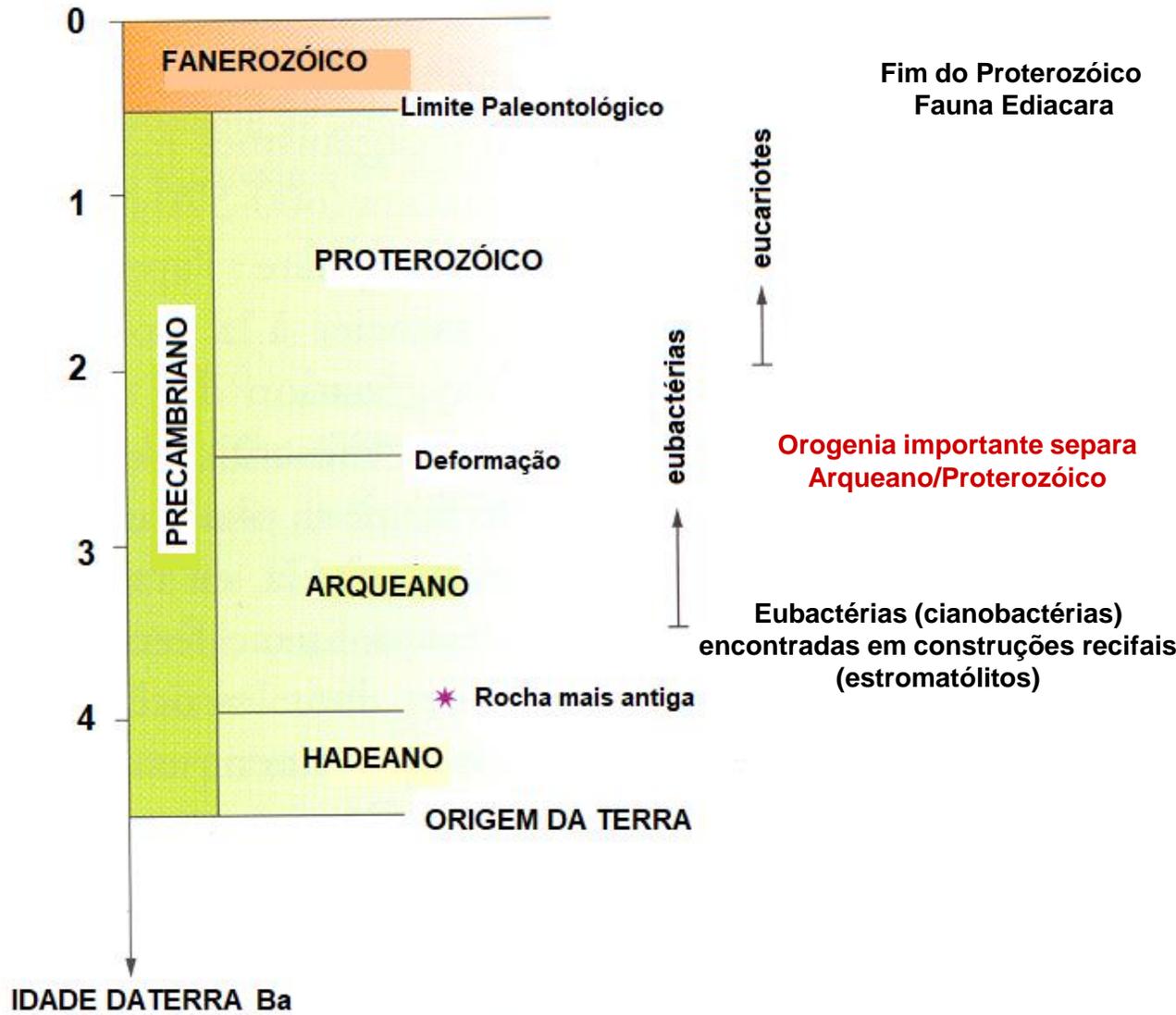
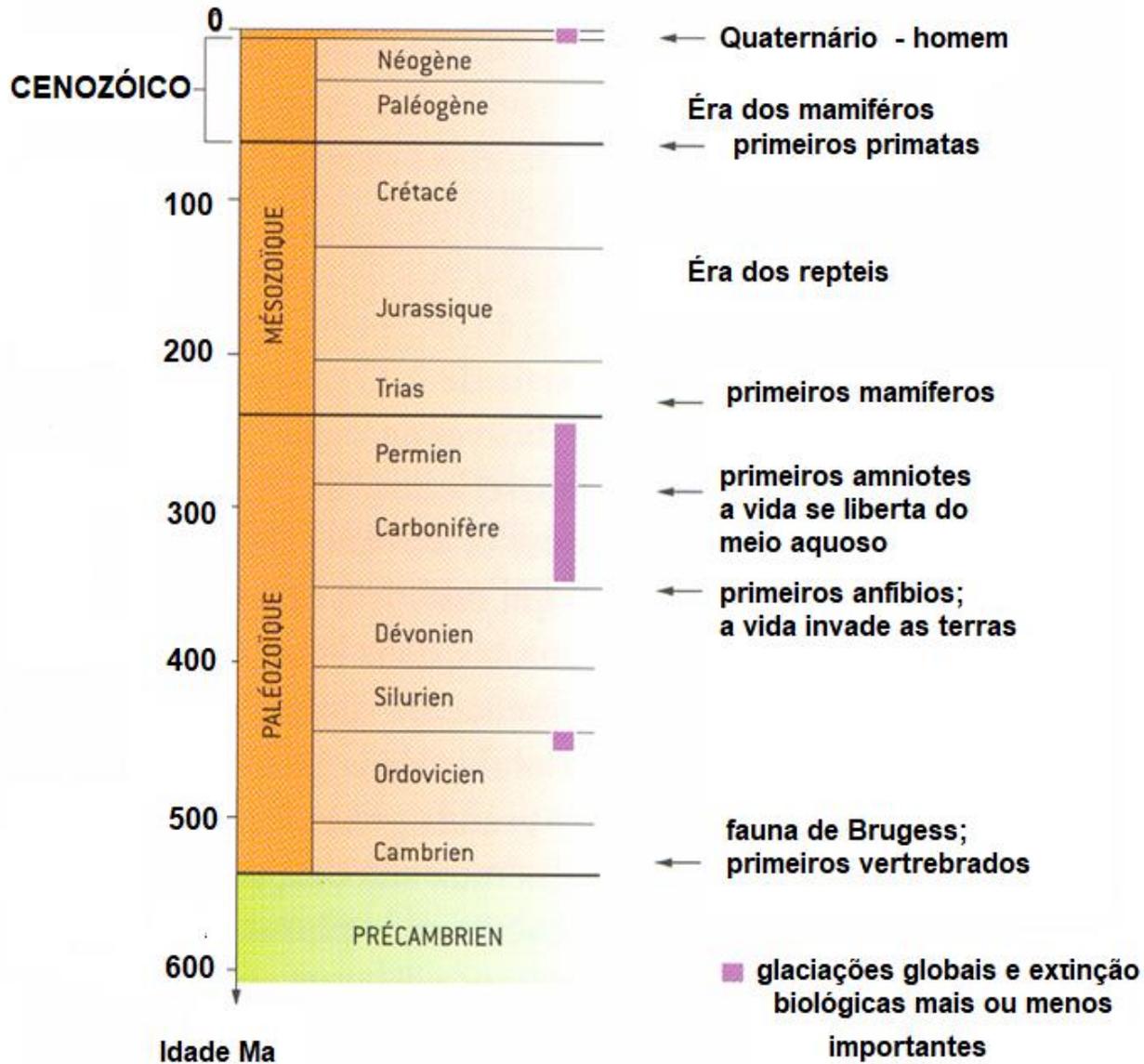
Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, N. Carr (c) International Commission on Stratigraphy, April 2023

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2023-04.pdf>

Fanerozóico – reino dos metazoários

Azóico/Pré-Cambriano



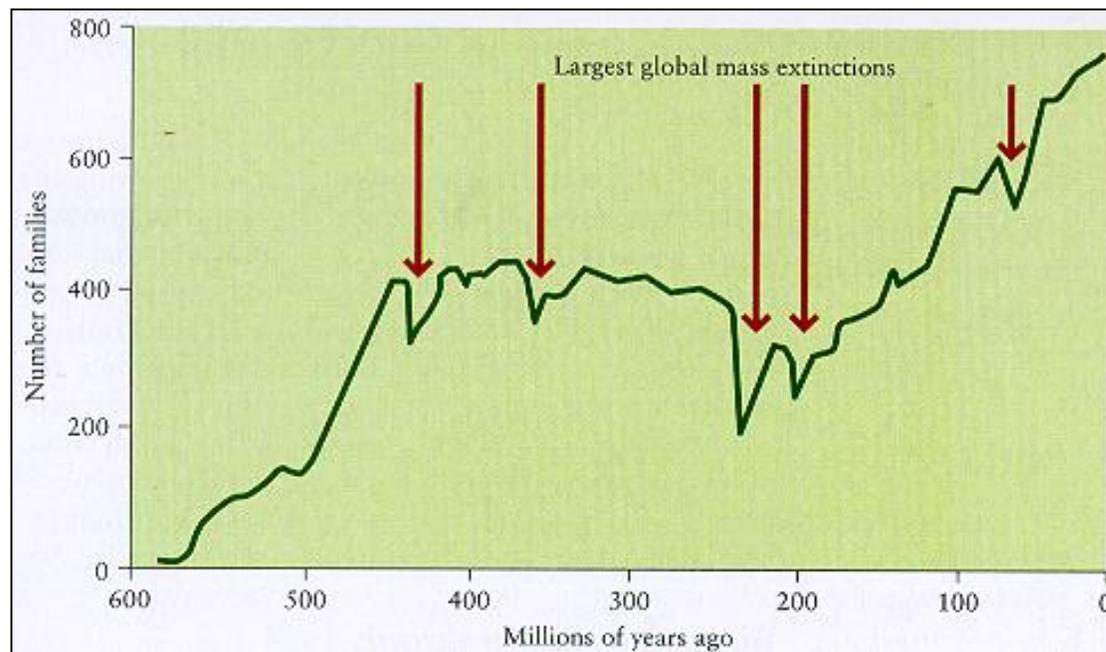
**Últimos
560 M.a.**

Início do Paleozóico

**Número de formas de vida
(marinhas e terrestre)
cresceu significativamente,
mas ocorreram extinções**

Crises biológicas mais importantes

- 245 Ma** - redução importante de formas marinhas de vida entre 75 e 90% das espécies marinhas desapareceram devido um forte episódio vulcânico (clima letal). Formação do supercontinente Pangeia e abaixamento do nível do mar
- 65 Ma** - cerca de 50% das espécies desapareceram, principalmente os dinossauros, devido à queda de um asteroide gigante (afetou clima da Terra e os ecossistemas). Abaixamento da temperatura, aumento da salinidade do mar, aumento das radiações cósmicas e inversão do campo magnético da Terra



- **O número de espécies de plantas e animais cresceu muito nos últimos 600 milhões de anos**
- **Tendência geral indica aumento da biodiversidade**
- **Ocorreram 5 grandes períodos de extinção**
- **Sexto período - diminuição de espécies por ação do homem**