



Aula 17

Introdução à astrobiologia

Jiří Borecký
CCNH
2024

Definição da Astrobiologia (Exobiologia):

- Origem da palavra: ἄστρον (*astron*), "constelação, astros"; βίος (*bios*), "vida" e λογία (*logia*), "ciência".
- “Astrobiologia é a ciência que estuda a origem, distribuição e futuro da vida no Universo”
- Uma ciência interdisciplinar que utiliza:
 - Física
 - Química
 - Astronomia
 - Biologia
 - Microbiologia
 - Ecologia
 - Biologia molecular
 - Geologia
 - Paleontologia
 - Meteorologia

Perguntas fundamentais da Astrobiologia

- Como a vida começa e evolui?
- Existe vida em outros lugares do Universo?
- Como detectar a vida?
- Qual é o futuro da vida na Terra e além dela?

Metas:

- **Natureza e distribuição de ambientes habitáveis no Universo**
- **Ambientes habitáveis passados ou presentes, química pré-biótica e sinais de vida em outros lugares do Sistema Solar**
 - Exploração de Marte
 - Exploração do Sistema Solar exterior
- **Surgimento dos precursores cósmicos e planetários**
- **Interação da vida passada na Terra com o seu ambiente planetário e do Sistema Solar em mudança**
 - A biosfera primitiva da Terra
 - Fundamentos da vida complexa
 - Efeitos de eventos extraterrestres sobre a biosfera
- **Mecanismos evolutivos e os limites ambientais da vida**
- **Princípios que moldarão o futuro da vida, tanto na Terra quanto além dela**
- **Reconhecimento de bioassinaturas de vida em outros mundos e na Terra primitiva**

Filmes para assistir (YouTube etc):

- History Channel – Série Universo (7 temporadas)
- History Channel – Série Como funciona universo (muitos episódios)
- History Channel – Como nasceu nosso planeta
- History Channel – Série Cosmos: uma odisseia do espaço (muitos episódios)
- BBC:
 - Caminhando com os monstros
 - First Life: The Arrival (A Chegada), The Conquest (A Conquista)

Temas desta aula

- Astroquímica
- Terra primitiva, Marte e luas geladas – possíveis abrigos da vida
- Zonas de habitabilidade e condicionamentos cósmicos da vida
- Estrelas interessantes para astrobiologia e exoplanetas
- Conceito, Origem e Evolução da vida
- Recursos e Auto-organização de biomoléculas
- Vida nas fronteiras: extremófilos



Astroquímica

➤ Meio interestelar

- Meio interestelar difuso
- Nuvens moleculares gigantes (*giant molecular clouds* – GMCs)
- Meio circumestelar
- Regiões dominados por fótons





Compostos no meio interestelar

Table 5.1 Interstellar and circumstellar molecules* (Erhenfreund (2000))

Number of Atoms										
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₅ N?	HC ₉ N	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	l-C ₃ H	C ₄ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HCOOCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO		
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₃ C ₂ H	CH ₃ COOH?	(CH ₃) ₂ O	NH ₂ CH ₂ COOH?		
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	l-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₅ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	HCOCH ₃	H ₂ C ₆	HC ₇ N			
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	CH ₂ CN	CH ₃ OH	NH ₂ CH ₃		C ₈ H			
CN	HCO	CH ₂ D ⁺ ?	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O					
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺						
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO						
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO						
CSi	H ₂ O	HNCS	H ₂ CHN	C ₅ N						
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄							
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺							
NaCl	N ₂ H ⁺	NH ₃								
OH	N ₂ O	SiC ₃								
PN	NaCN									
SO	OCS									
SO ⁺	SO ₂									
SiN	c-SiC ₂									
SiO	CO ₂									
SiS	NH ₂									
CS	H ₃ ⁺									
HF										

somente 12 elementos detectados:

H, C, N, O, S, Si, P, F, Cl, Al, Na, Mg,

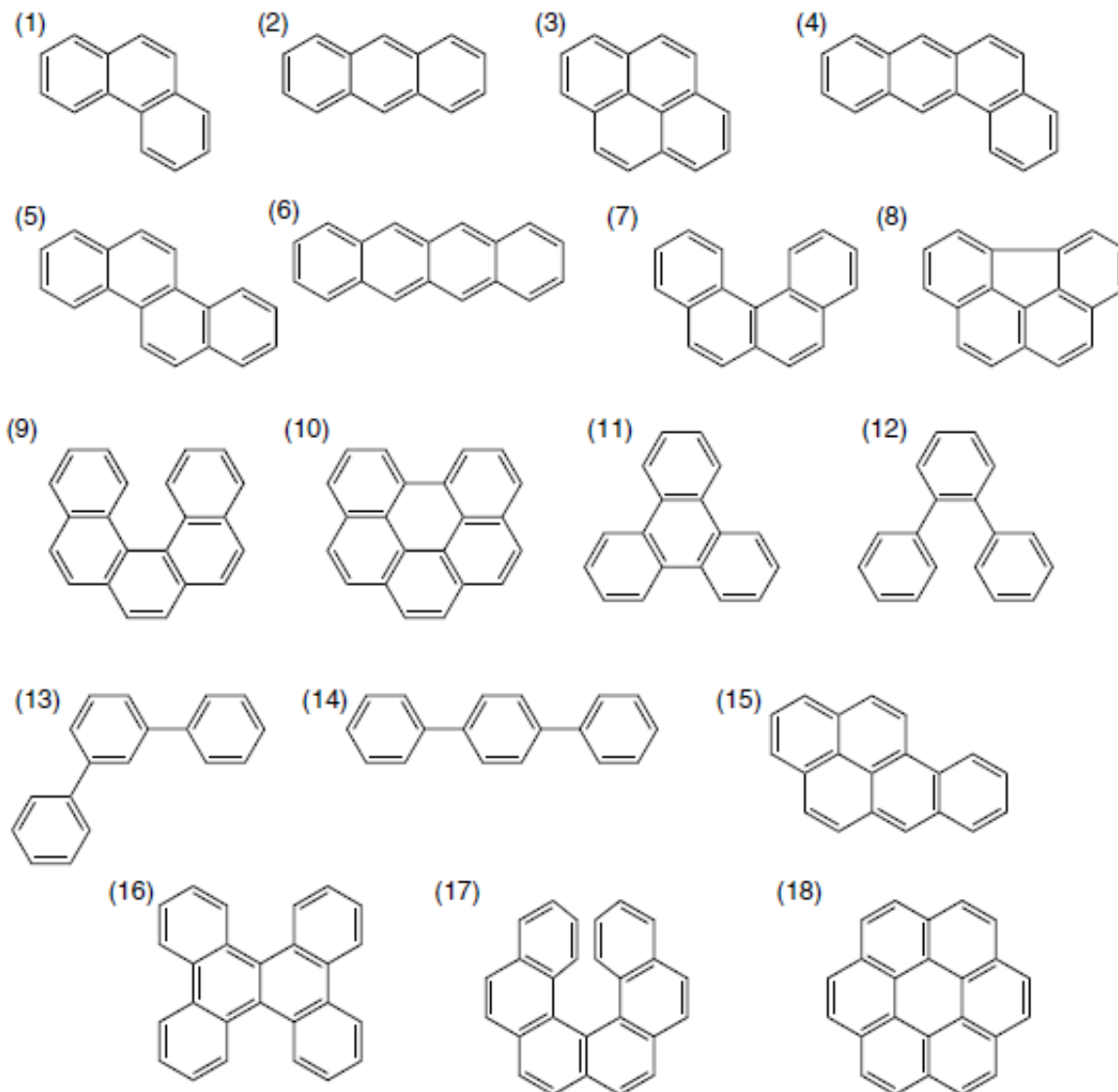
sendo os

C, H, O e N mais abundantes (CHON)

*A database of interstellar and circumstellar molecules is maintained at <http://www.cv.nrao.edu/~awootten/allmols.html> by A.L. Wootton with the current total at 129 (at time of going to press).

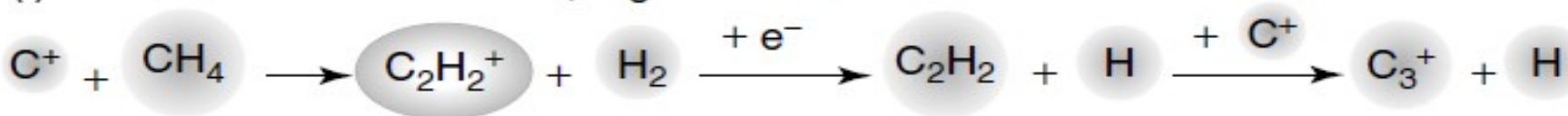
Hidrocarbonetos poliaromáticos
(*polyaromatic hydrocarbons* -
PAHs)

- (1) phenantreno
- (2) antraceno
- (3) pyreno,
- (4) benz[a]antraceno
- (5) criseno
- (6) naftaceno
- (7) benzo[c]fenantreno
- (8) benzo[g]-fluorantreno
- (9) dibenzo[c,g]fenantreno
- (10) benzo[g]perilene
- (11) trifenileno
- (12) o-terfenil
- (13) m-terfenil
- (14) p-terfenil
- (15) benzo[a]pireno
- (16) tetrabenzonaftaleno,
- (17) fenantro[3,4-c]fenanthreno
- (18) coronene



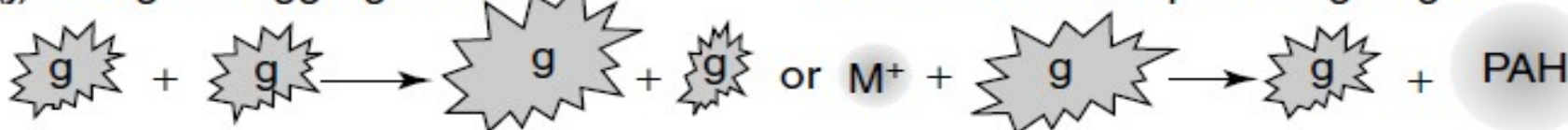
- i) reação tipo íon-molécula que leva a produção de polímeros orgânicos
- j) junção dos compostos concentrados aderidos nas partículas de poeira permitem reações diferentes da fase gasosa (podem ser assistidos fotoquimicamente) – E_a das reações neutrais fica menor

(i) carbon insertion reactions, e.g.



(j) dust grain aggregation

reverse reaction-splintering of grains



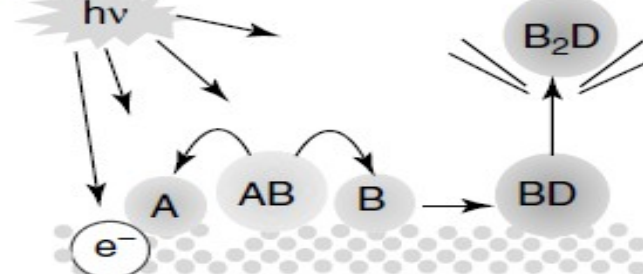
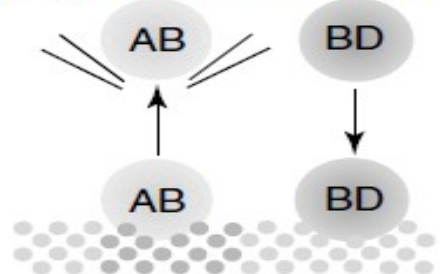
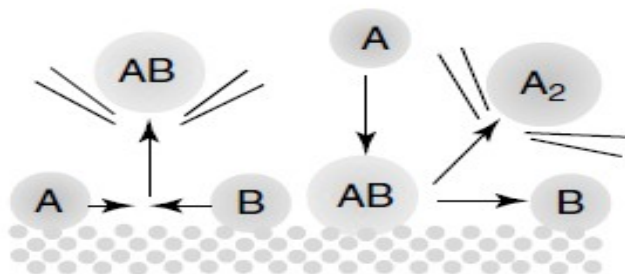
(h) surface reactions

(h1) heterogeneous catalysis

(h2) adsorption or

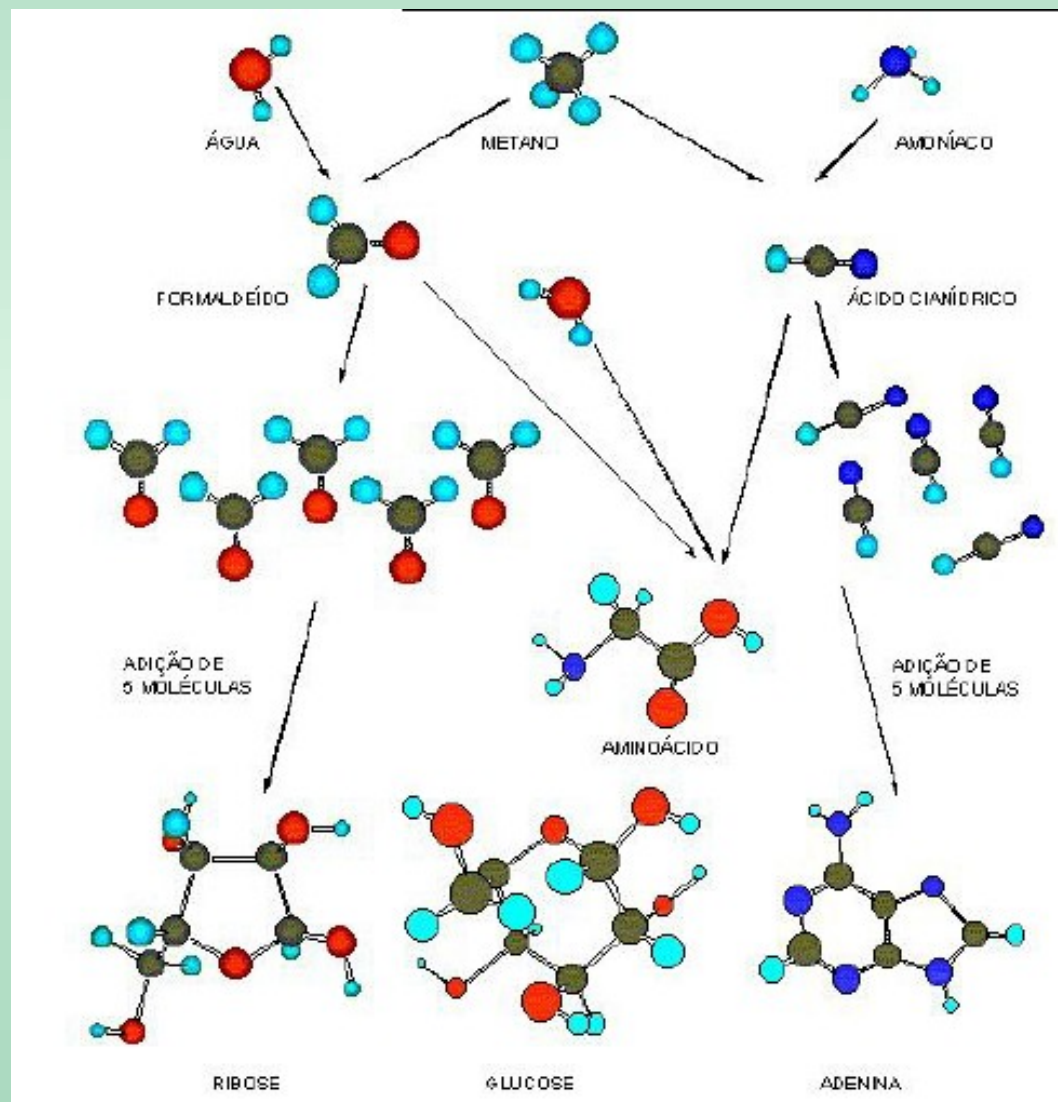
(h3) thermal desorption

(h4) UV/ion/electron impact



➤ Possíveis origens de bases e açúcares a partir de moléculas pequenas de:

- Água
- Metano
- Amonia

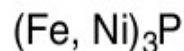


Recursos de fósforo

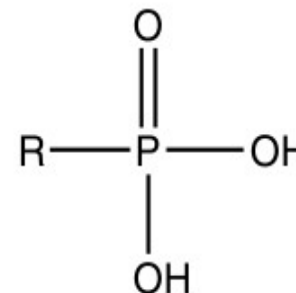
- Produto de solubilidade de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ é $10^{-52} \rightarrow$ praticamente insolúvel $\rightarrow$ inacessível à vida primordial
- Praticamente todo o fósforo vejo dos meteoritos como schreibersita ou ácido alquilfosfônico (muito raro até em meteoritos)



fluoroapatita



schreibersita



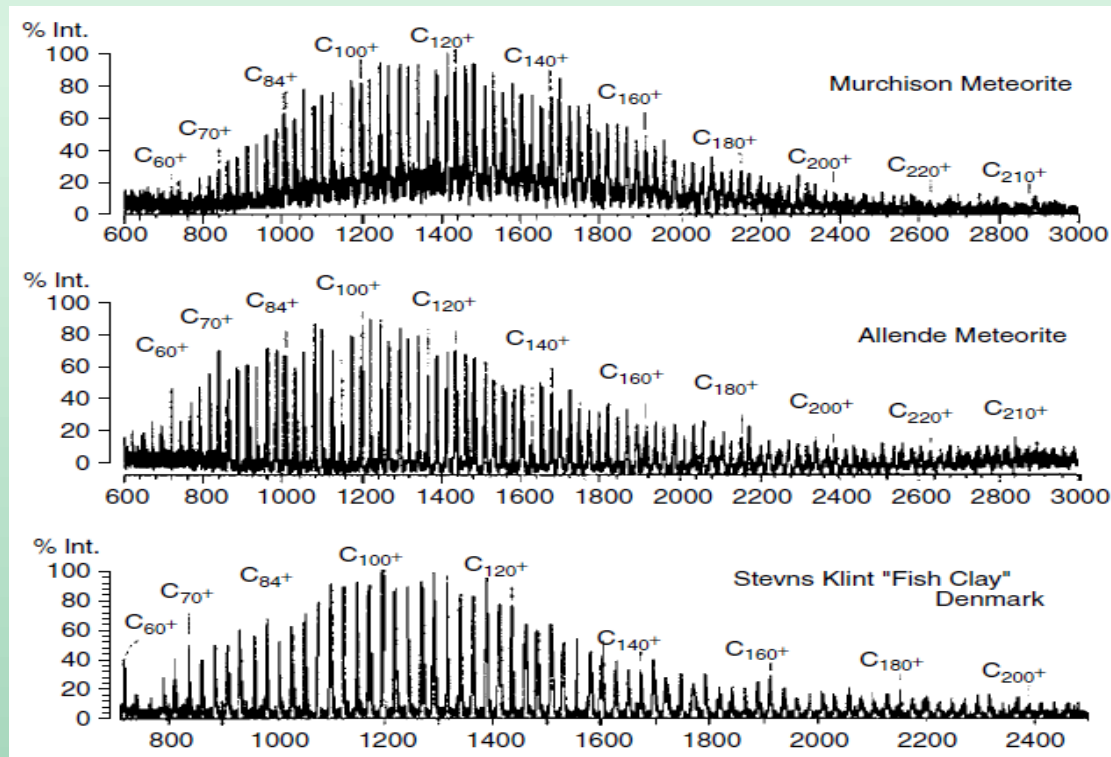
ácido alquilfosfônico

Recursos extraterrestres

- O Meteorito Murchison (Austrália 1969) é um condrito carbonáceo que contém cerca de 2% de carbono na forma de:
 - carbonatos inorgânicos
 - compostos orgânicos (aminoácidos)
 - hidrocarbonetos de C-15 a C-30
 - hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
 - cetonas
 - heterociclos com nitrogênio e enxofre
 - adenina, guanina, uracila, xantina e hipoxantina
- Extrações ácido-base dos condritos mostraram a formação de coacervados – aglomerados de moléculas proteicas envolvidas por água e que são de suma importância para a química pré-biótica

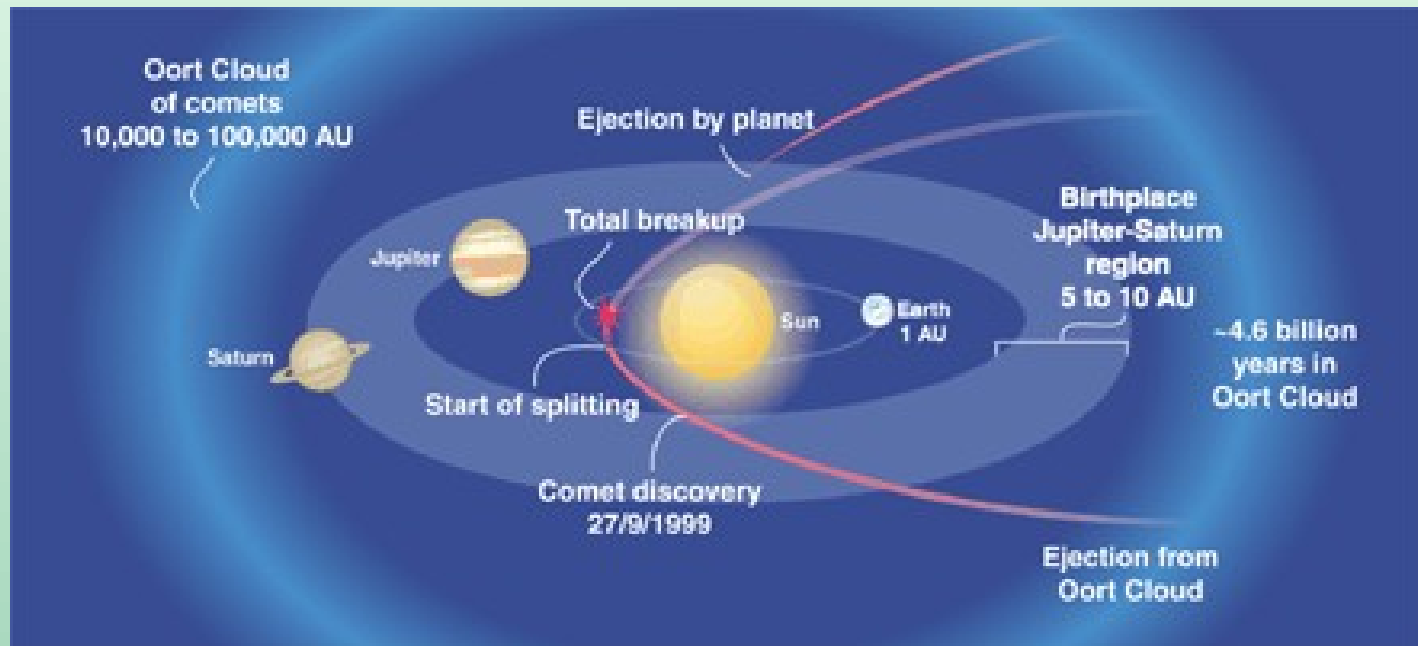


- Meteoritos são as fósseis do sistema solar
- Podem ser arrancados dos planetas sem ser completamente derretidos
 - Meteoritos Murchinson e ALH84001 tem espectro de compostos orgânicos tipo “estegossauro” bem parecido do espectro do depósito biogênico “argila de peixe” na Dinamarca



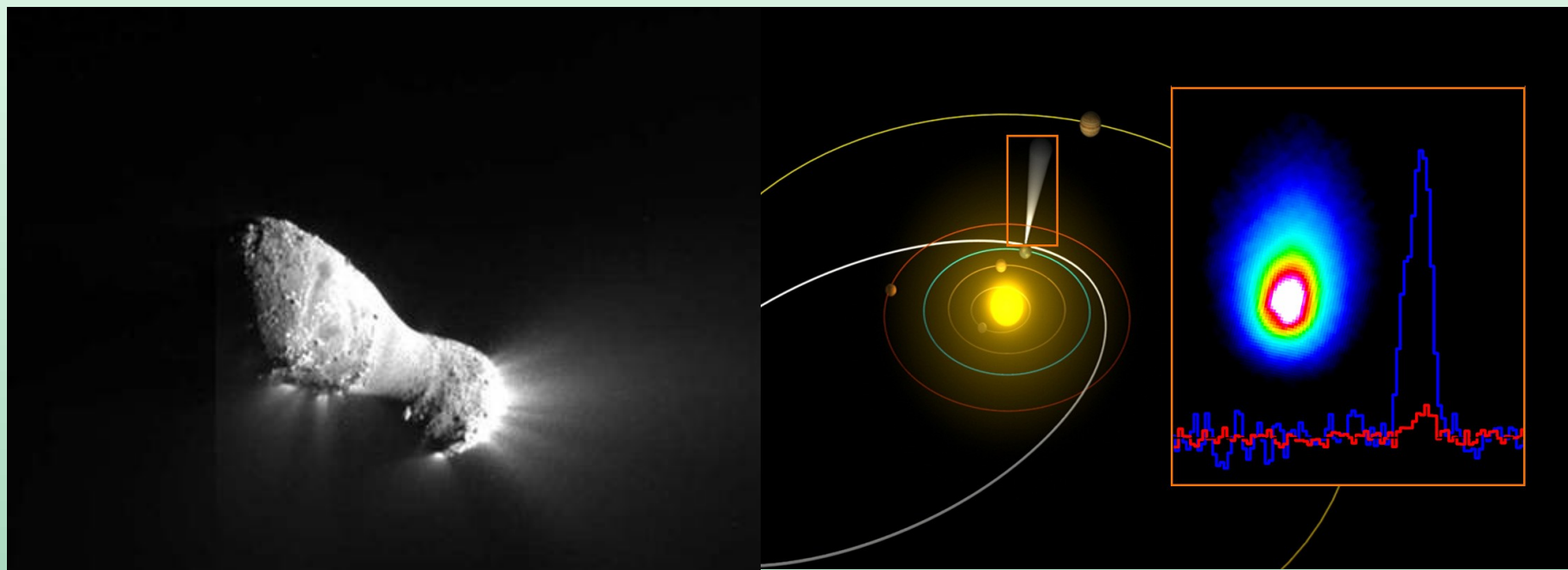
Recursos extraterrestres

- Água vem provavelmente de cometas (pelo menos metade dela)
- A cometa LINEAR nasceu provavelmente na região Júpiter-Saturno nos primeiros tempos do sistema solar (antes da formação da nuvem de Oort). Mais tarde foi ejetado para nuvem de Oort. Lá permaneceu até nosso tempo. Recentemente, este cometa foi lançado para sistema solar interno. Perto do Sol, ele se quebrou em pedaços
- Foi estimado (espectrometria) que este cometa tinha 3,3 bilhões de quilogramas de água (quantidade suficiente para um lago pequeno – 3,3 milhões m^3 ou um cubo com aresta de ~150 m)



Recursos extraterrestres

- Água vem provavelmente de cometas (pelo menos metade dela) ou de asteroides
- Cometa Hartley 2 tem praticamente mesma composição de água como os oceanos na Terra → mesma proporção de hidrogênio e deutério



ESA's Herschel infrared space observatory



Cometas – composição

Table 6.4 Molecular inventory for Hale-Bopp observed at $r_h \approx 1$ AU

Molecule	Method ^a	[X]/[H ₂ O]	Remark
H ₂ O	IR	100	
HDO	Radio	0.06	
CO	Radio IR UV	23	Extended ^b
CO ₂	IR	20 ^c	
CH ₄	IR	0.6	
C ₂ H ₂	IR	0.2	
C ₂ H ₆	IR	0.6	
CH ₃ OH	Radio IR	2.4	
H ₂ CO	Radio IR	1.1	Extended ^d
HCOOH	Radio	0.09	
CH ₃ CHO	Radio	0.02	
HCOOCH ₃	Radio	0.08	
NH ₃	Radio IR	0.7	
HCN	Radio IR	0.25	
DCN	Radio	6×10^{-4}	
HNCO	Radio	0.10	
HNC	Radio	0.04	Extended
CH ₃ CN	Radio	0.02	
HC ₃ N	Radio	0.02	
NH ₂ CHO	Radio	0.015	
H ₂ S	Radio	1.5	
OCS	Radio IR	0.4	Extended
SO	Radio	0.3	Extended ^e
CS	Radio UV	0.2	^e (from CS ₂)
SO ₂	Radio	0.2	
H ₂ CS	Radio	0.02	
NS	Radio	0.02	^e

Adapted with permission from Rockele-Morvan *et al.* (2002).



**Terra primitiva, Marte e luas geladas –
possíveis abrigos da vida**

Terra primitiva

NHZ3043-15 Nocões da Astronomia e Cosmologia

Astrobiologia



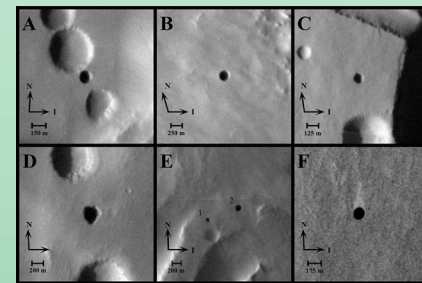
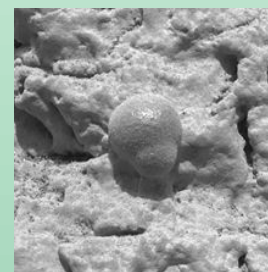
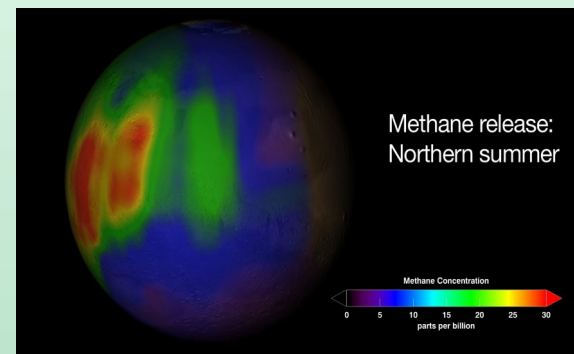
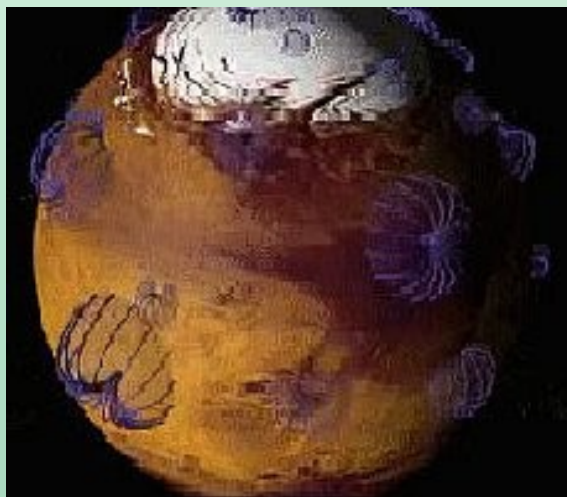
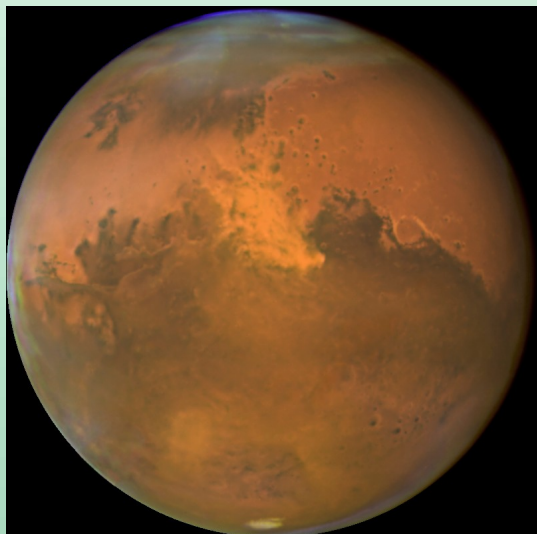
Formação da Terra

- 4,54 Ga: Material acreto aquece até derreter. Metais siderófilos de densidade alta (Au, Co, Fe, Ir, Mn, Mo, Ni, Os, Pd, Pt, Re, Rh, Ru) afundam e formam o núcleo da Terra em processo de “catástrofe de ferro”, junto com o manto primitivo. A primeira atmosfera (H,He) é retirada pelo vento solar forte do Sol jovem. Ficam nuvens de sílica. Quando a Terra atinge ~40% do seu diâmetro atual, atmosfera começa ter água.
- 4,52 Ga: Theia colide com a proto-Terra, derrete-a novamente. Núcleo da Theia afunda para o núcleo da Terra e do material restante se forma a Lua.
- 4,4 Ga: **Primeira água líquida** (presença dela em cristais de Zr) – resfriamento deveria ser rápido para reter a água líquida (temperatura <470 K ou <200°C).
- 4,3-4,2 Ga: **formam-se oceanos ricos em ferro II (verdes). Nova atmosfera se forma com CO₂, N₂, água e gases nobres**.
- 4,1-3,8 Ga (final do Hadeano): Bombardeamento maciço tardio por meteoritos enriqueceu a atmosfera da Terra com água, amônia, metano, CO₂ e N₂. **A atmosfera tem pressões até 1000 atm por causa do CO₂**.
- 4,0 Ga: **Primeiros continentes**: minerais ígneos reagem com água formando espessos depósitos que afundam no manto onde são derretidos e transformam-se em granito que é mais leve do basalto e começa formar os continentes.
- 3,5 Ga: **Primeiro fóssil de organismo vivo (bactérias)** indica que a vida começou ainda mais cedo, talvez até em 3,8 Ga.

Marte



- Vales de rios. Parte de Reull Vallis, leste da Bacia Hellas
- Concreções de hematita apontam para presença da água líquida no passado do Marte
- Cavernas com profundidade de centenas de metros podem ter interior protegido dos micrometeoritos, UV, raios cósmicos
- Marte libera metano (~270 toneladas/ano) das regiões específicas (30° N, 260° W e 0°, 310° W) – produção metanogênica?
- Tempestades de areia: tendem ocorrer quando o Marte é mais próximo ao Sol
- Campo magnético local – possível proteção do vento solar



➤ Luas

- Europa (Júpiter)
- Encéladu (Saturno)
- Titã (Saturno)
- Tritão (Netuno)
- Calisto (Júpiter)
- Ganimedes (Júpiter)
- Titania (Úrano)
- Oberon (Úrano)
- Rhea (Saturno)

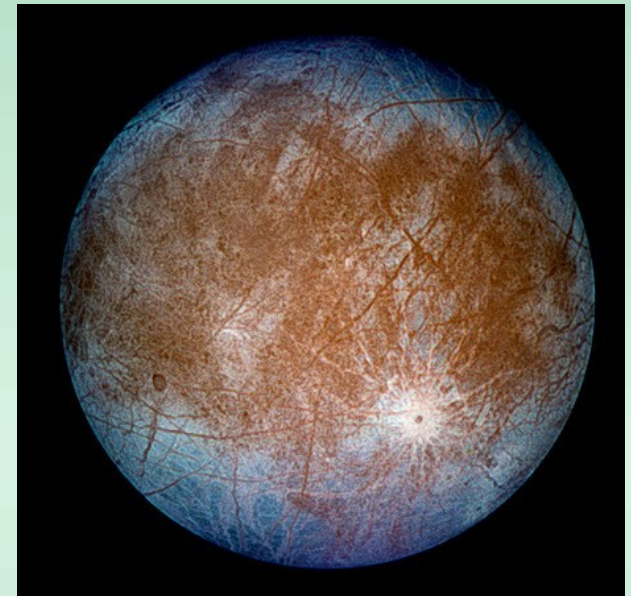
➤ Planetas anões

- Ceres
- Plutão
- Sedna
- Eris



Europa

Nome alternativo	Júpiter II
Período orbital	3,55 dias (acoplamento de maré)
Raio médio	1569±2 km 0,245 Terra
Massa	4,80×10 ²² kg (0.008 Terras)
Densidade média	3,01 g/cm ³ (Terra: 5,515 g/cm ³)
Gravidade na superfície equatorial	1,314 m/s ² (0,134 x g)
Temperatura	102 K (-171°C)
Pressão atmosférica	0,01 µPa (10 ⁻¹² atm)
Composição atmosférica	95% O ₂ (radiolise da água)



Luas geladas

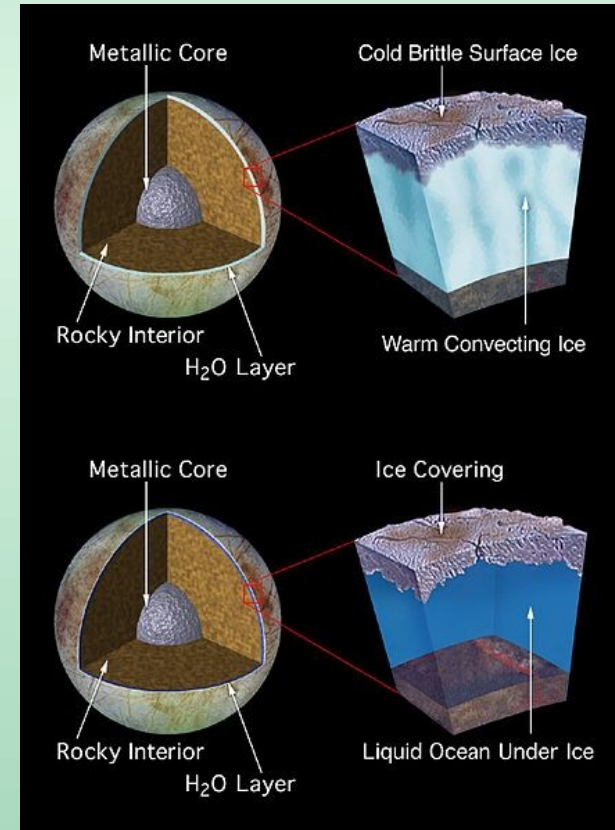
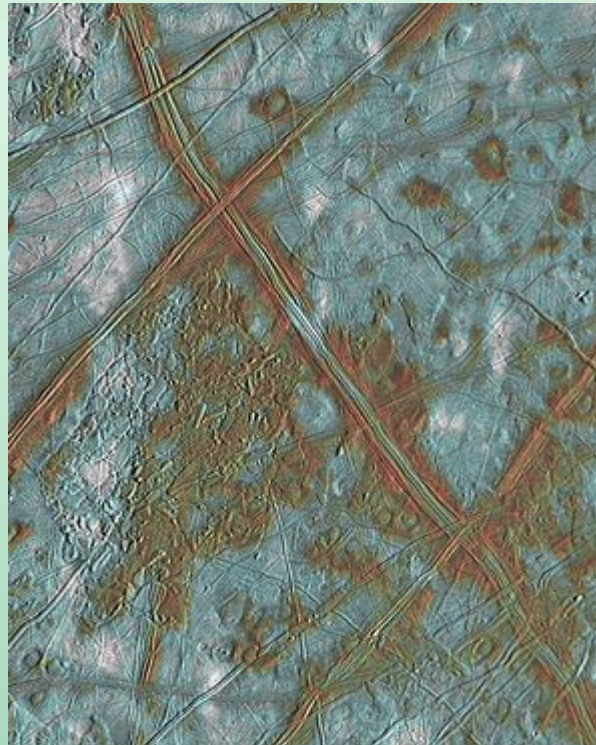
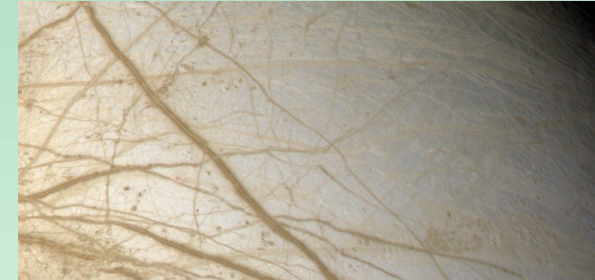
Europa:

➤ Composição (possível)

- Núcleo metálico
- Manto de silicatos
- Camada da água líquida / gelo mole (100 km – 2x mais água que Terra)
- Camada de gelo (10-16 km)

➤ Superfície

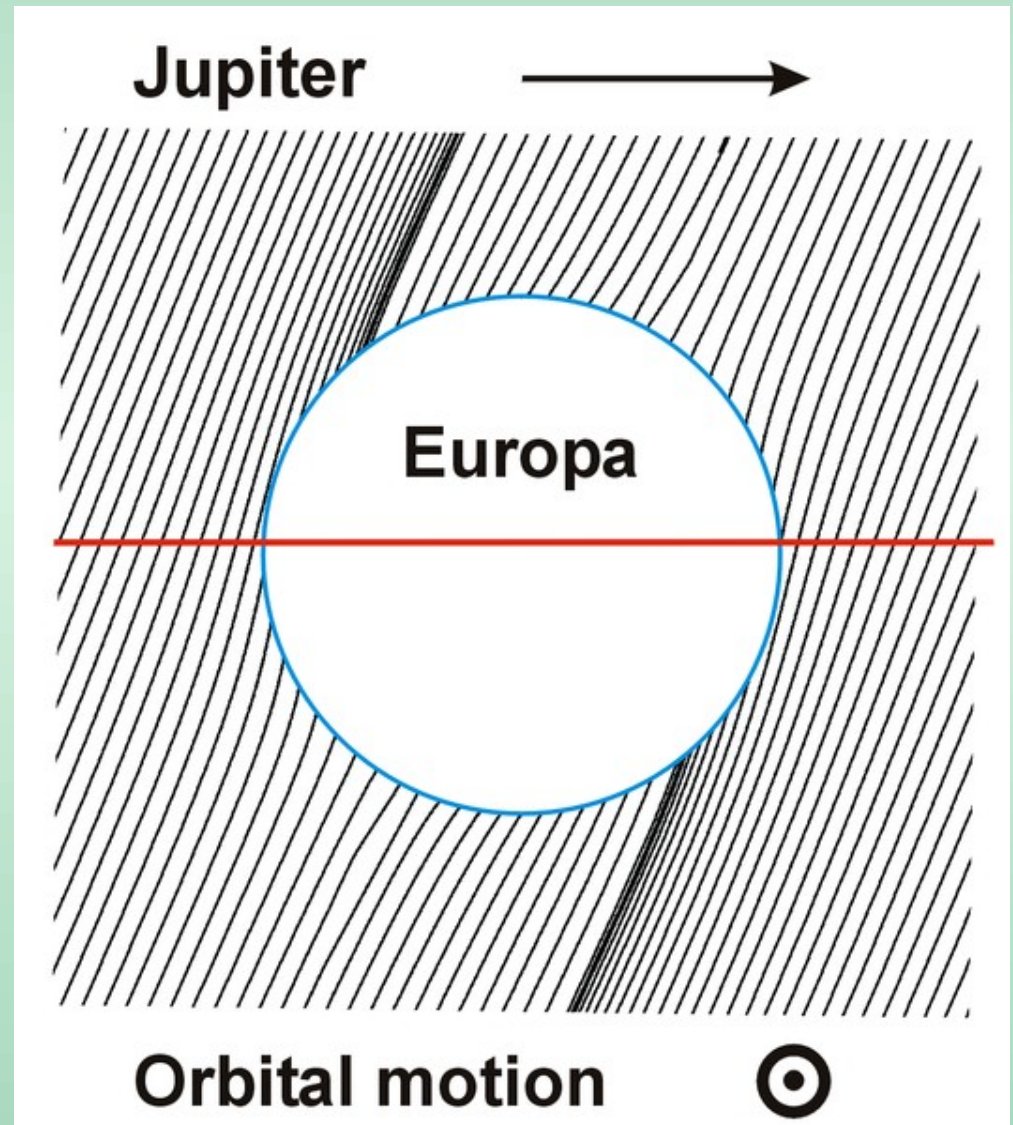
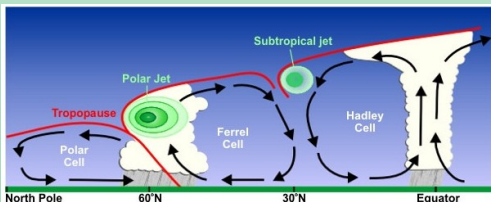
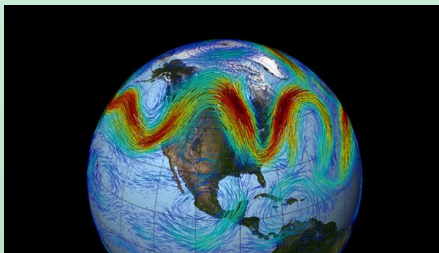
- linhas
- Lenticulae
- Crateras (Pwyll na figura)
- “caos”



Luas geladas

Europa:

- Campo magnético induzido
 - Presença de eletrólito – água salgada
- Inclinação axial ($0,1^\circ$) produz ondas de Rossby que podem conter até $7,3 \times 10^{17}$ J da energia cinética, cuja dissipação em calor poderia ser a principal fonte de aquecimento dos oceanos da Europa.

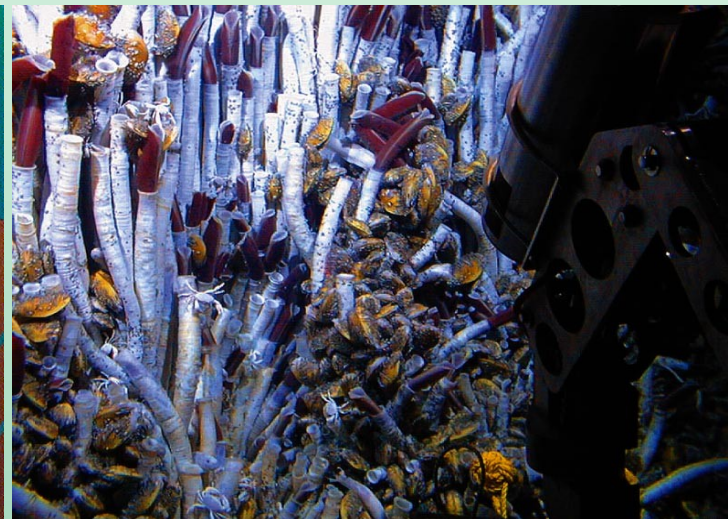
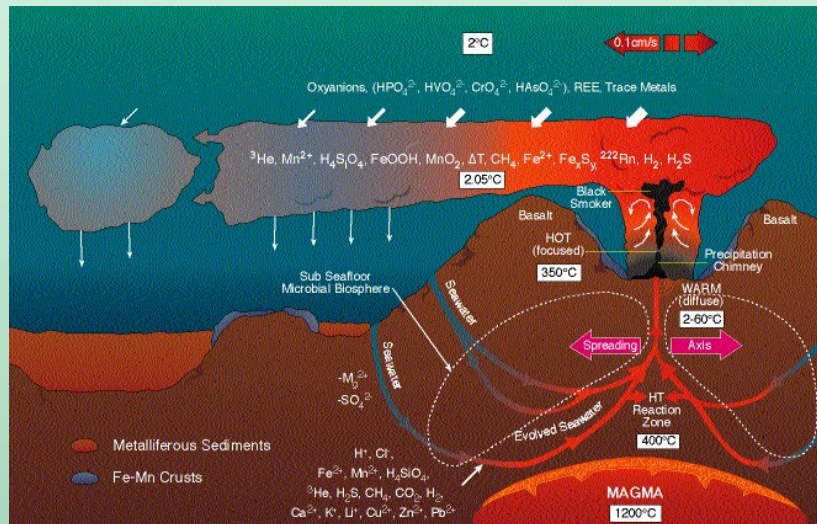


Luas geladas

Europa:

- Possibilidade da vida:
 - Fontes hidrotermais – quimiossíntese:

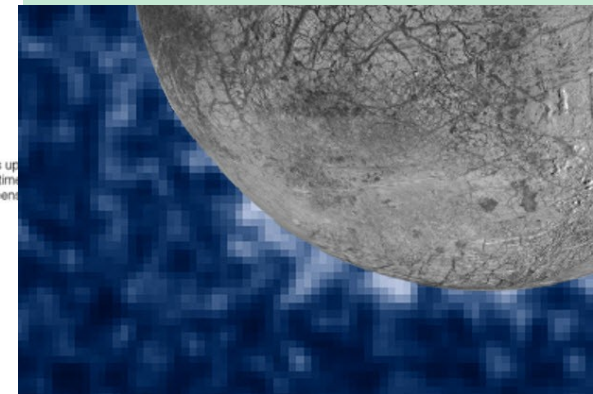
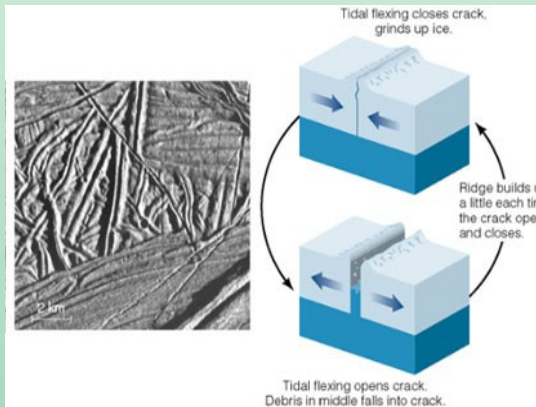
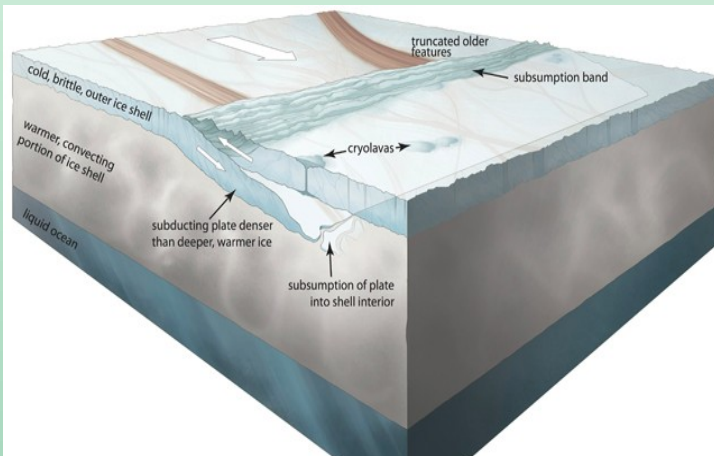
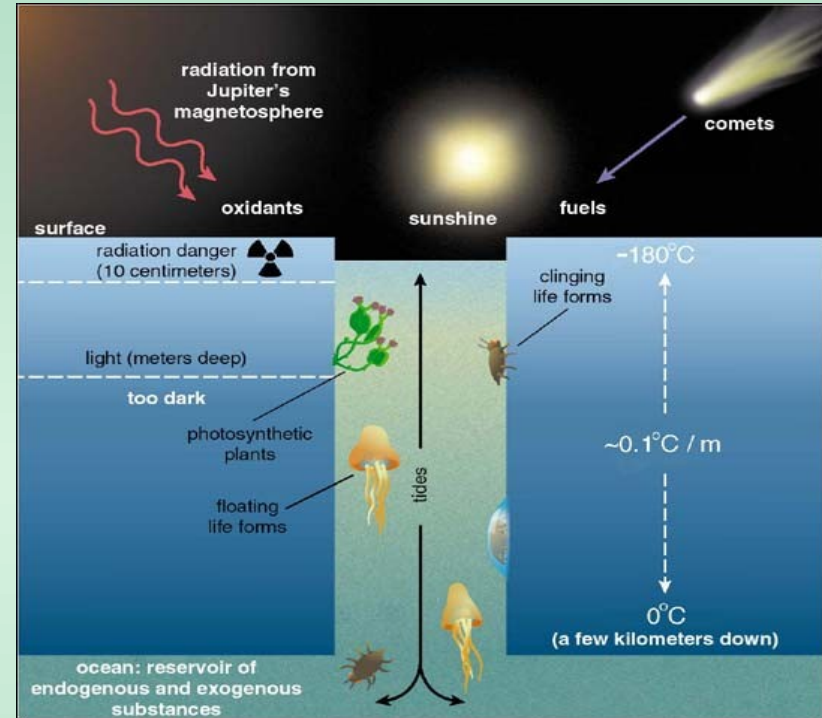
$$\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + 4\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$$
 - Richard Greenberg (2009) impacto de raios cósmicos produz O_2 que pode ser absorvido pelo oceano através das rachaduras. Durante alguns Ma, a $[\text{O}_2]$ poderia ser maior que nos oceanos da Terra – Europa poderia ser habitada até por “peixes”



Luas geladas

➤ Europa – rachaduras:

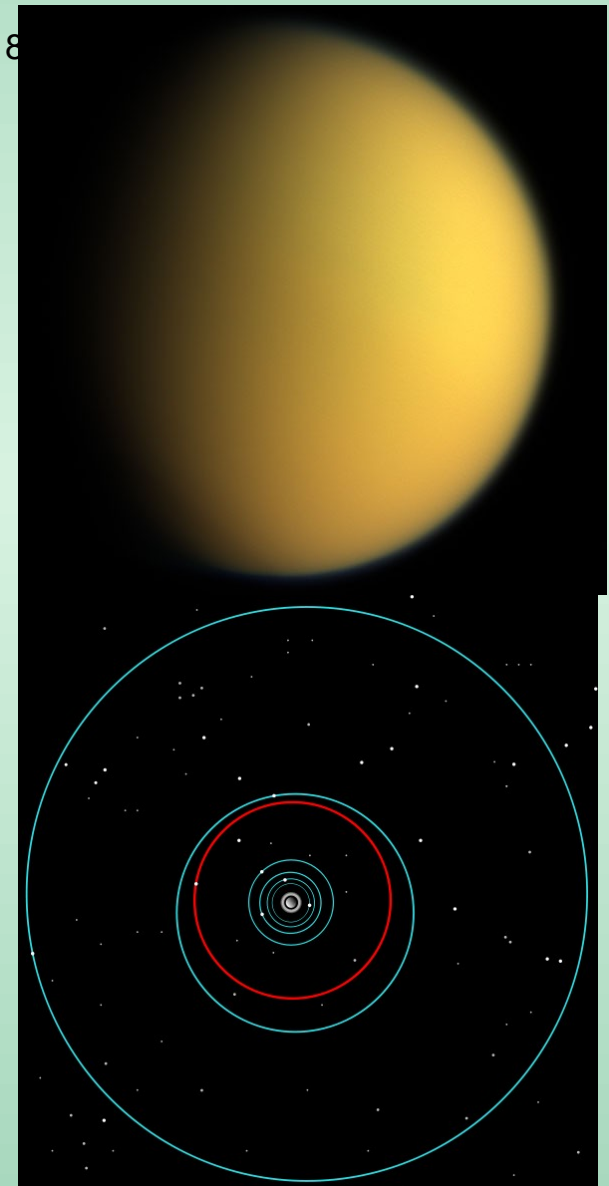
- As linhas são fendas
- Ondas de Rossby e/ou forças de Coriolis podem abrir/fechar as rachaduras periodicamente
- Água pode subir/descer
- Possíveis geisers de água
- Organismos podem capturar energia do sol/nutrientes
- Existe uma “tectônica de placas” de gelo - Foram observadas erupções de criovulcões perto de rachaduras → parecido com a subducção de placas terrestres com vulcões



HR 8

Titã

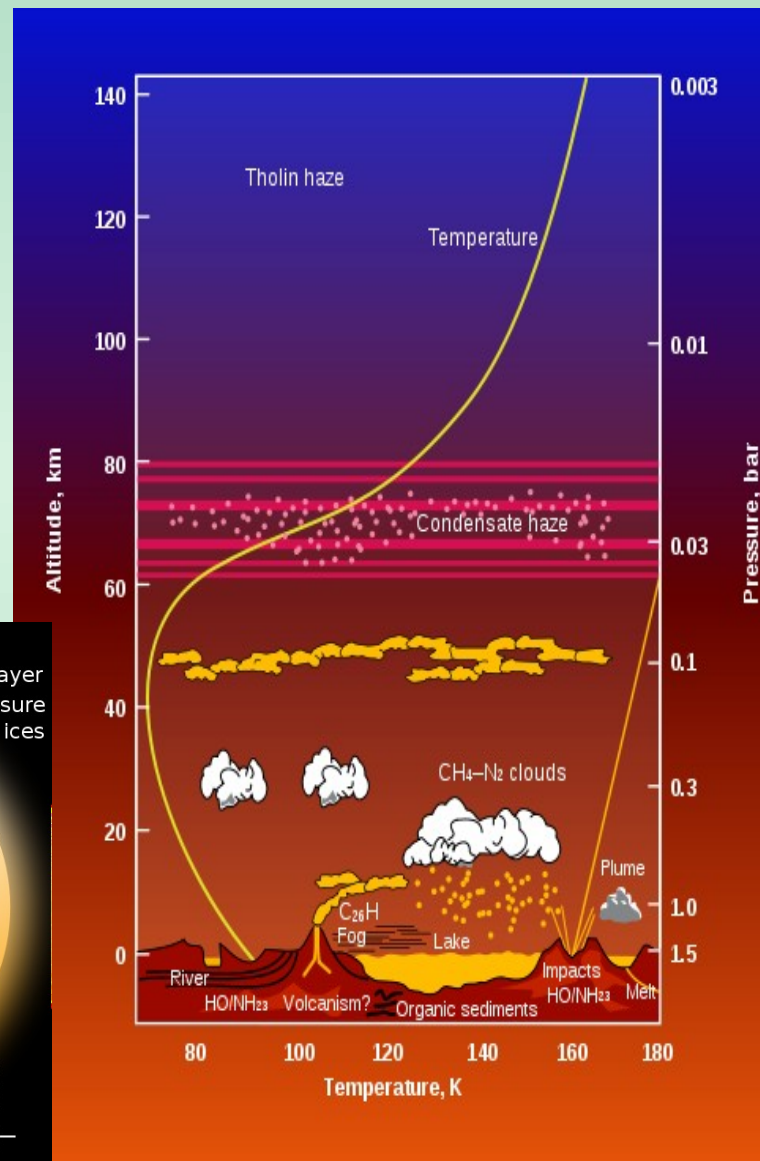
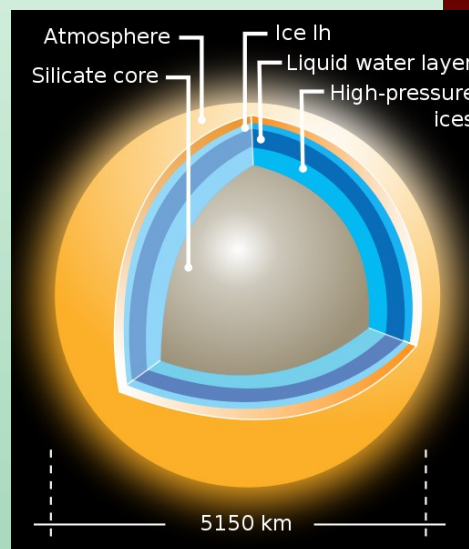
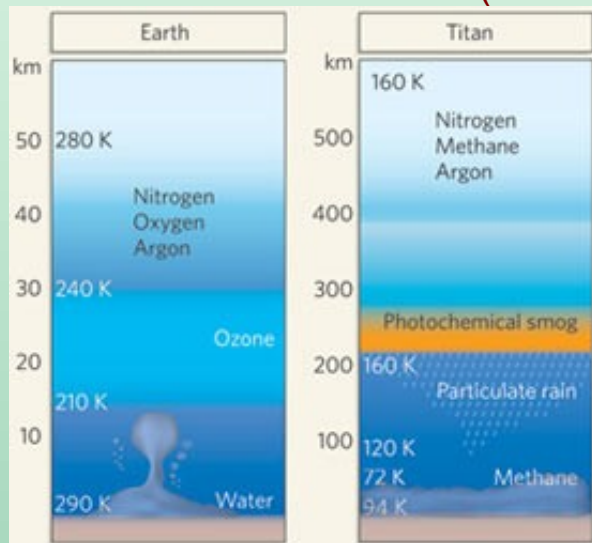
Nome alternativo	Saturno VI
Período orbital	15,945 dias (acoplamento de maré)
Raio médio	2.576±2 km 0,404 Terra
Massa	1,3452±0,0002×10 ²³ kg (0.0225 Terras)
Densidade média	1,8798±0,0044 g/cm ³ (Terra: 5,515 g/cm ³)
Gravidade na superfície equatorial	1,352 m/s ² (0,14 x g)
Temperatura	93,7 K
Pressão atmosférica	146,7 kPa (1,45 atm)
Composição atmosférica	95% N ₂ , 4.9% CH ₄



Luas geladas

Titã:

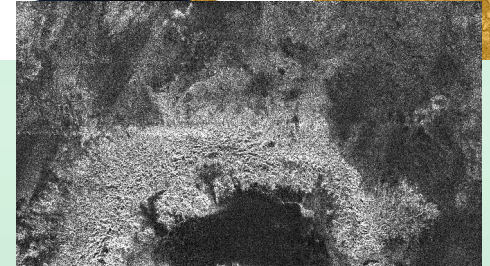
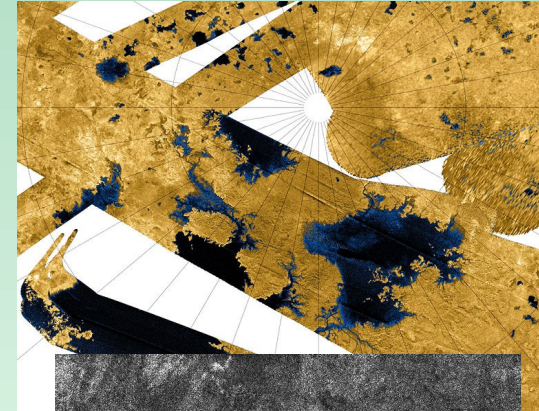
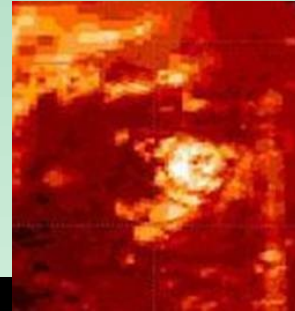
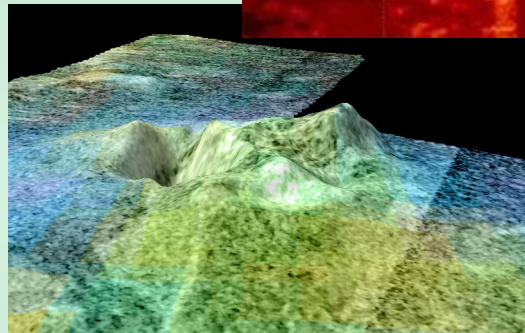
- Composição (possível – ELF radio - Cassini)
 - 3400 km – núcleo de silicatos
 - Camada de gelo II/III
 - Camada da água líquida com NH_3 (“magma”)
 - Camada de gelo I_h
- Superfície
 - lagos/mares
 - dunas
- Atmosfera
 - Ciclo de metano(/etano)



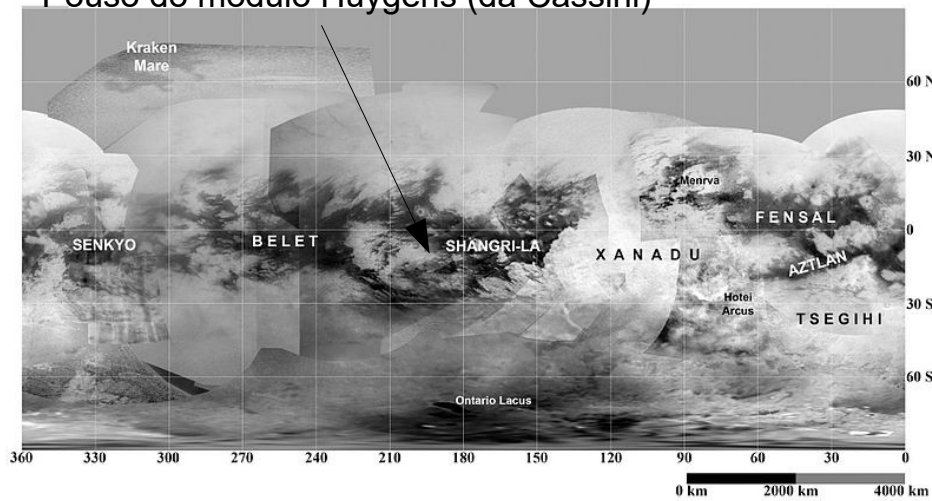
Titã:

➤ Superfície

- lagos/mares
- Dunas
- Crateras
- Crio vulções



Pouso do módulo Huygens (da Cassini)

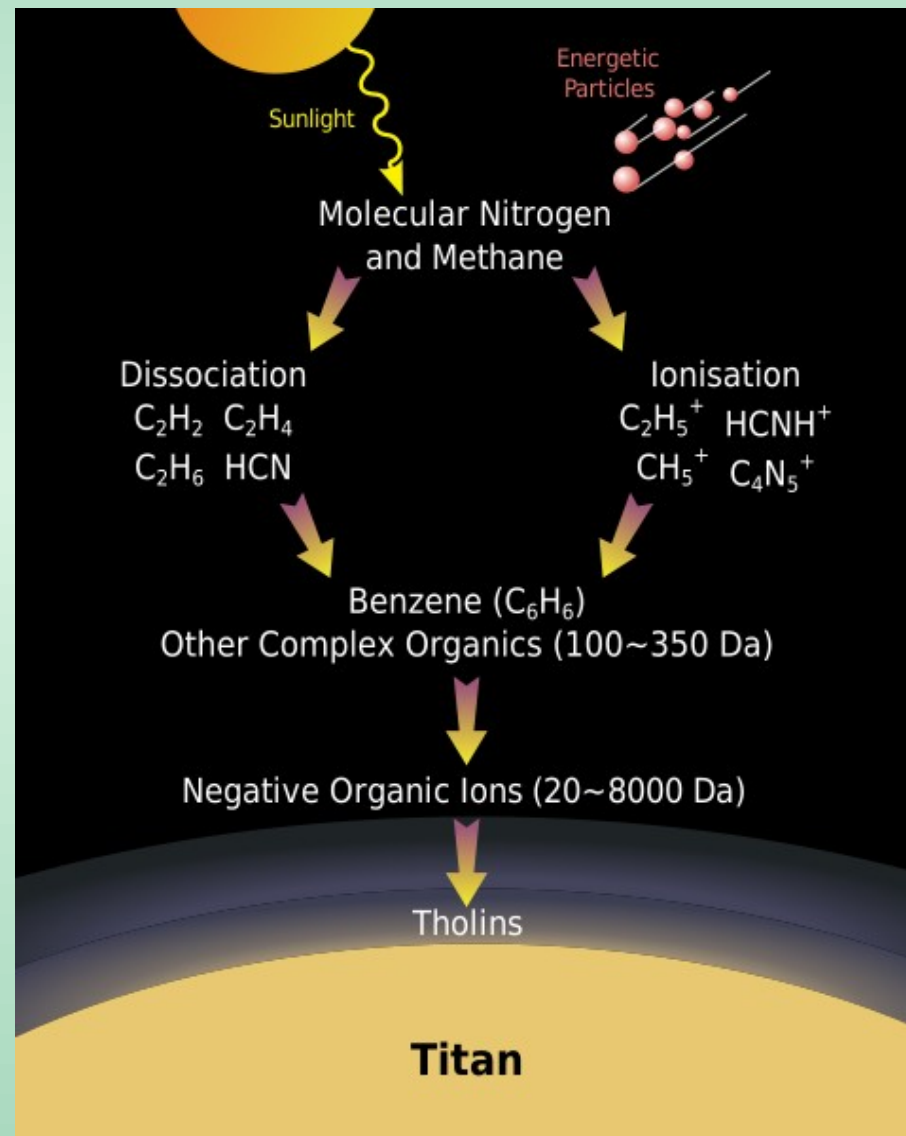


Luas geladas

Titã:

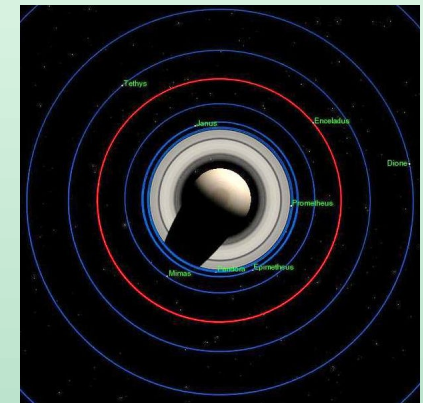
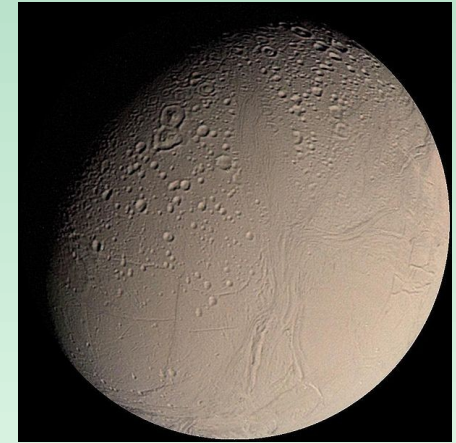
➤ Possibilidade da vida:

- Superfície:
 - Não tem água líquida (a 94 K nem sublima)
 - Existem lagos e rios de metano/etano
 - Atmosfera densa, contém compostos orgânicos – tolinas
 - Tolinas
 - protegem a superfície de UV
 - Servem como nutriente para bactérias heterotróficas
 - Atmosfera contém pouquinho de acetileno e perto da superfície tem pouco de hidrogênio comparando com camadas altas – indicie para vida metanogênica
- “Oceano” subterrâneo
 - Mistura eutética água/amônia → 175 K (30% amônia → pH ~12)



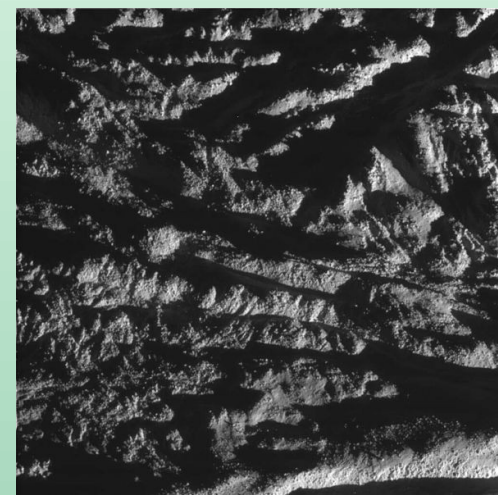
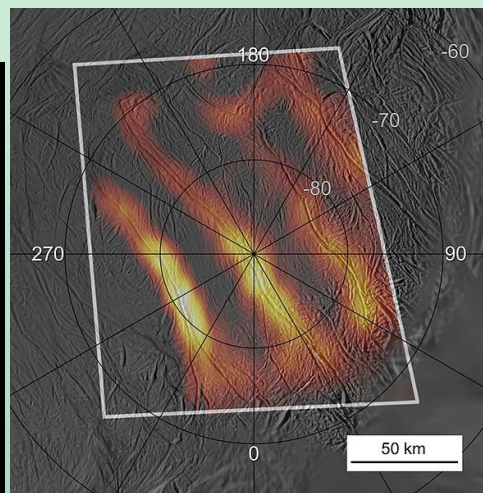
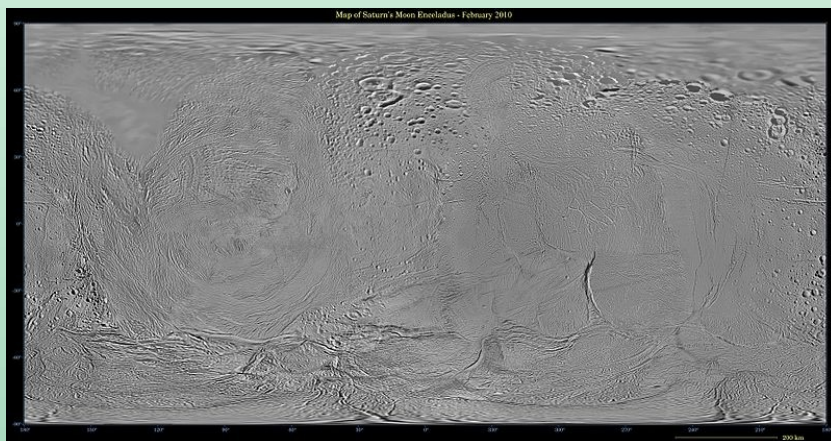
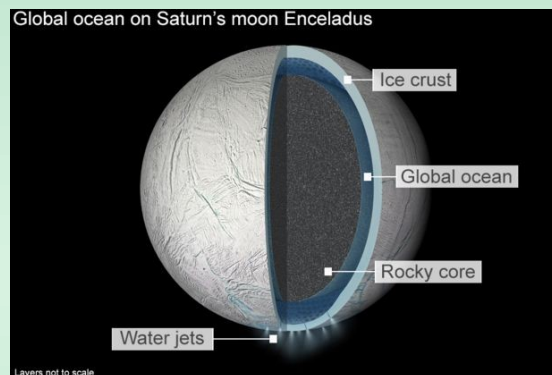
Encélado

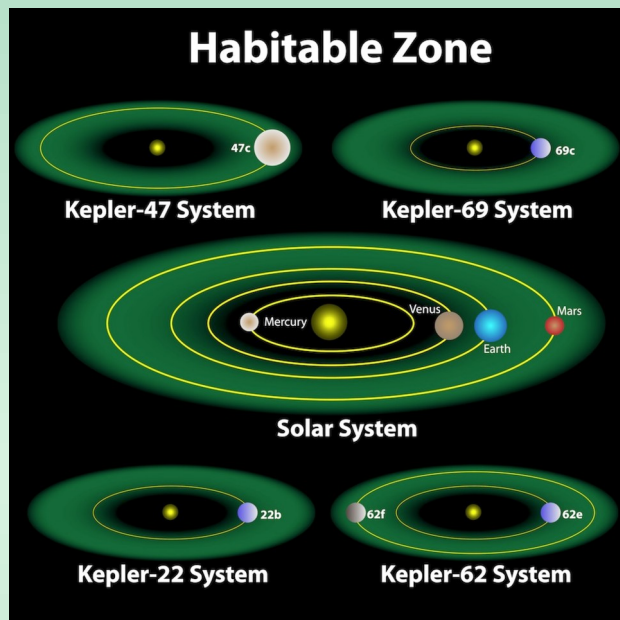
Nome alternativo	Saturno II
Período orbital	1,37 dias (acoplamento de maré)
Raio médio	251,2±0,2 km 0,0395 Terra
Massa	1,080±0,001×10 ²⁰ kg (1,8×10 ⁻⁵ Terras)
Densidade média	1,609±0,005 g/cm ³ (Terra: 5,515 g/cm ³)
Gravidade na superfície equatorial	0,114 m/s ² (0,0113 x g)
Temperatura	75 K
Pressão atmosférica	traços (Exceto região sul que varia muito)
Composição atmosférica	91% H ₂ O (g), 4% N ₂ , 3.2% CO ₂ , 1.7% metano



Encélado:

- Composição (possível – ELF radio - Cassini)
 - Núcleo de silicatos
 - Manto de gelo
 - Possível oceano
- Superfície
 - Crateras (terreno velho)
 - Planícies lisas (terreno novo)
 - “rugos” linhas longas
 - Terreno montanhoso no polo do sul
- Atmosfera
 - Geisers da água





Zonas de habitabilidade e condicionamentos cósmicos da vida

Definição:

➤ Planetária:

- Faixa de distâncias de planeta da estrela onde $0^{\circ}\text{C} < T_e < 100^{\circ}\text{C}$

$$d = \sqrt{\frac{1}{I_o}}$$

- Presença de fontes de energia:
 - Metabolismo quimiolitotrófico: redox pares ($\text{Fe}^{2+}/\text{NO}_3^-$)
 - Metabolismo heterotrófico: compostos orgânicos
- Acoplamento de maré?

➤ Galáctica:

- Certa distância das supernovas
 - Perto – metalicidade alta e perigo de radiação
 - Longe – metalicidade baixa
- Velocidade da formação estelar
- Tempo suficiente para evolução

Zona de habitabilidade planetária

Balanco da energia:

Emissão = absorção

$$4\pi R_p^2 \sigma T_e^4 = \pi R_p^2 (1 - A) F_p$$

Temperatura efetiva

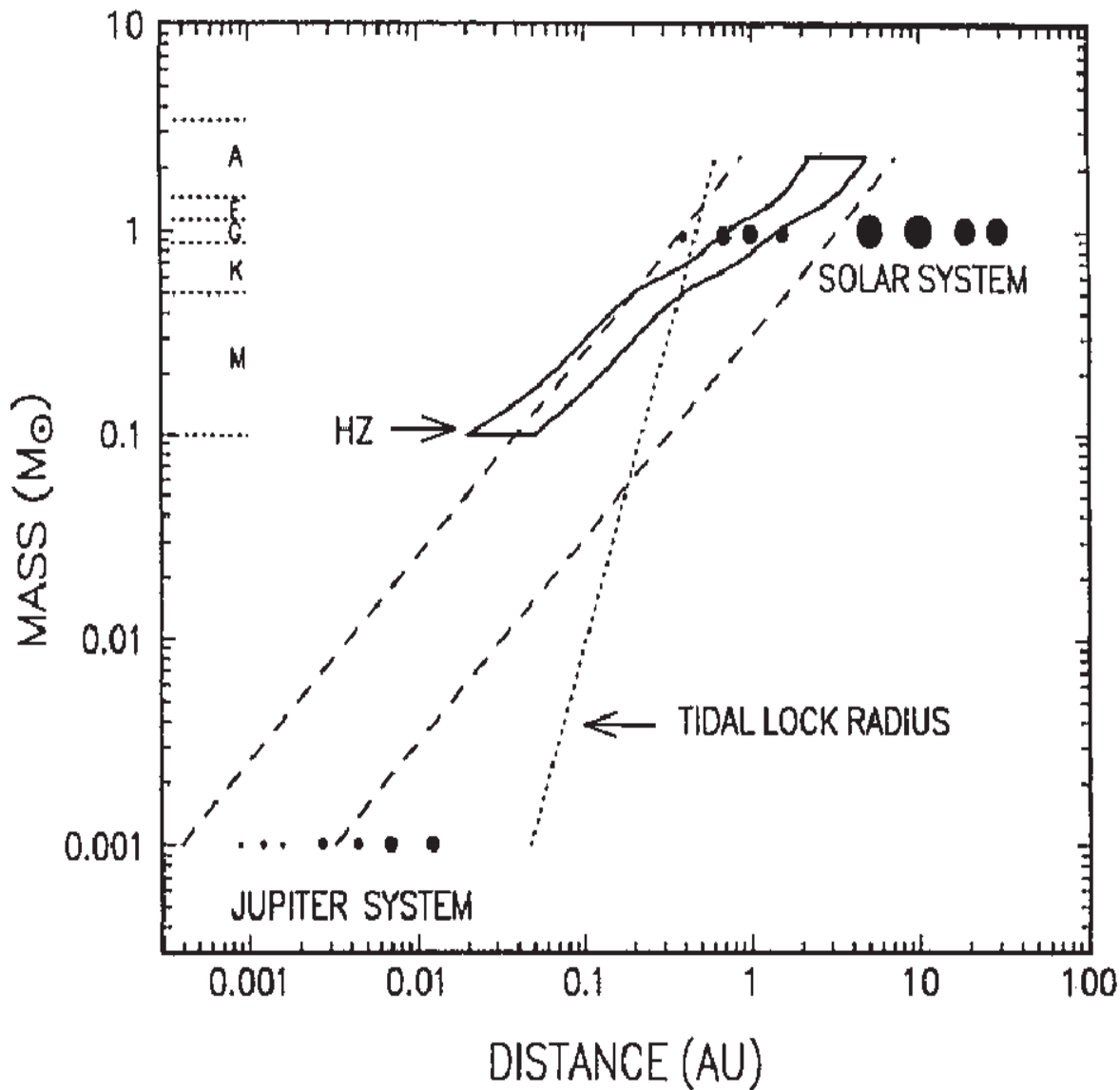
$$T_e = \left\{ \frac{(1 - A) F_p}{4\sigma} \right\}^{\frac{1}{4}}$$

σ = constante de Stefan-Boltzmann
 $\rightarrow 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

F_p = fluxo solar na distância do planeta (- $F/4\pi d^2$)

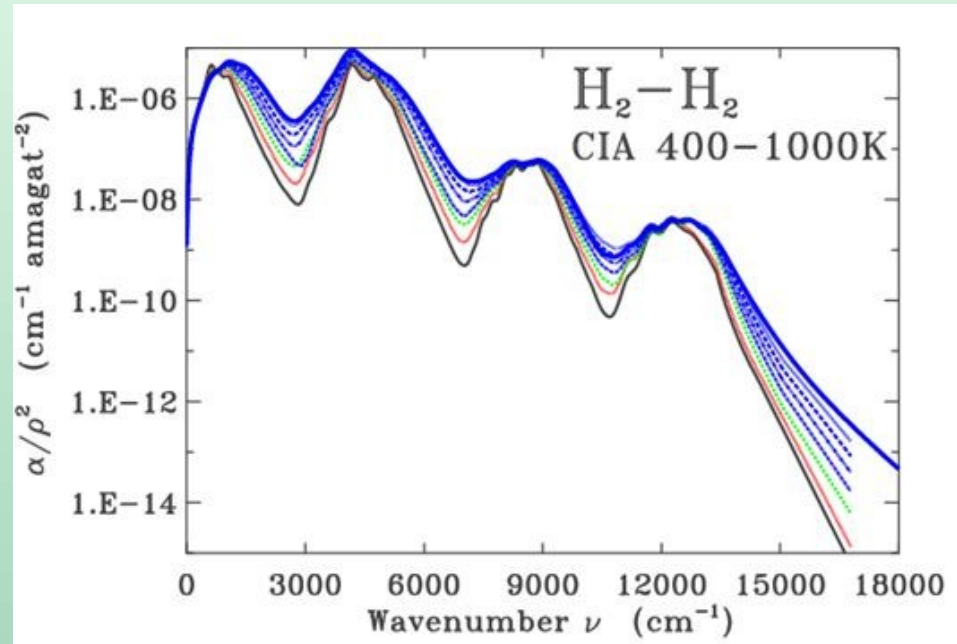
R_p = raio do planeta

A = albedo do planeta



Efeito estufa em atmosferas ricas de hidrogênio

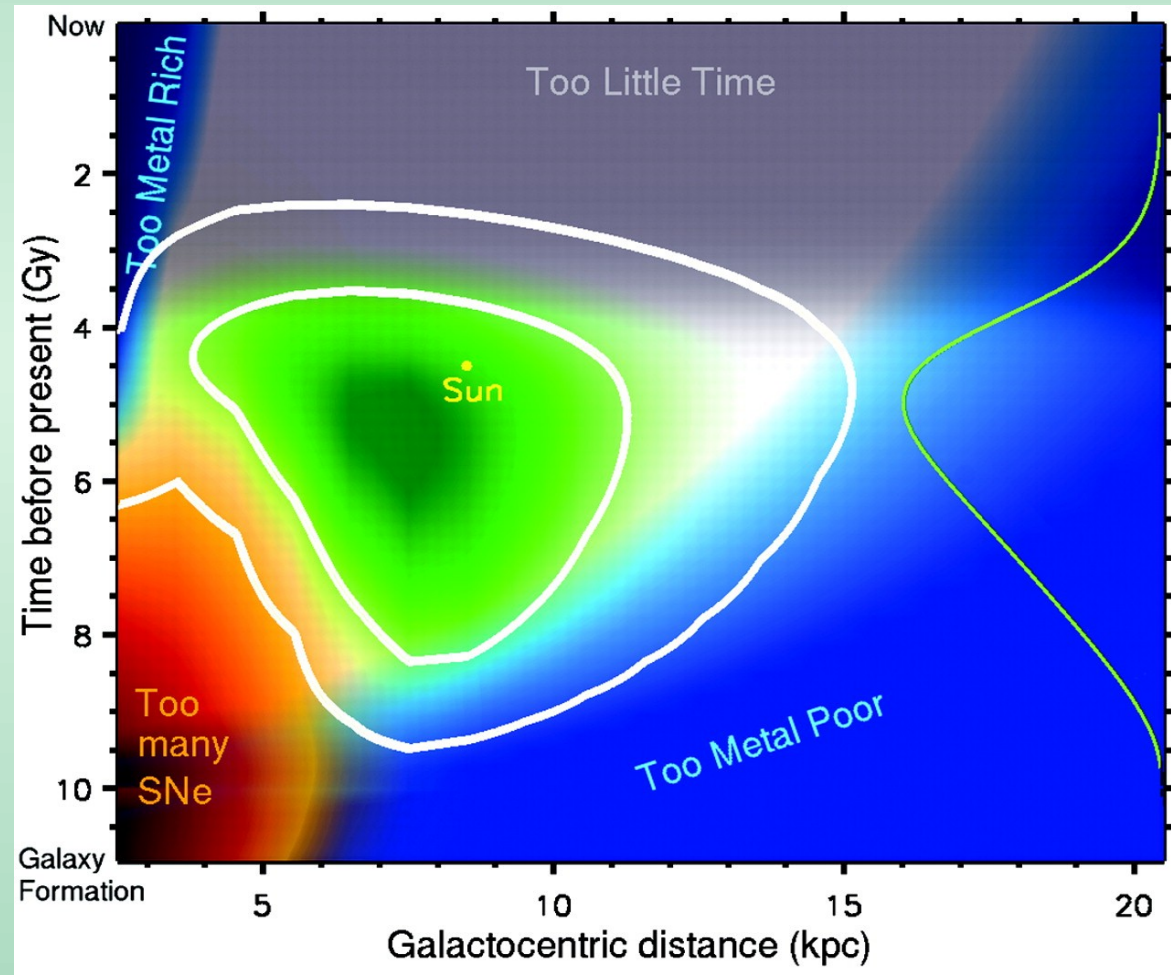
- H_2 não tem um momento dipolo $\rightarrow$ assim, não existem espectros rotacional ou rotavibracional
- Uma colisão de H_2 com outra H_2 ou He ou H induz momento dipolo momentâneo que pode absorver a luz infravermelho com comprimentos de onda:
 - Fundamental – 4162 cm^{-2} ($2,4 \text{ }\mu\text{m}$)
 - 1ª harmônica – 8089 cm^{-2} ($1,2 \text{ }\mu\text{m}$)
 - 2ª harmônica – 11786 cm^{-2} ($0,2 \text{ }\mu\text{m}$)
- As colisões são rápidas – 10^{-13} s
- As “linhas” espectrais são até 10^5 vezes mais largas de que as linhas “ordinárias”
- A absorção de IR induzida por colisão resulta em um efeito estufa enorme
- Os planetas com $\geq 3M_{\oplus}$ conseguem reter o H_2
- Estes planetas podem ter água líquida ainda na órbita de 10 AU (órbita do Saturno) do astro tipo G (Sol)!



$$P_{\text{GHZ}} = \text{SFR} \times P_{\text{metals}} \times P_{\text{evol}} \times P_{\text{SN}}$$

Zona habitável galáctica no disco da Via Láctea, baseada na velocidade de formação de estrelas (SFR), metalicidade (azul), tempo suficiente para evolução (cinza) e frequência das explosões de supernovas (vermelho).

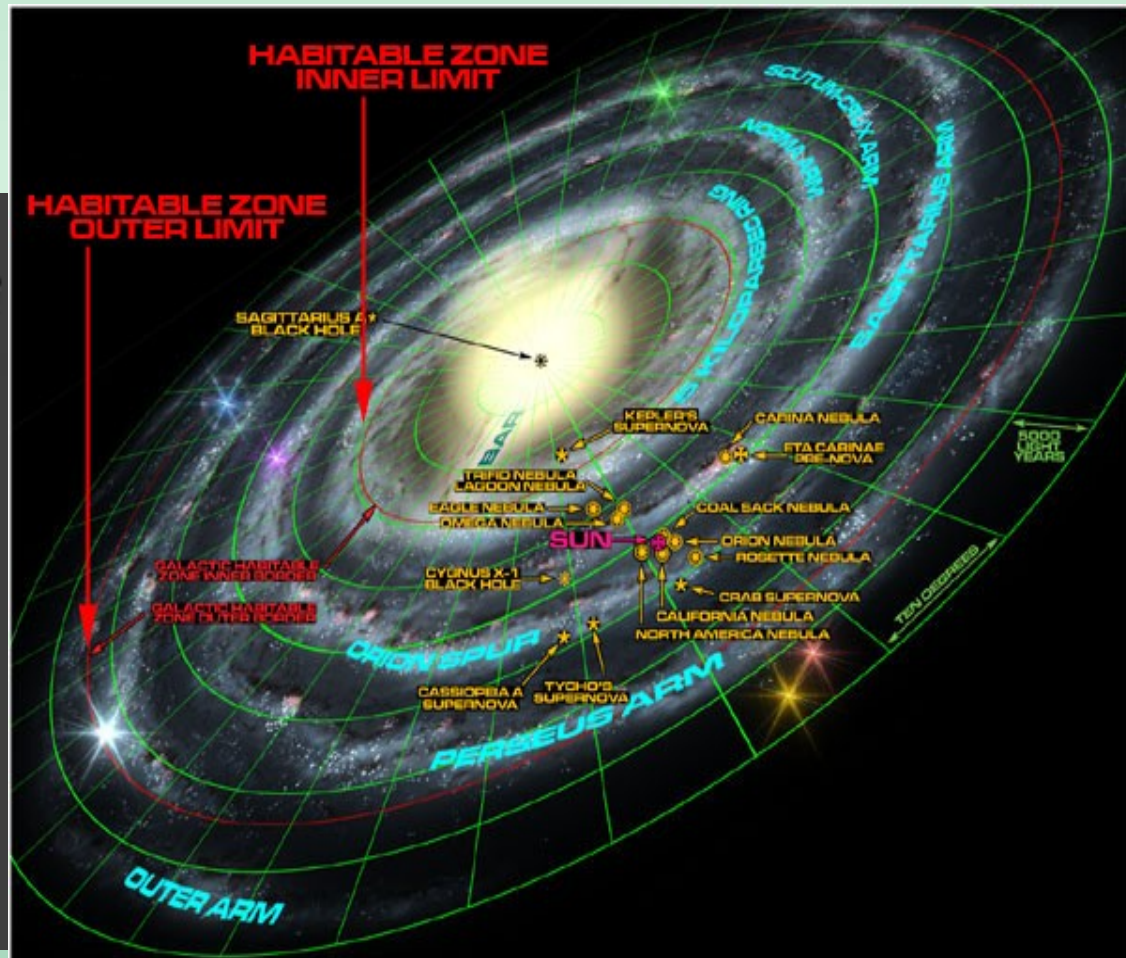
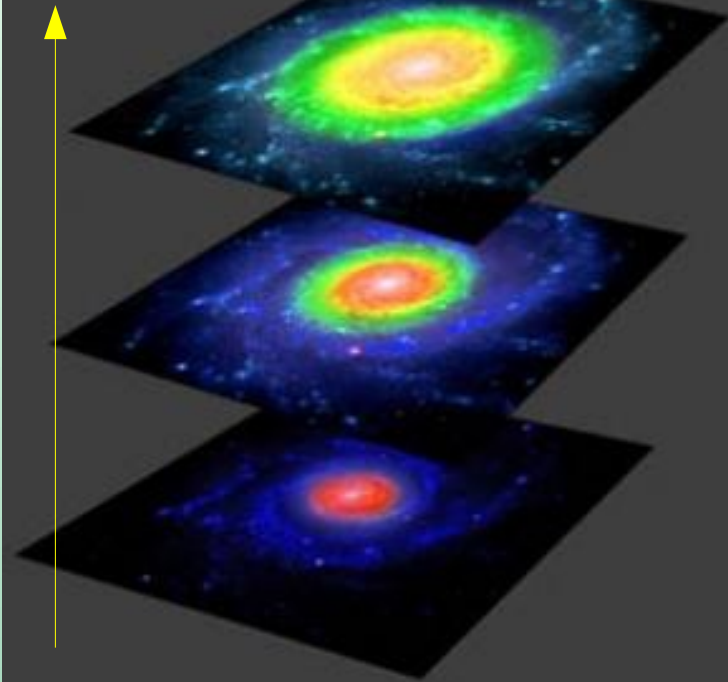
Linhas brancas contornam 68% (externa) ou 95% (interna) das estrelas com potencial mais alto de abrigar a vida complexa



Zona habitável galáctica no disco da Via Láctea e sua evolução:

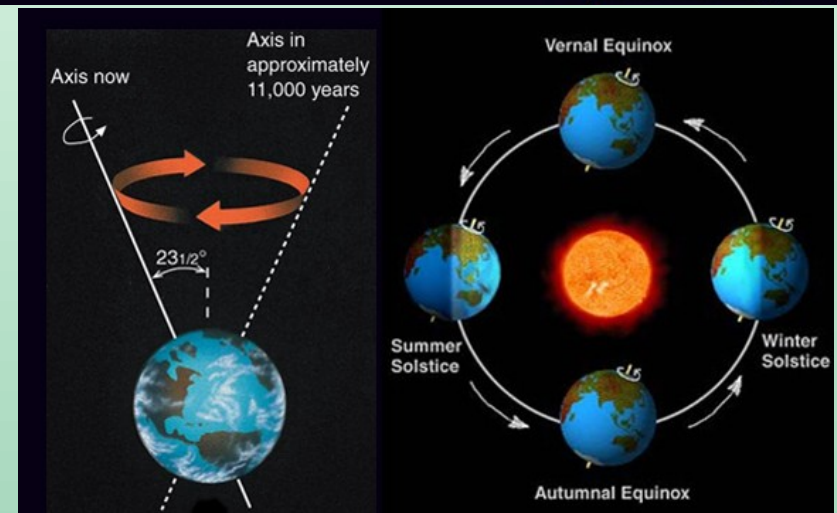
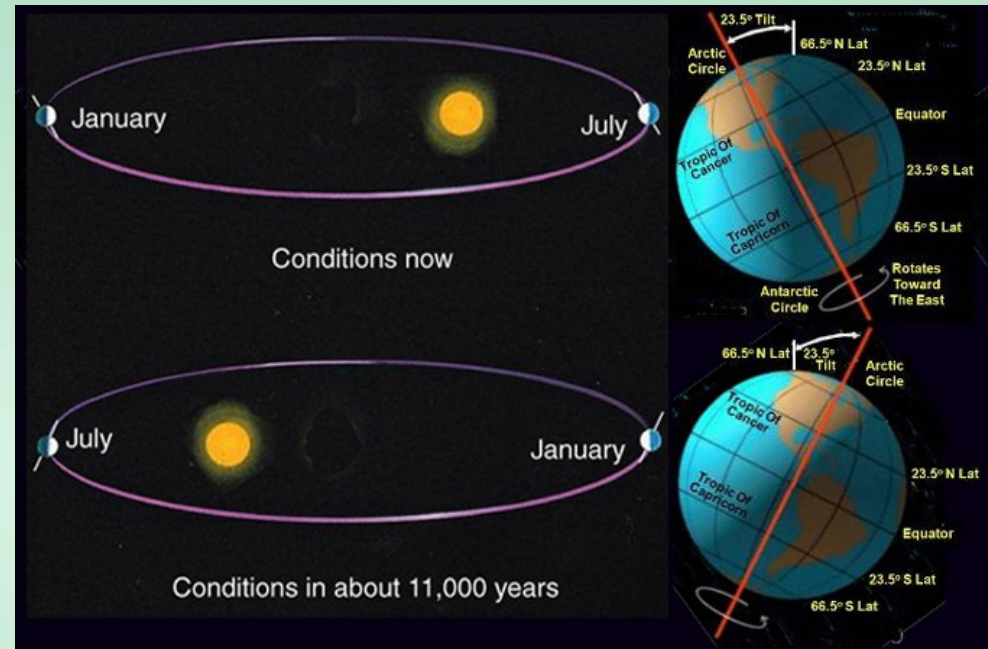
- nos primordiais tina metais só no centro, perto das supernovas
- com tempo, os metais se espalham pela galáxia permitindo formações de planetas rochosos longe das supernovas
- hoje: ~ de 4 kpc a 10 kpc

tempo



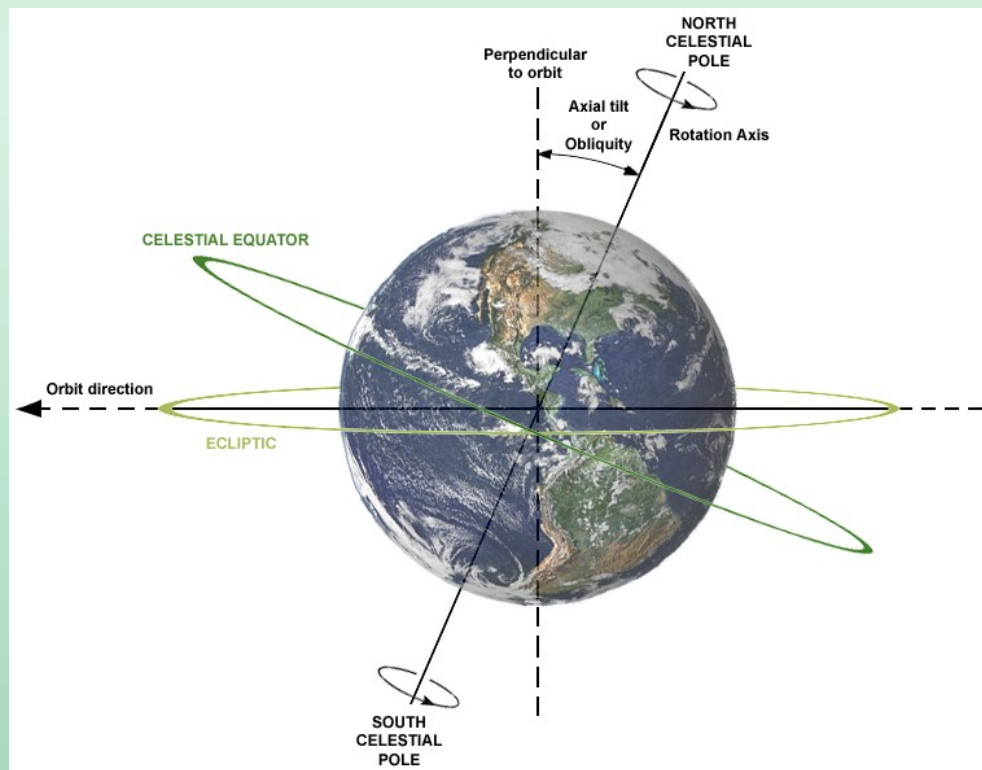
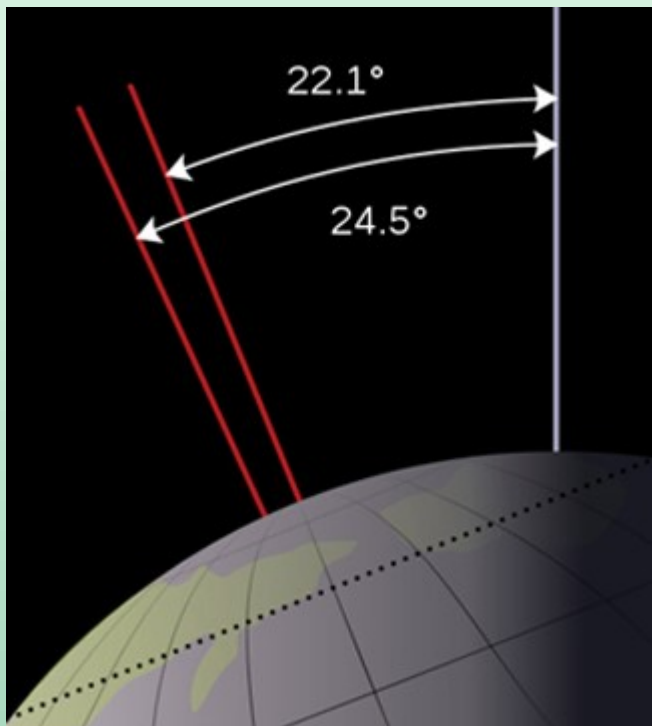
- **Precessão apsidal:** a própria órbita tem sua rotação em volta do Sol com o período de 21 000 anos → o eixo da Terra tem movimento de precessão

- A precessão axial da Terra muda:
- A duração e temperatura das épocas sazonais
 - Temperaturas e clima do planeta todo

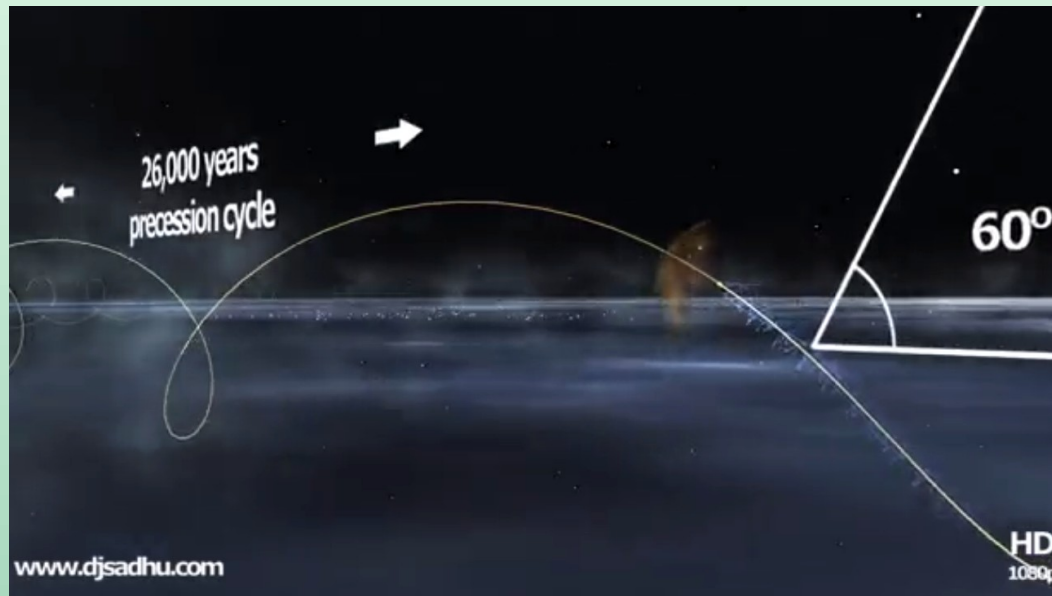


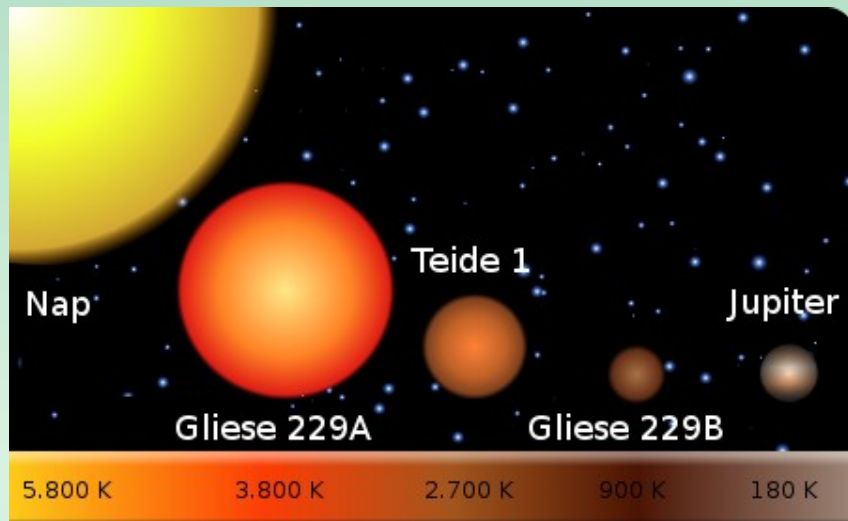
Inclinação axial do planeta

- Terra muda sua inclinação pouco ($22^{\circ} 38'$ - $24^{\circ} 21'$), por causa do efeito estabilizante da Lua
- Lua está se afastando da Terra por causa das forças de maré → futuramente, a inclinação axial da Terra será 22° a 38° (1,5 Ga) ou até 27° a 60° (2 Ga) – efeitos extremos no clima Terrestre



- O Sol orbita o centro da Via Láctea cada 250 Ma:
 - A órbita do nosso sistema solar é também elíptica (aproximação e afastamento do centro galáctico) que poderia afetar:
 - Temperaturas e clima do planeta
 - Atividade solar (manchas solares)
- O Braço local tem sua rotação – o Sol mergulha/afasta-se do plano galático
 - Mudança de concentração de estrelas em proximidade do Sol
- O sol está perto do raio da corrotação – não passa de braços



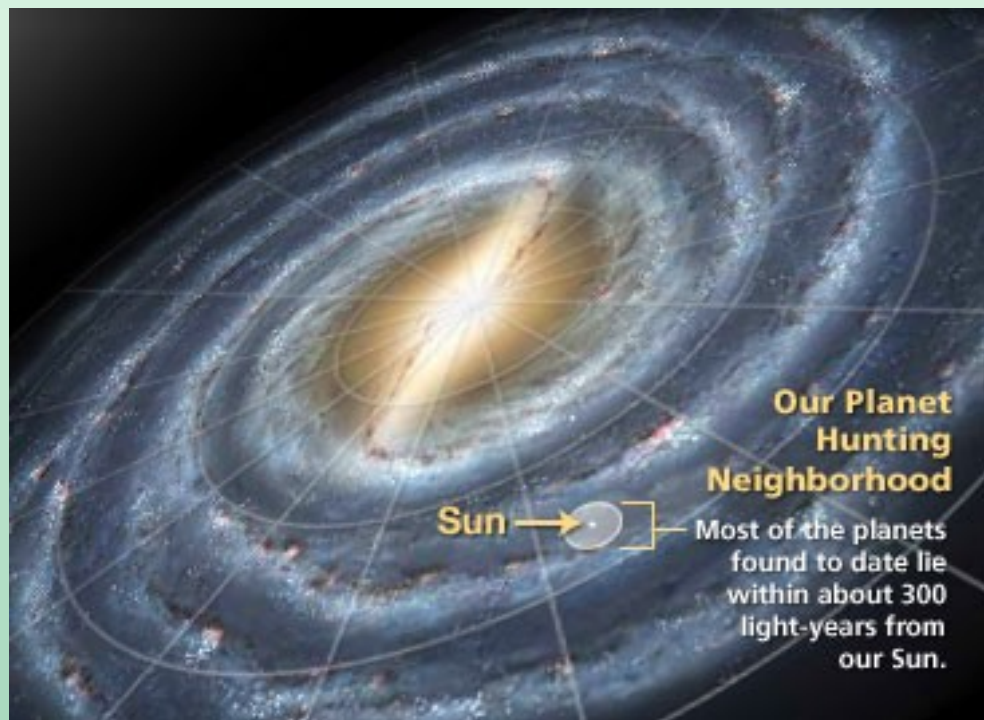
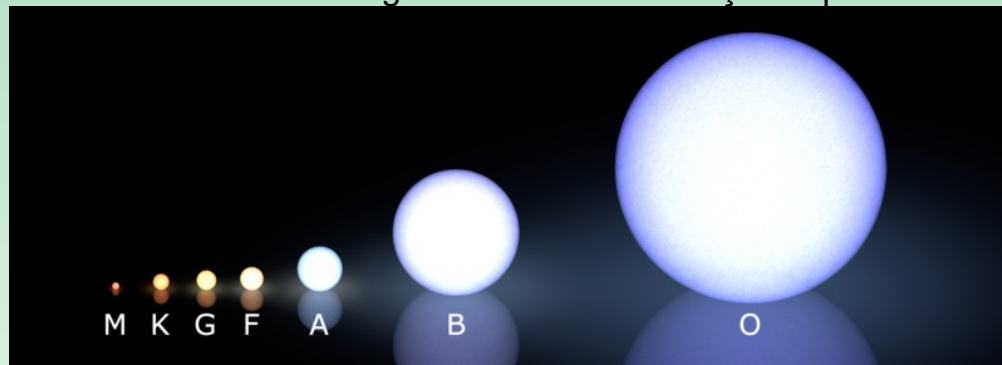


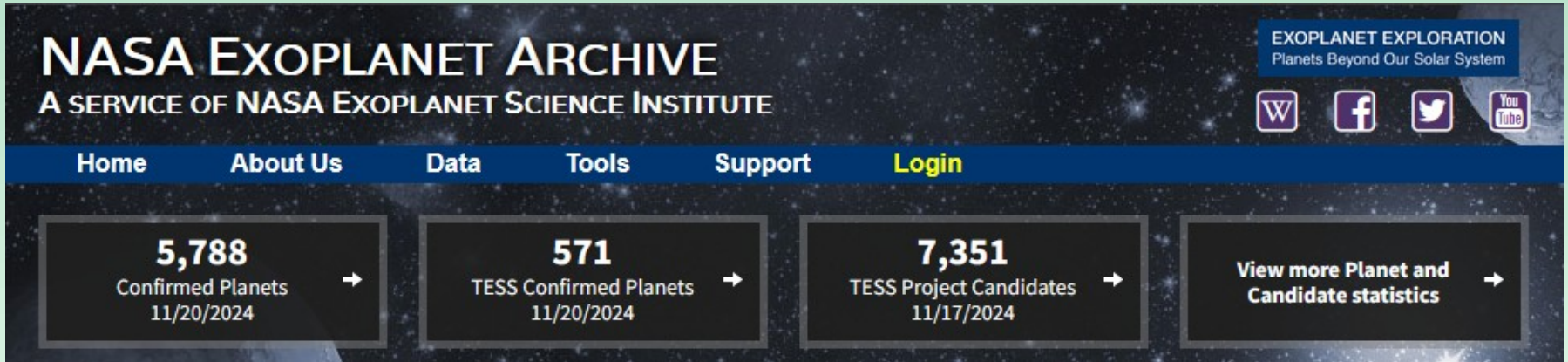
Estrelas interessantes para astrobiologia e exoplanetas

Estrelas com planetas

- Maioria classe F, G, K
- Anãs vermelhas e marrons classe M
- Classe O produz fotoevaporação que impede formação de planetas
- Planeta tipo Júpiter será em:
 - 1 de 6 estrelas com $2 M_{\odot}$
 - 1 de 16 estrelas com $1 M_{\odot}$
 - 1 de 50 estrelas anãs vermelhas
- Planeta tipo Netuno com órbita longa
 - 1 de 3 estrelas anãs vermelhas
- Estrela com maior metalicidade terá
 - Maior probabilidade de ter um planeta
 - Maior probabilidade de ter um planeta de tamanho grande
 - Maior probabilidade de ter mais que um planeta
- Estrelas com planetas confirmadas são pobres em lítio

Morgan-Keenan classificação espectral





The screenshot shows the NASA Exoplanet Archive homepage. At the top, it says "NASA EXOPLANET ARCHIVE" and "A SERVICE OF NASA EXOPLANET SCIENCE INSTITUTE". There are social media icons for Wikipedia, Facebook, Twitter, and YouTube. A navigation bar includes links for Home, About Us, Data, Tools, Support, and Login. Below the navigation bar, there are four boxes with statistics: 5,788 Confirmed Planets (11/20/2024), 571 TESS Confirmed Planets (11/20/2024), 7,351 TESS Project Candidates (11/17/2024), and a link to "View more Planet and Candidate statistics".

Category	Count	Date
Confirmed Planets	5,788	11/20/2024
TESS Confirmed Planets	571	11/20/2024
TESS Project Candidates	7,351	11/17/2024

Wikipedia na página “*Exomoon*” mostra lista de 19 candidatos de exoluas – nenhuma confirmada até hoje

*https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts_detail.html

<http://arxiv.org/abs/1312.3951>

<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog/data> (9/3/2020)

<http://exoplanet.eu/> - The Extrasolar Planets Encyclopaedia

Details of Confirmed Exoplanets[†]

Miniterrans 5 0.1 %	Subterrans 73 1.9 %	Terrans 717 18.5 %	Superterrans 992 26.5 %	Neptunians 809 20.9 %	Jovians 1273 32.9 %		
Hot Miniterrans 5	Hot Subterrans 55	Hot Terrans 614	Hot Superterrans 971	Hot Neptunians 777	Hot Jovians 827		
Warm Miniterrans 0	Warm Subterrans 1	Warm Terrans 22	Warm Superterrans 32	Warm Neptunians 39	Warm Jovians 139		
Cold Miniterrans 0	Cold Subterrans 1	Cold Terrans 8	Cold Superterrans 10	Cold Neptunians 25	Cold Jovians 301		
1-Planet Systems 2266 78.0 %	2-Planet Systems 426 14.7 %	3-Planet Systems 140 4.8 %	4-Planet Systems 47 1.6 %	5-Planet Systems 17 0.6 %	6-Planet Systems 7 0.2 %	7-Planet Systems 2 0.1 %	8-Planet Systems 1 0.1 %

<http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog/data>

<http://exoplanet.eu/> - The Extrasolar Planets Encyclopaedia

Telescópio Kepler (de 6 de março de 2009 até 30 de outubro de 2018)



Details of NASA Kepler Candidates[†]

Miniterrans	Subterrans	Terrans	Superterrans	Neptunians	Jovians	
9	263	1167	1289	848	587	
0.2 %	6.1 %	27.1 %	30.0 %	19.7 %	13.6 %	
Hot Miniterrans	Hot Subterrans	Hot Terrans	Hot Superterrans	Hot Neptunians	Hot Jovians	
7	206	1141	1268	840	555	
Warm Miniterrans	Warm Subterrans	Warm Terrans	Warm Superterrans	Warm Neptunians	Warm Jovians	
0	1	12	51	42	33	
Cold Miniterrans	Cold Subterrans	Cold Terrans	Cold Superterrans	Cold Neptunians	Cold Jovians	
0	0	2	2	2	2	
1-Planet Systems	2-Planet Systems	3-Planet Systems	4-Planet Systems	5-Planet Systems	6-Planet Systems	7-Planet Systems
2716	432	135	54	19	1	0
80.9 %	12.9 %	4.0 %	1.6 %	0.6 %	<0.1 %	0.0 %



Universidade Federal do ABC

Distribuição de exoplanetas pela massa e distância da estrela

Doppler

Transit

Observação direta

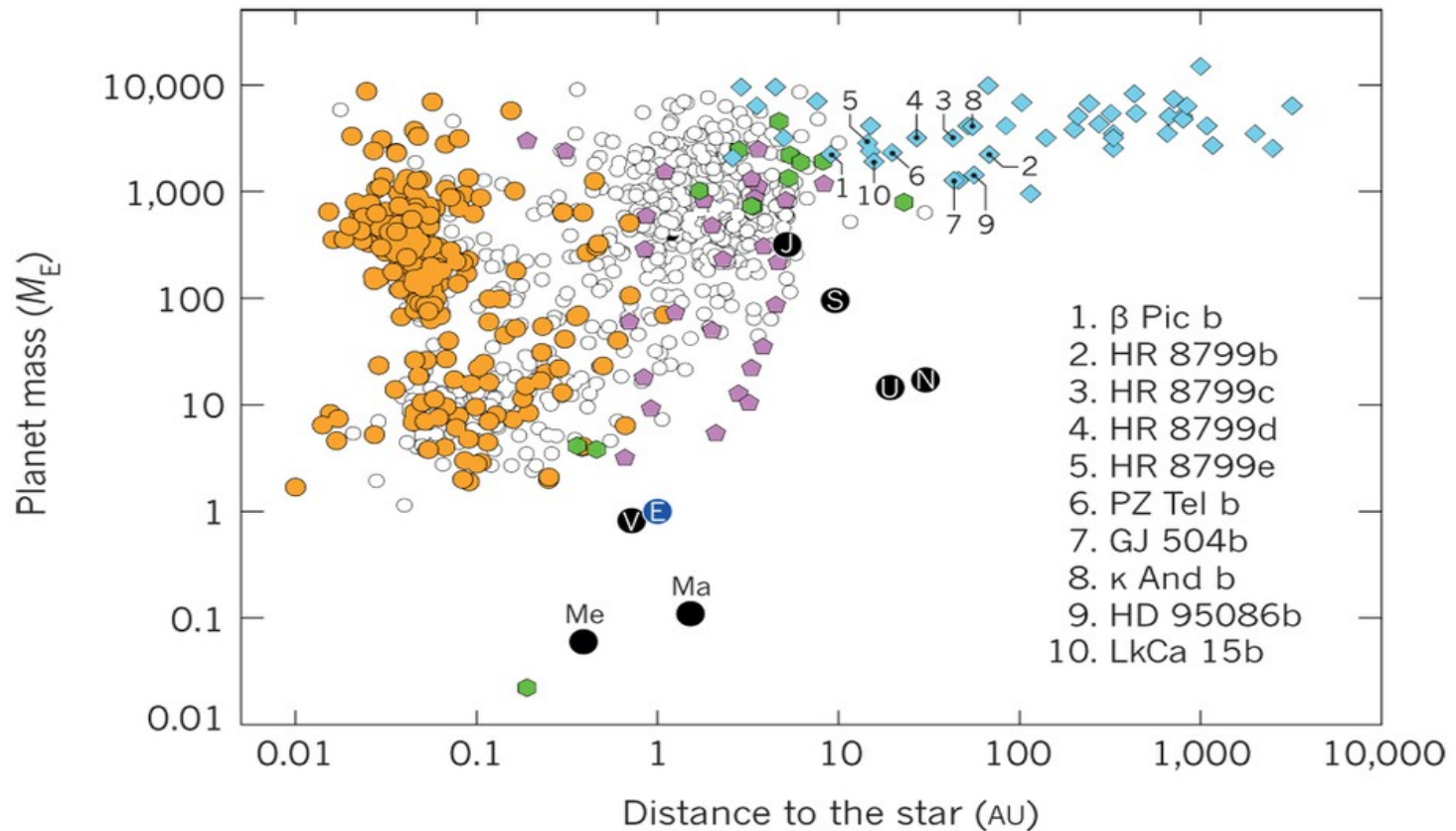
Microlentes

Tempo de pulsação

Instrumentation for the detection and characterization of exoplanets

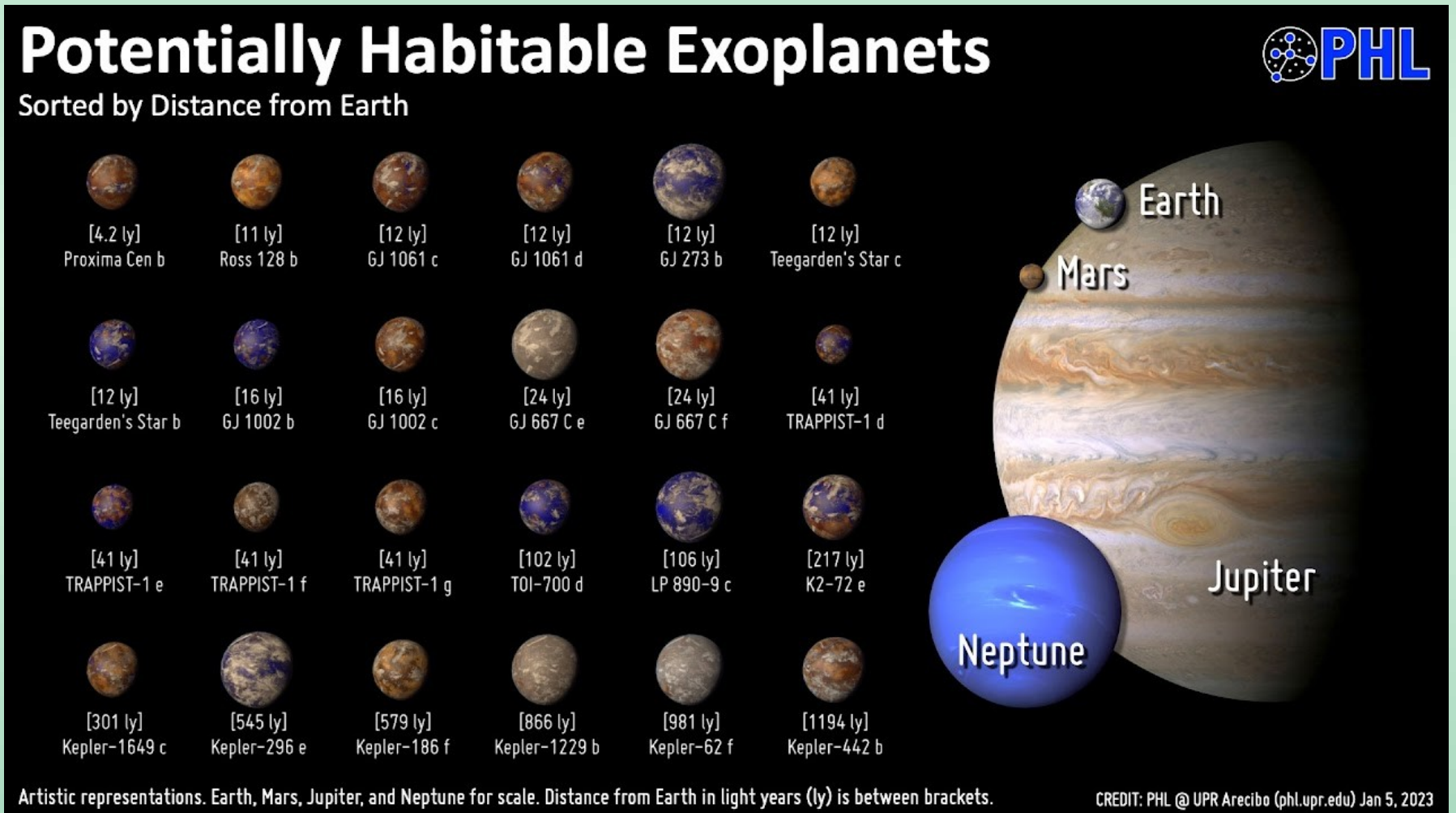
Francesco Pepe, David Ehrenreich & Michael R. Meyer

Nature 513, 358–366 (18 September 2014) | doi:10.1038/nature13784



Planetary mass is plotted as a function of the semi-major axis (the distance to the host star). Solar-system planets are shown by black circles (Me, Mercury; V, Venus; Ma, Mars; J, Jupiter; S, Saturn; U, Uranus; N, Neptune) and Earth (E) is in blue. Exoplanets detected with different techniques and instrumentation are shown. Doppler velocimetry (white), transit with a measured mass (orange), direct imaging (blue), microlensing (pink), and pulsation timing (green). Among the direct-imaging planets, only ten (labelled) were found within 100 AU of their host and a mass ratio between the companion and its host star $q < 0.02$. Data underlying this plot were retrieved from the Exoplanet Encyclopaedia¹⁹⁹.

Exoplanetas potencialmente habitáveis (amostra conservativa): 21 planetas
Terranos mornos



Exoplanetas potencialmente habitáveis (19) – modelo conservativo ($0,5 < R_{\oplus} \leq 1,5$ ou $0.1 < M_{\oplus} \leq 5$) [ESI = *Earth Similarity Index* – índice de similaridade com Terra]

This is a list of the exoplanets that are more likely to have a rocky composition and maintain surface liquid water (*i.e.* $0.5 < \text{Planet Radius} \leq 1.5$ Earth radii or $0.1 < \text{Planet Minimum Mass} \leq 5$ Earth masses). They are represented artistically in the top image.

Name	Type	Mass (M_E)	Radius (R_E)	Flux (S_E)	T_{eq} (K)	Period (days)	Distance (ly)	ESI
001. Teegarden b (N)	M-Warm Terran	≥ 1.05	—	1.15	264	4.9	12	0.95
002. K2-72 e	M-Warm Terran	—	1.29	1.11	261	24.2	217	0.90
003. GJ 3323 b	M-Warm Terran	≥ 2.02	—	1.23	265	5.4	17	0.90
004. TRAPPIST-1 d	M-Warm Subterranean	0.41	0.77	1.21	267	4.0	41	0.89
005. TRAPPIST-1 e	M-Warm Terran	0.62	0.92	0.70	233	6.1	41	0.87
006. GJ 667 C f	M-Warm Terran	≥ 2.54	—	0.85	245	39.0	22	0.87
007. Proxima Cen b	M-Warm Terran	≥ 1.27	—	0.69	227	11.2	4.2	0.87
008. Kepler-442 b	K-Warm Terran	—	1.35	0.72	235	112.3	1115	0.85
009. GJ 273 b	M-Warm Terran	≥ 2.89	—	1.19	266	18.6	12	0.84
010. Wolf 1061 c	M-Warm Terran	≥ 3.41	—	1.36	275	17.9	14	0.79
011. GJ 667 C c	M-Warm Terran	≥ 3.81	—	1.33	274	28.1	22	0.78
012. tau Cet e	G-Warm Terran	≥ 3.93	—	1.61	285	162.9	12	0.74
013. Kepler-1229 b	M-Warm Terran	—	1.40	0.49	213	86.8	769	0.73
014. GJ 667 C e	M-Warm Terran	≥ 2.54	—	0.46	210	62.2	22	0.71
015. TRAPPIST-1 f	M-Warm Terran	0.68	1.04	0.40	203	9.2	41	0.70
016. Kepler-62 f	K-Warm Terran	—	1.41	0.42	205	267.3	1200	0.69
017. Teegarden c (N)	M-Warm Terran	≥ 1.11	—	0.37	199	11.4	12	0.68
018. TRAPPIST-1 g	M-Warm Terran	1.34	1.13	0.27	184	12.4	41	0.59
019. Kepler-186 f	M-Warm Terran	—	1.17	0.26	182	129.9	561	0.58

Exoplanetas (fev 2017)

Exoplanetas potencialmente habitáveis (33) – modelo otimista ($1,5 < R_{\oplus} \leq 2,5$ ou $5 < M_{\oplus} \leq 10$)

Optimistic Sample of Potentially Habitable Exoplanets

This is a list of the exoplanets that are less likely to have a rocky composition and maintain surface liquid water (*i.e.* $1.5 < \text{Planet Radius} \leq 2.5 \text{ Earth radii}$ or $5 < \text{Planet Minimum Mass} \leq 10 \text{ Earth masses}$).

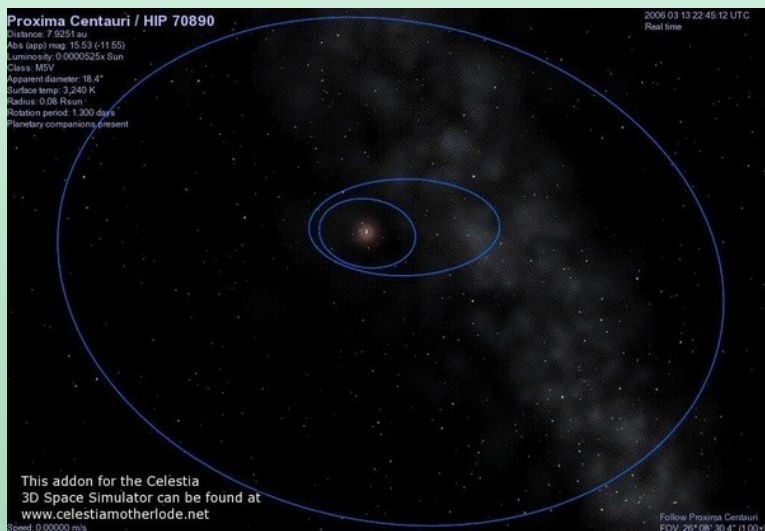
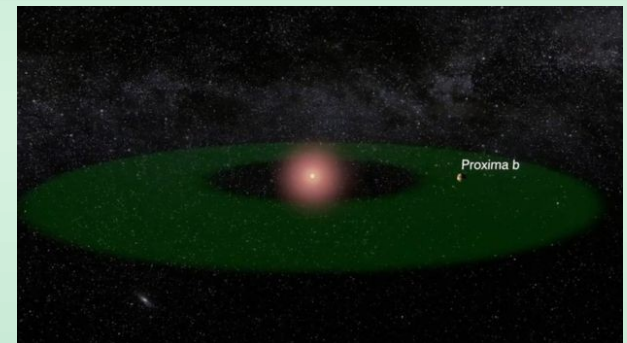
Name	Type	Mass ($M_{\oplus}$)	Radius ($R_{\oplus}$)	Flux ($S_{\oplus}$)	T_{eq} (K)	Period (days)	Distance (ly)	ESI
001. Kepler-452 b	G-Warm Superterran	—	1.63	1.11	261	384.8	1828	0.83
002. Kepler-62 e	K-Warm Superterran	—	1.61	1.18	266	122.4	1200	0.82
003. Kepler-1652 b	M-Warm Superterran	—	1.60	0.83	243	38.1	822	0.82
004. Kepler-1544 b	K-Warm Superterran	—	1.78	0.90	248	168.8	1138	0.80
005. K2-3 d	M-Warm Superterran	—	1.51	1.50	282	44.6	144	0.80
006. Kepler-296 e	M-Warm Superterran	—	1.52	1.50	276	34.1	737	0.80
007. Kepler-283 c	K-Warm Superterran	—	1.82	0.90	248	92.7	1546	0.79
008. Kepler-1410 b	K-Warm Superterran	—	1.78	1.34	274	60.9	1196	0.78
009. Kepler-1638 b	G-Warm Superterran	—	1.87	1.39	276	259.3	2866	0.76
010. K2-296 b (N)	M-Warm Superterran	—	1.87	1.40	277	28.2	522	0.76
011. Kepler-296 f	M-Warm Superterran	—	1.80	0.66	225	63.3	737	0.75
012. Kepler-705 b	M-Warm Superterran	—	2.11	0.83	243	56.1	818	0.74
013. Kepler-440 b	K-Warm Superterran	—	1.91	1.49	275	101.1	851	0.74
014. Kepler-1653 b	K-Warm Superterran	—	2.17	1.03	257	140.3	2461	0.74
015. GJ 832 c	M-Warm Superterran	≥ 5.40	—	1.22	266	35.7	16	0.73
016. Kepler-1606 b	G-Warm Superterran	—	2.07	1.41	277	196.4	2869	0.73
017. Kepler-1090 b	G-Warm Superterran	—	2.25	1.20	267	198.7	2289	0.72
018. Kepler-61 b	K-Warm Superterran	—	2.15	1.39	273	59.9	1103	0.72
019. Kepler-443 b	K-Warm Superterran	—	2.35	0.92	249	177.7	2540	0.71
020. K2-18 b	M-Warm Superterran	8.92	2.37	1.08	257	32.9	124	0.71
021. Kepler-22 b	G-Warm Superterran	—	2.38	1.11	261	289.9	619	0.71
022. K2-9 b	M-Warm Superterran	—	2.25	1.37	276	18.4	271	0.71
023. Kepler-26 e	M-Warm Superterran	—	2.41	1.13	263	46.8	1104	0.70
024. Kepler-1552 b	K-Warm Superterran	—	2.47	1.10	261	184.8	2015	0.70
025. Kepler-1540 b	K-Warm Superterran	—	2.49	0.92	250	125.4	854	0.70
026. LHS 1140 b	M-Warm Superterran	6.98	1.73	0.48	212	24.7	49	0.69
027. Kepler-1632 b	F-Warm Superterran	—	2.47	1.27	270	448.3	1904	0.69
028. HD 40307 g	K-Warm Superterran	≥ 7.09	—	1.12	258	197.8	42	0.69
029. GJ 163 c	M-Warm Superterran	≥ 6.80	—	1.25	269	25.6	49	0.69
030. Kepler-298 d	K-Warm Superterran	—	2.50	1.29	271	77.5	1715	0.68
031. K2-288 B b	M-Warm Superterran	—	1.91	0.43	206	31.4	214	0.64
032. GJ 3293 d	M-Warm Superterran	≥ 7.60	—	0.55	219	48.1	66	0.62
033. Kepler-174 d	K-Warm Superterran	—	2.19	0.43	206	247.4	1268	0.61

Exoplaneta Alpha Centauri C b

NHZ3043-15 Nocões da Astronomia e Cosmologia

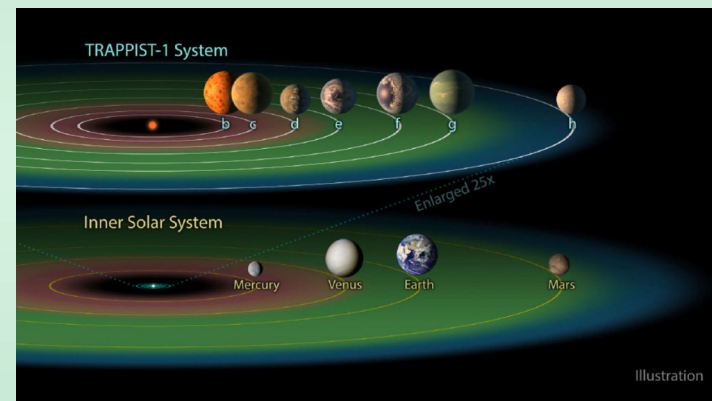
Astrobiologia

- 4,25 anos-luz de distância da Terra, na constelação de Centaurus
- Estrela classe M6Ve (anã vermelha) com $T_e=3042$ K e idade 4,85 Gyr em sistema ternário Alfa, Beta e Próxima centauri
- Sistema de 1 planeta rochoso em zona habitável (um segundo sinal com órbita de 50-200 dias está sob investigação)
- Distância do planetas da estrela 0,05 AU; período orbital ~11,2 dias
- O planeta deveria ser acoplado por maré – grande diferença de $T \rightarrow$ possíveis ventos fortes em atmosfera densa
- Possíveis raios XUV e X poderiam afetar atmosferas primária e secundária

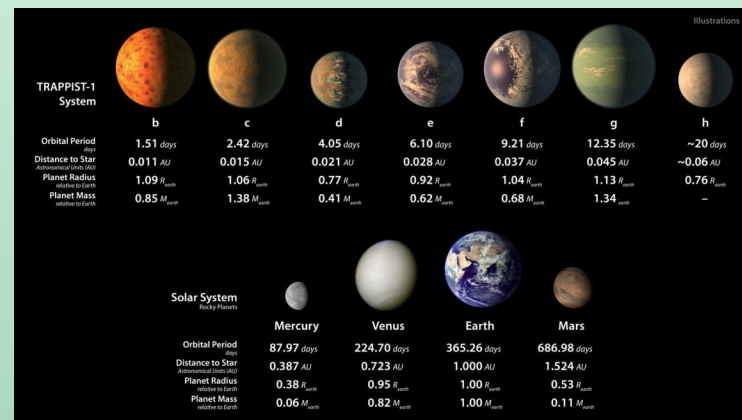


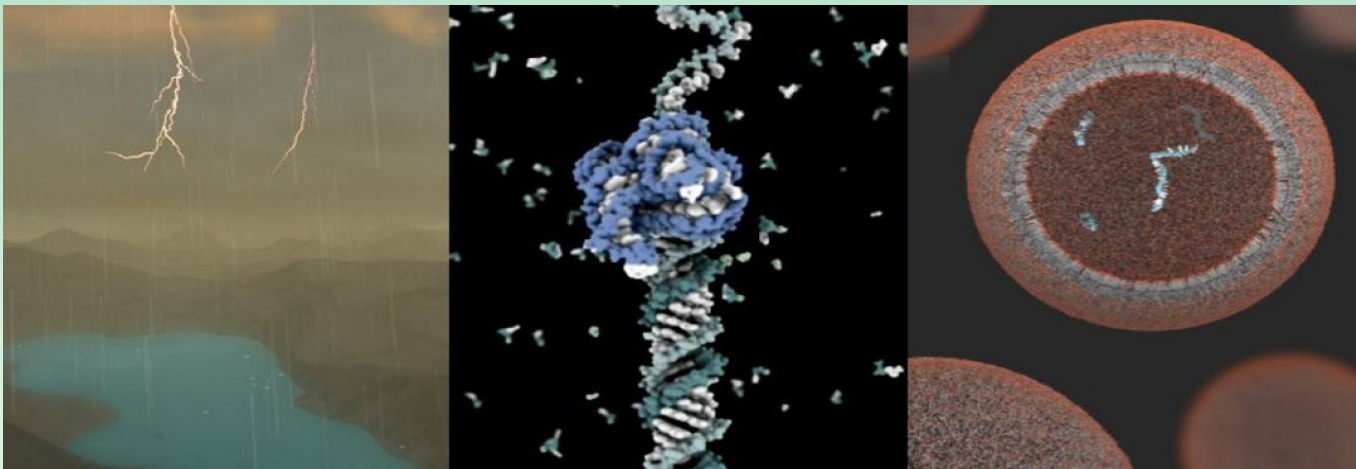
Exoplanetas do sistema Trappist-1

- 12,1 anos-luz de distância da Terra, na constelação de Aquário
- Estrela classe M8V (anã vermelha superfria) com $T_e = 2550$ K e idade $\sim 3-8$ Gyr
- Sistema de 7 planetas rochosos com pelo menos 3 em zona habitável
- Planetas estão em cadeia de quase-ressonância com razões 24/24, 24/15, 24/9, 24/6, 24/4, 24/3 e 24/2 de tempo de órbitas
- Todos os planetas deveriam ser acoplados por maré – grande diferença de $T \rightarrow$ possíveis ventos fortes em atmosfera densa
- Possíveis raios XUV e X poderiam afetar atmosferas primária e secundária



Planeta	Massa	Raio	Semieixo maior (UA)	Período orbital (dias)
b	$0,85 \pm 0,72 M_{\oplus}$	$1,086 \pm 0,035 R_{\oplus}$	$0,01111 \pm 0,00034$	$1,51087081 \pm 0,00000060$
c	$1,38 \pm 0,61 M_{\oplus}$	$1,056 \pm 0,035 R_{\oplus}$	$0,01521 \pm 0,00047$	$2,4218233 \pm 0,0000017$
d	$0,41 \pm 0,27 M_{\oplus}$	$0,772 \pm 0,030 R_{\oplus}$	$0,02144^{+0,00066}_{-0,00063}$	$4,049610 \pm 0,000063$
e	$0,62 \pm 0,58 M_{\oplus}$	$0,918 \pm 0,039 R_{\oplus}$	$0,02817^{+0,00083}_{-0,00087}$	$6,099615 \pm 0,000011$
f	$0,68 \pm 0,18 M_{\oplus}$	$1,045 \pm 0,038 R_{\oplus}$	$0,0371 \pm 0,0011$	$9,206690 \pm 0,000015$
g	$1,34 \pm 0,88 M_{\oplus}$	$1,127 \pm 0,041 R_{\oplus}$	$0,0451 \pm 0,0014$	$12,35294 \pm 0,00012$
h	$- M_{\oplus}$	$0,755 \pm 0,034 R_{\oplus}$	$0,063^{+0,027}_{-0,013}$	20^{+15}_{-6}





Conceito, origem e e condições para evolução da vida

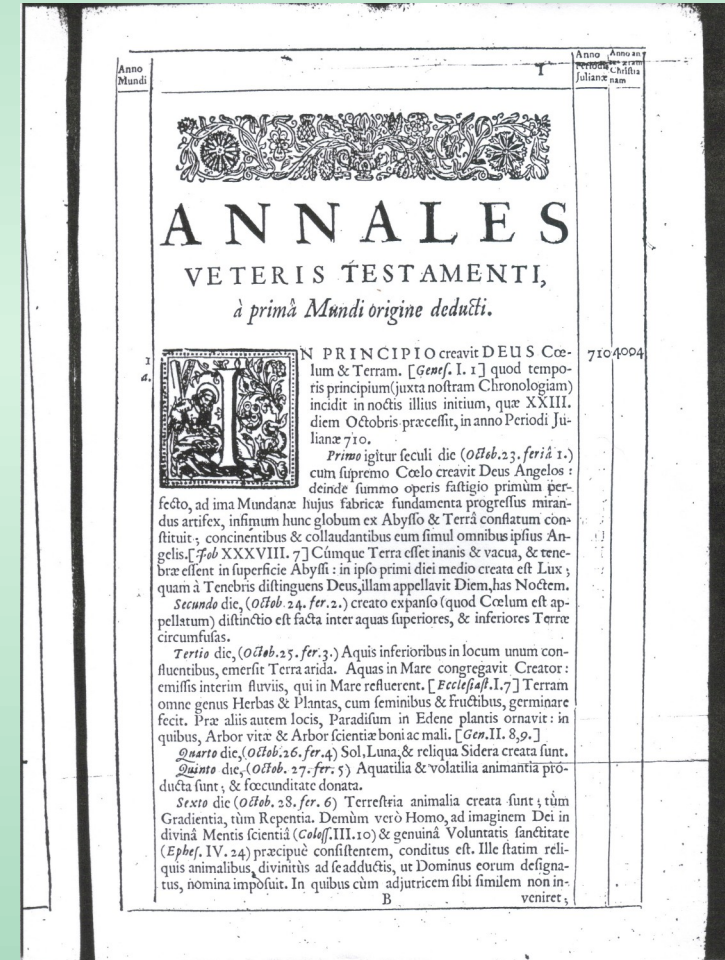
- Situação 1: O conceito de vida dá origem a muitos problemas e ambiguidades.
- Situação 2: Problema da possível vida extraterrestre.
- Situação 3: Muitos organismos são multicelulares, sendo que possuem células extremamente diferenciadas.

- Conceito de que cada ser vivo conhecido era proveniente de uma forma de vida pré-existente
- “Se um ser é gerado de um ser precedente, como surgiu o primeiro ser? O que é vida?”
- Possíveis respostas:
 - Dogmas e mitos:
 - Criacionismos religiosos ou dito científico
 - Algumas teorias:
 - Evolução química gradual
 - Panspermia
 - Neopanspermia

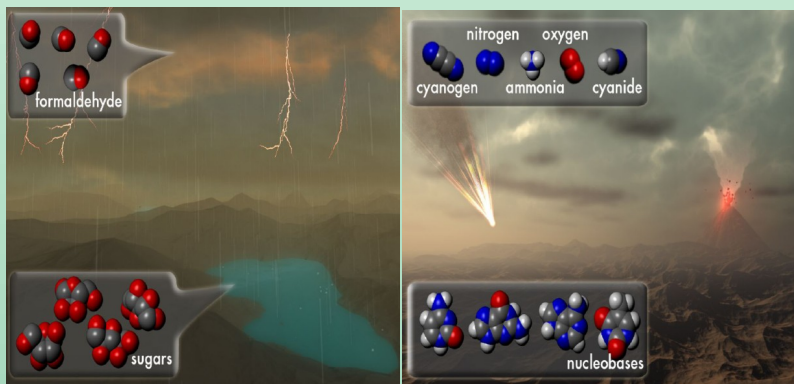
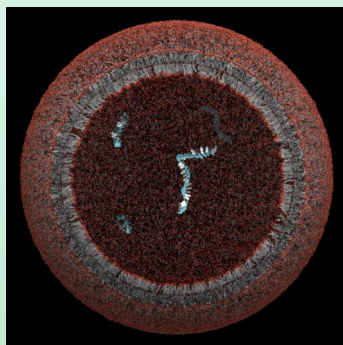


➤ James Ussher, o Arcbispo de Armagh (Igreja da Irlanda):

- (1658) *Annales Veteris Testamenti, a prima mundi origine deducti, una cum rerum Asiaticarum et Aegyptiacarum chronico, a temporis historici principio usque ad Maccabaicorum initia producto*. (Anais do Velho Testamento, deduzidos dos primeiros origens do mundo, a crônica de fatos Asiáticos e Egípcios e conjunto produzidos do começo de tempo histórico até começo dos Macabeus [164 a.C.])
- Somando vidas de Adão e patriarcas posteriores + épocas mais recentes, chegou a conclusão que o mundo foi criado em 23 de outubro 4004 a.C. (calendário juliano proléptico), às 6 horas da tarde (ainda foi Sábado!).



Evolução química gradual



Início da evolução dos seres vivos como proposto por Darwin



3,5 a 3,8 bilhões de anos atrás surgimento do primeiro ser vivo do planeta Terra

evolução das reações químicas dentro das estruturas coacervadas

síntese de estruturas coacervadas "células" (que podem ser constituídas de lipídios, peptídeos, etc) a partir de biopolímeros (aminoácidos, açúcares, lipídios, etc)

síntese de biopolímeros (peptídeos,) a partir de biomoléculas (aminoácidos, açúcares, lipídios, etc)

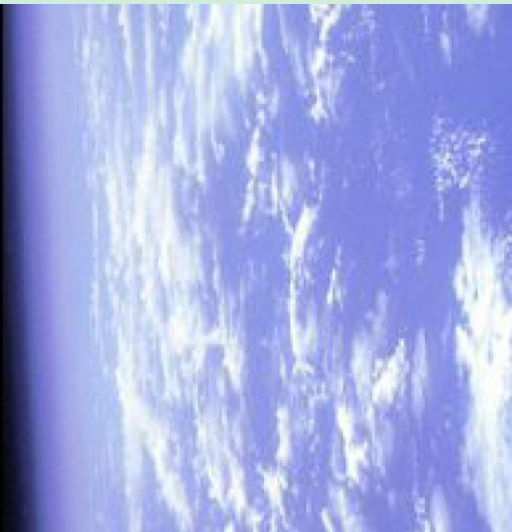
síntese de biomoléculas (aminoácidos, açúcares, lipídios, etc) a partir de moléculas simples (CH_4 , CO , CO_2 , H_2 , H_2S , HCN , NH_3 , H_2O , etc)



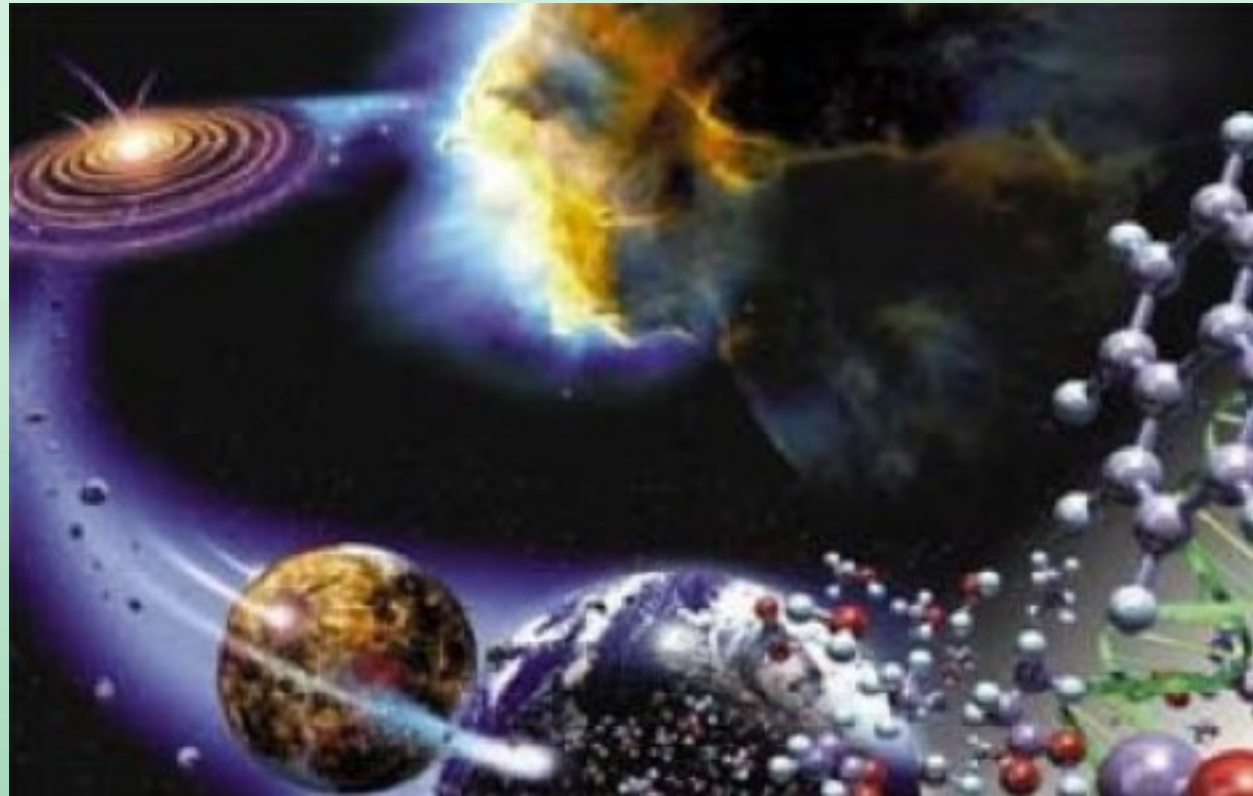
4,5 bilhões de anos atrás surgimento do planeta Terra

Tempo

- Outra hipótese que apenas deixa a origem para outro local
- Origem extra-terrestre para a vida
- Origem da hipótese: Grécia antiga, por Anaxágoras
- Defensores: Richter, Kelvin, Chamberlain e, mais recentemente, por Francis Crick, Fred Hoyle, Chandra Wickramasinghe e John Oró.



- Descoberta de macromoléculas orgânicas em corpos celestes
 - meteoritos e cometas
- Em vez da vida o que teria chegado seriam as moléculas da vida

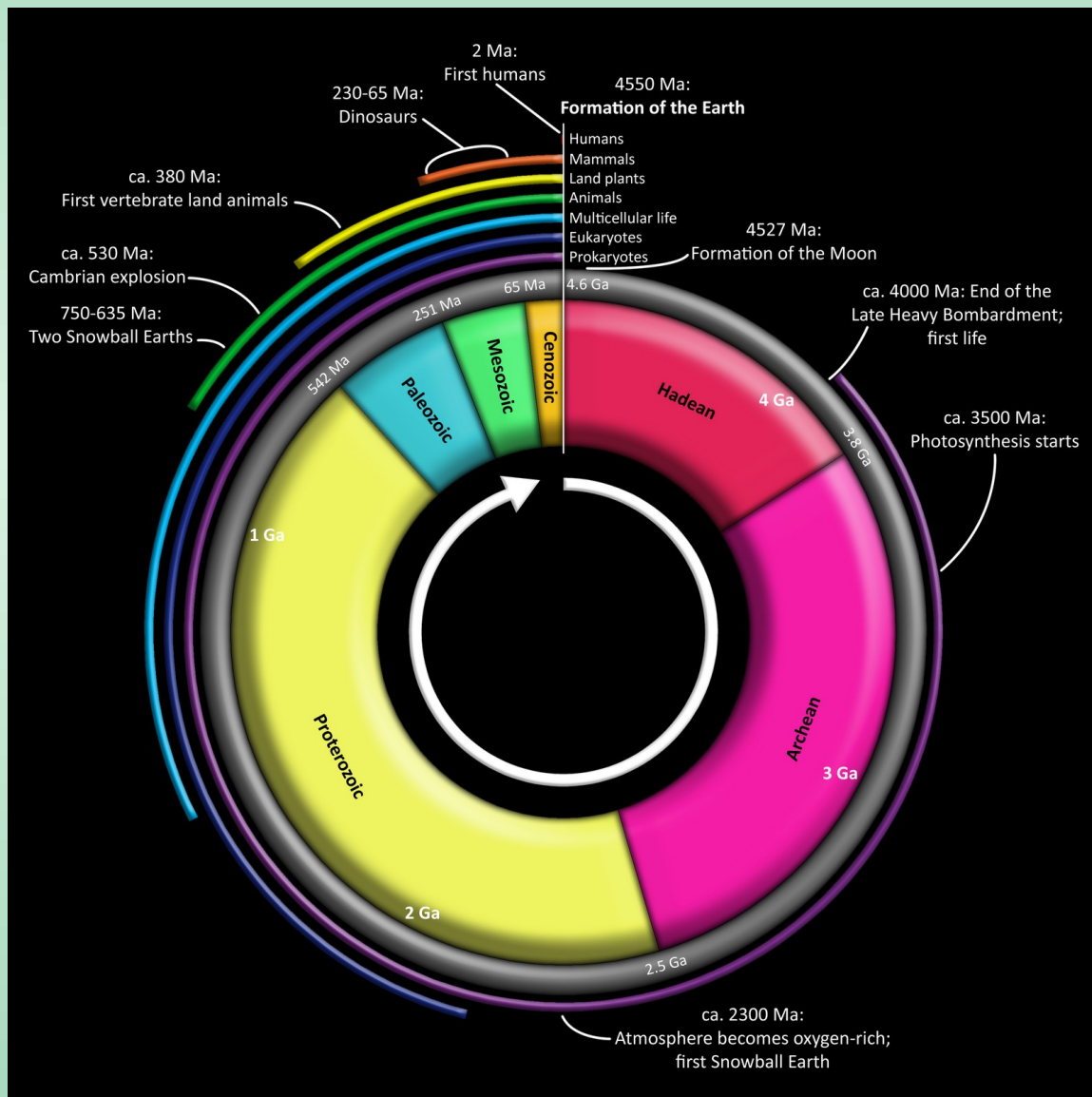


Linha do tempo da Terra

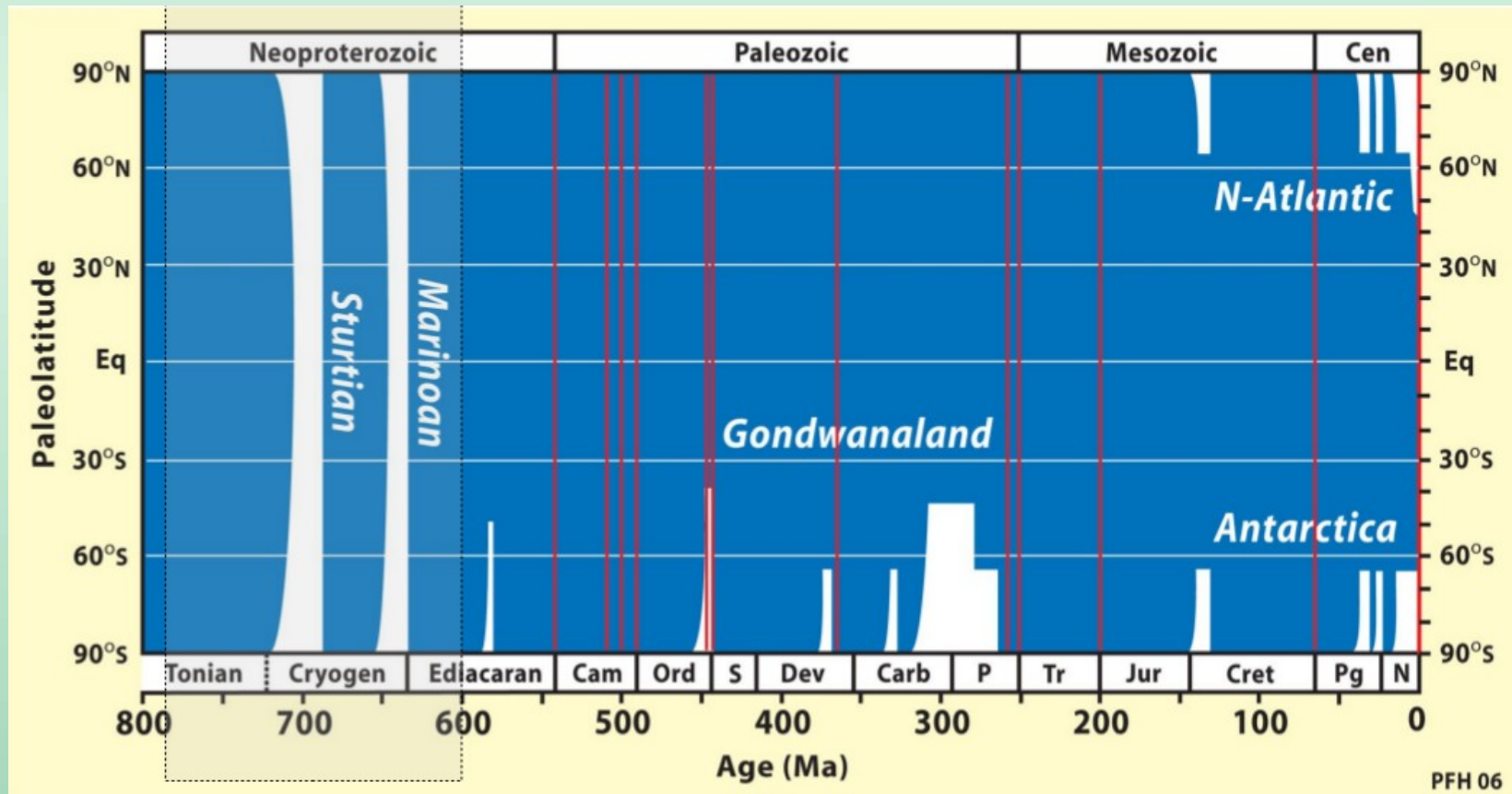
NHZ3043-15 Nocões da Astronomia e Cosmologia

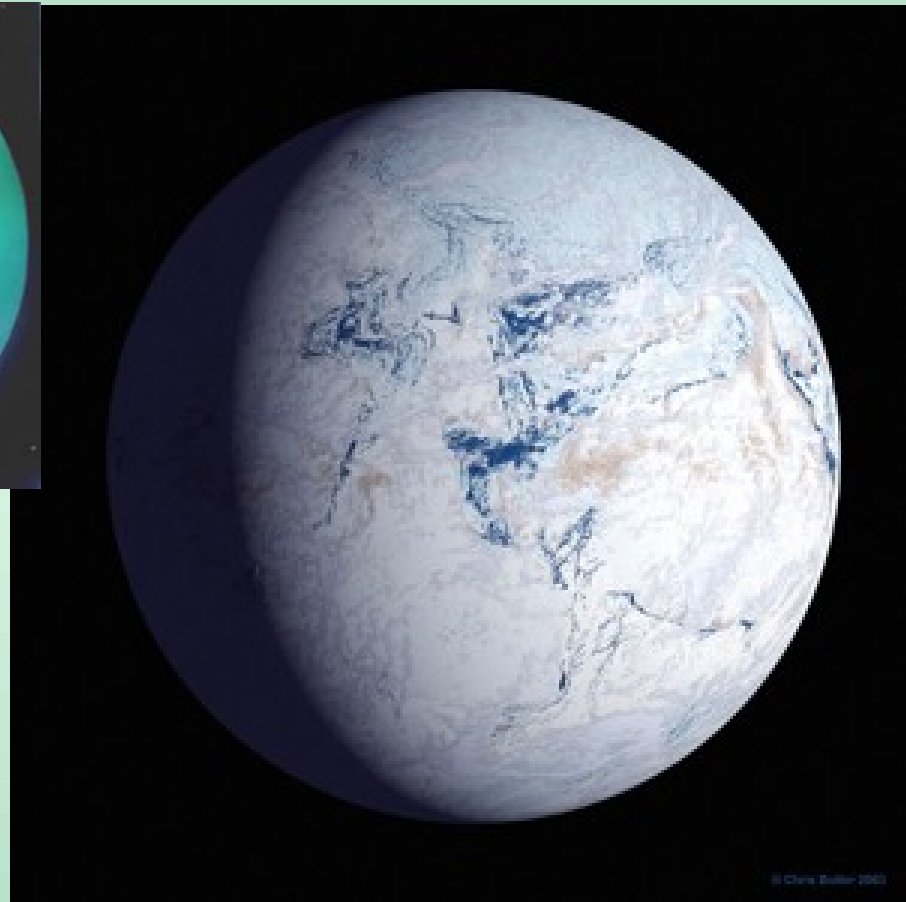
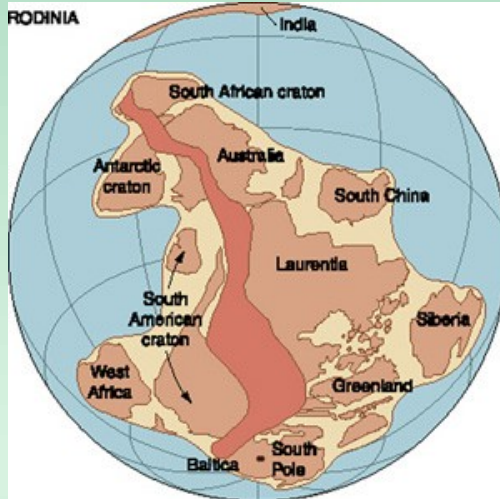
Astrobiologia

➤ Eons e Eras em escala de tempo



- Áreas em branco indicam até em que latitude o manto de gelo chegou em cada época
- Linhas vermelhas mostram extinções em massa





- Glaciação Sturtiana – 730 - 670 Ma atrás
- Teoria 1: Rodinia bloqueou as correntes oceânicas → troca de calor equador-polos impedida
- Teoria 2: a Quebra de Rodinia forneceu muitos mares rasos → fotossíntese e aumentou O_2 → diminuição do efeito estufa
- Esta glaciação provocou provavelmente a evolução de sistemas antioxidantes (proteção contra nocivo O_2 e seus radicais livres) e também eucariontes



Earth and Planetary Science Letters

Volume 646, 15 November 2024, 118991



Evidence suggesting that earth had a ring in the Ordovician

Andrew G. Tomkins  , Erin L. Martin, Peter A. Cawood

Show more 

 Add to Mendeley  Share  Cite

<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2024.118991> 

Get rights and content 

Under a Creative Commons license 

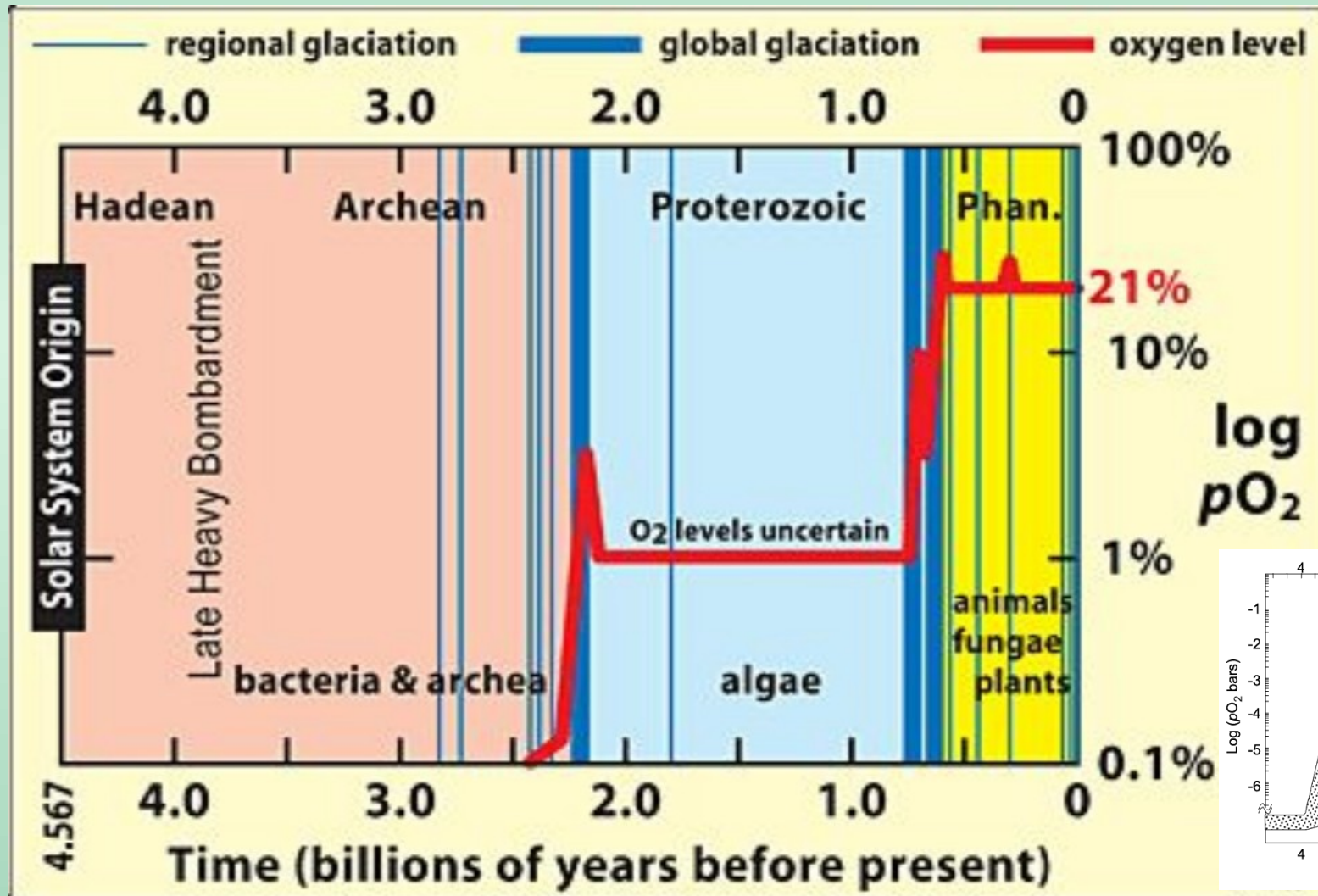
 open access

- Pico de meteoritos a $465,76 \pm 0.30$ Ma
- Impactos em região equatorial da Terra
- Duração ~40 Ma
- Sombra poderia causar resfriamento global

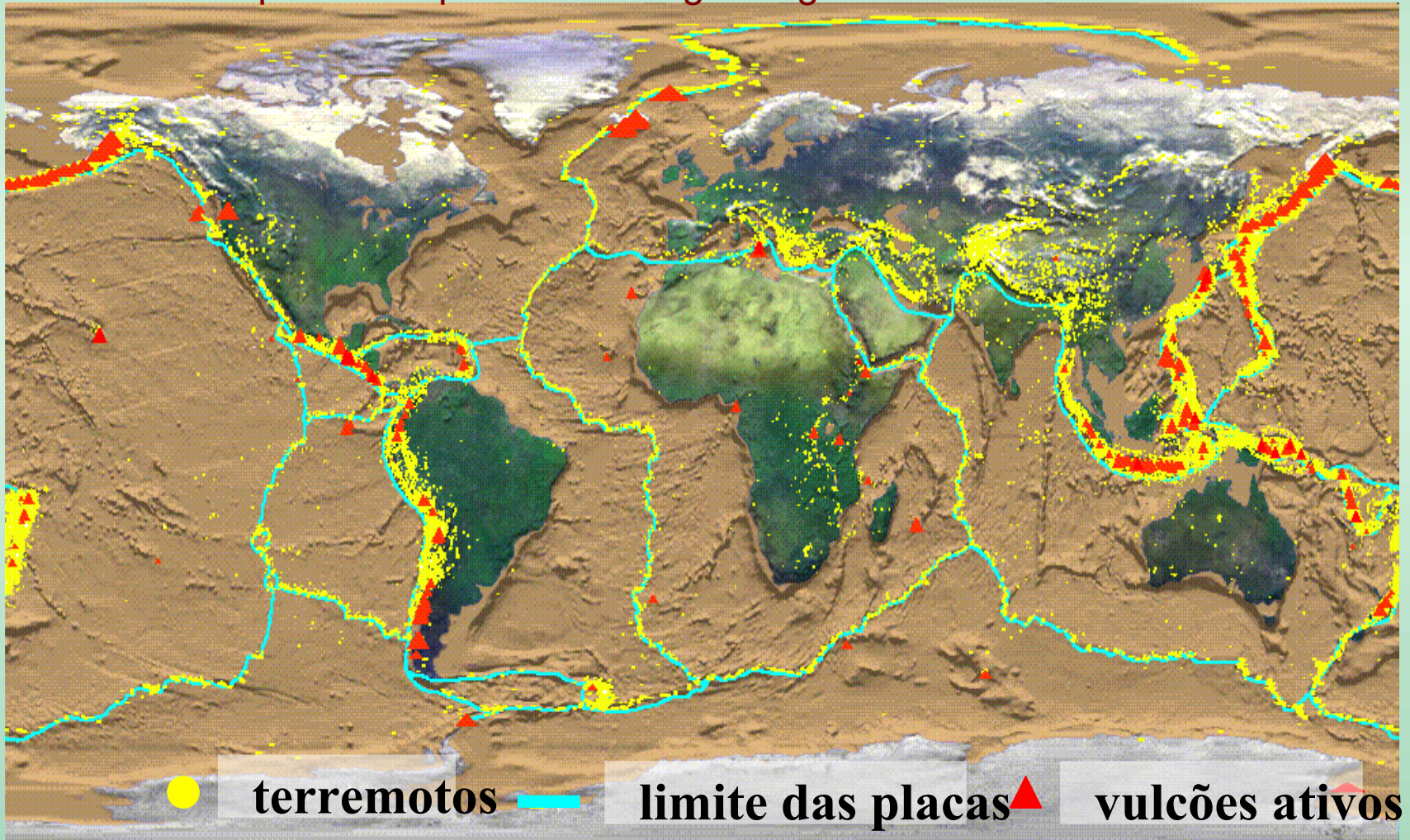


Efeito de bola de gelo no O_2

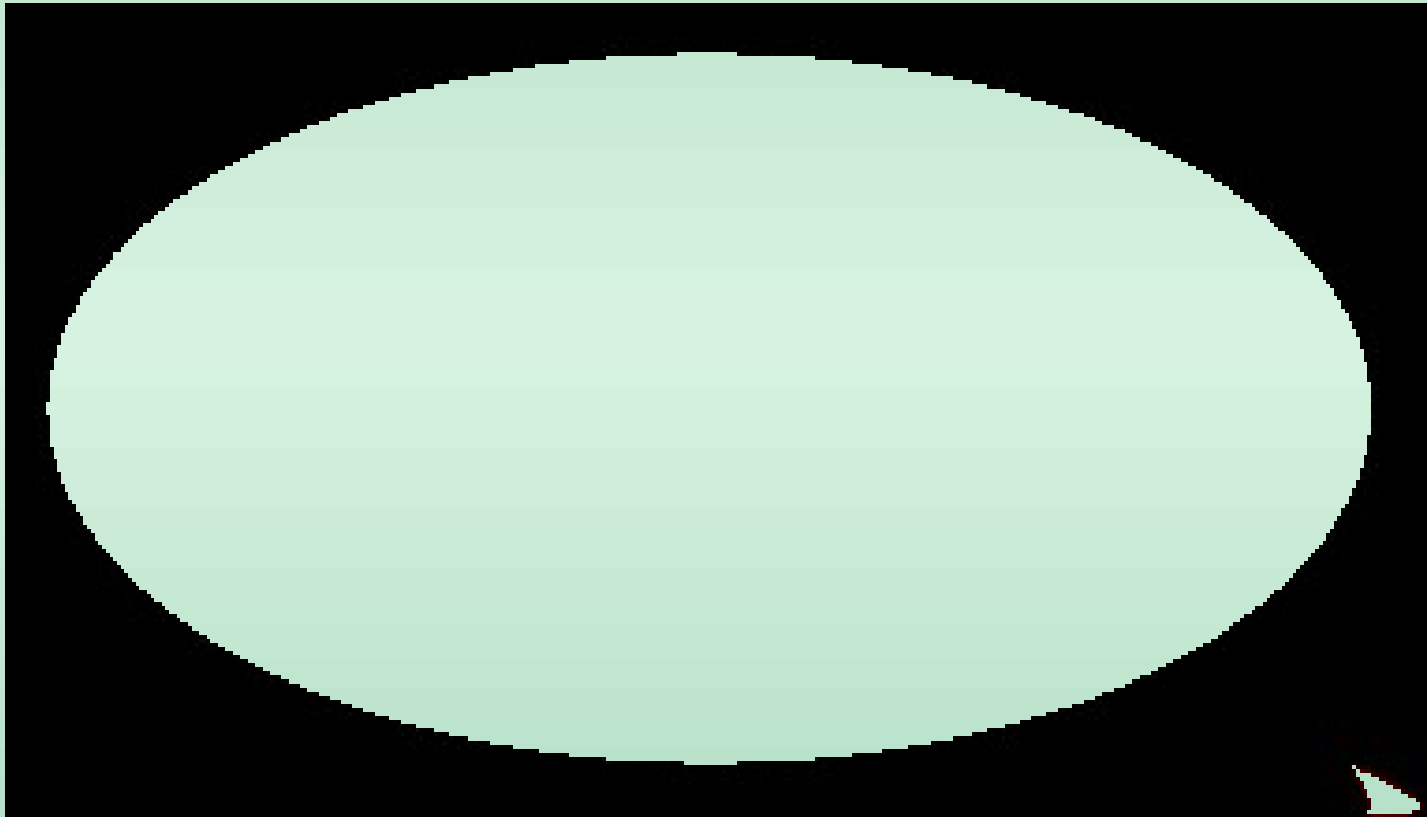
- Relação nível de O_2 e glaciações : causa x efeito ou retroalimentação?



- Deriva continental / “Continental drift” - deslocamento causado pela tectonica de placas – teoria publicada por meteorólogo Wegener



➤ Terra: um planeta dinâmico

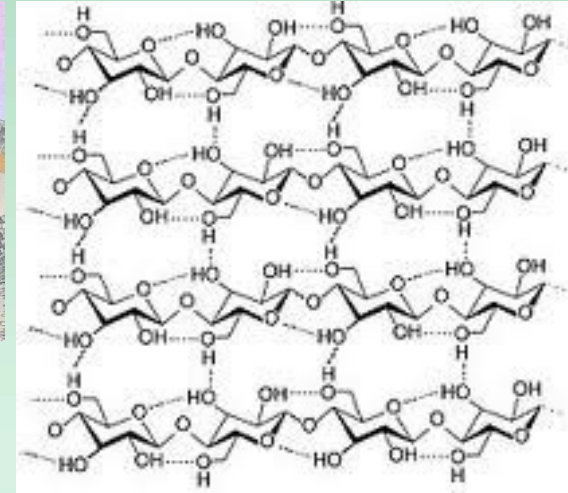
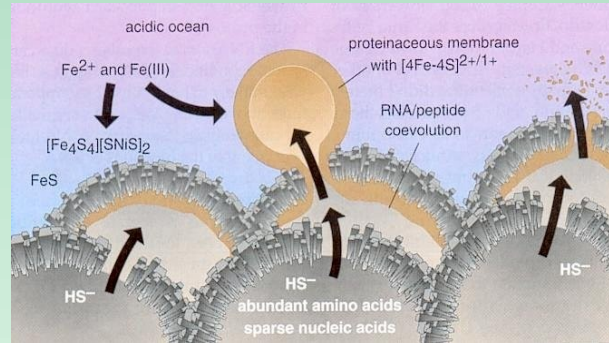
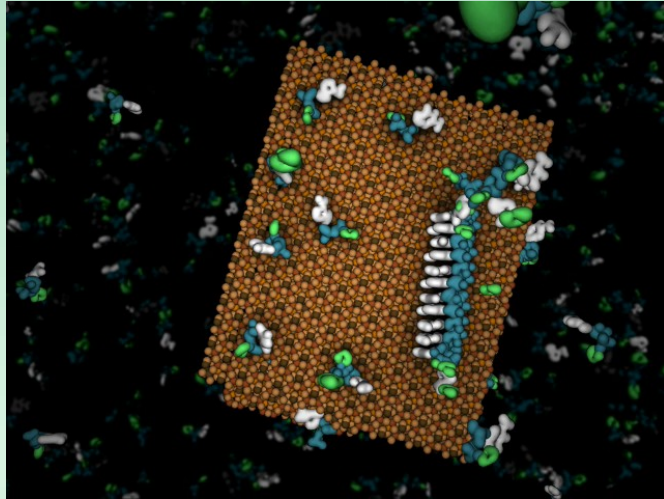


Cenozoic

Mesozoic

Paleozoic

Precambrian



Recursos e Auto-organização de biomoléculas



Universidade Federal do ABC

Características de carbono

NHZ3043-15 Nocões da Astronomia e Cosmologia

Astrobiologia

GPeriodic

Carbon

Name: Carbon
Symbol: C
Atomic Number: 6
Atomic Weight (u.m): 12.011
Density (g/cm³): 2.25 (graphite)
Melting Point (K): 3820
Boiling Point (K): 5100
Atomic Radius (pm): 91
Covalent Radius (pm): 77
Ionic Radius (pm): 16 (+4e) 260 (-4e)
Atomic Volume (cm³/mol): 5.3
Specific Heat (@20°C J/g mol): 0.711
Fusion Heat (kJ/mol): n/a
Evaporation Heat (kJ/mol): n/a
Thermal Conductivity (@25°C W/m K): 1.59
Debye temperature (K): 1860.00
Pauling Negativity Number: 2.55
First Ionizing Energy (kJ/mol): 1085.7
Oxidation states: 4, 2, -4
Electronic Configuration: [He] 2s² 2p²
Lattice structure: DIA
Lattice constant (Å): 3.570
Lattice c/a ratio: n/a
Appearance: Dense, Black
Discovery date: n/a (Unknown)
Discovered by: Known to the ancients
Named after: Latin: carbo, (charcoal).

OK

Periodic Table (GPeriodic):

He																	
Ne	F	O	N	C	B												
Ar	Cl	S	P	Si	Al												
Kr	Br	Se	As	Ge	Ga	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr					
Xe	I	Te	Sb	Sn	In	Cd	Ag	Pd	Rh	Ru	Tc	Mo					
Rn	At	Po	Bi	Pb	Tl	Hg	Au	Pt	Ir	Os	Re	V					
	Uus	Uuh	Uup	Uuq	Uut	Uub	Rg	Ds	Mt	Hs	Bh	G					
	Yb	Tm	Er	Ho	Dy	Tb	Gd	Eu	Sm	Pm	Cd						
	No	Md	Fm	Es	Cf	Bk	Cm	Am	Pu	Np	J						

- Elemento 4º mais abundante no universo
- Eletronegatividade média
- Comprimento de ligação C-C em cadeias é 154 pm (sp³-sp³) – menor que 2 x raio atômico (91 pm) → catenação forte
- Camada de valência é a menos difusa → possibilidade de fazer ligação π longa

➤ Química orgânica

- Compostos apolares (hidrocarbonetos)
- Compostos polares
 - Que afetam tensão lateral – álcoois (diminuem), íons (aumentam)
 - Que não afetam tensão lateral – açúcares
 - Ácidos (maioria de metabolitos) e bases (maioria de cofatores, nucleobases) e compostos acidobásicos zwitteriônicos (aminoácidos) – tamponamento!
- Compostos anfifílicos (lipídeos) – diminuem tensão lateral até CMC
- Múltiplos estados redox:
 - CH_4 , CH_3OH , CH_2O , CHOOH , CO_2
 - $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{R}$, $-\text{CH}=\text{CH}-\text{R}$, $-\text{CH}_2-\text{CHOH}-\text{R}$, $-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{R}$, $\text{CH}_2-\text{COOH} + \text{R}$

➤ CO_2 é gasoso em condições terrestres:

- oxidação de carbono leva a “lixo” facilmente descartável
- Material primário presente na atmosfera e dissolvido em solvente (hidrosfera)

➤ CO_2 (C mais oxidado) e CH_4 (C mais reduzido) são gases estufa

➤ Carbono se liga covalentemente com muitos outros elementos

- Não metais – H, N, O, P, S, Se, halogênios
- Metais de transição – Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn
- Metais alcalinoterrosos – Mg

Quiralidade

➤ Compostos quirais

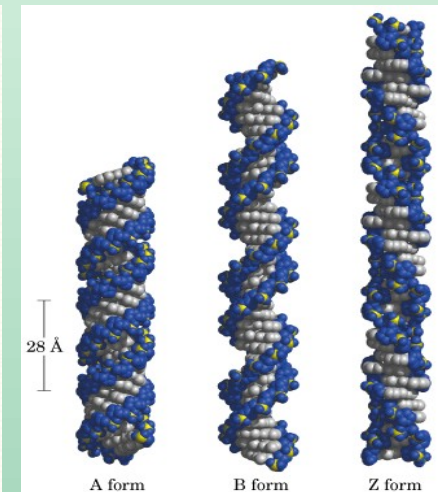
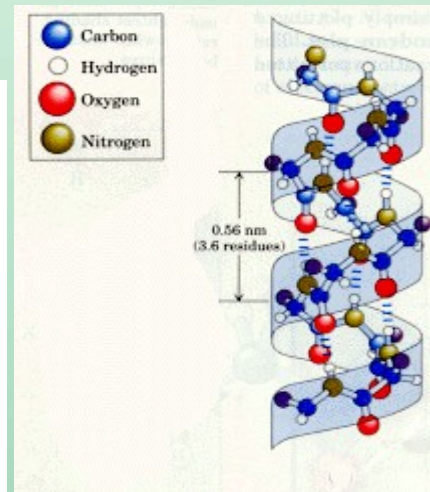
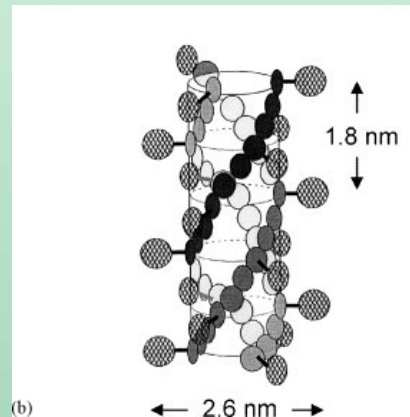
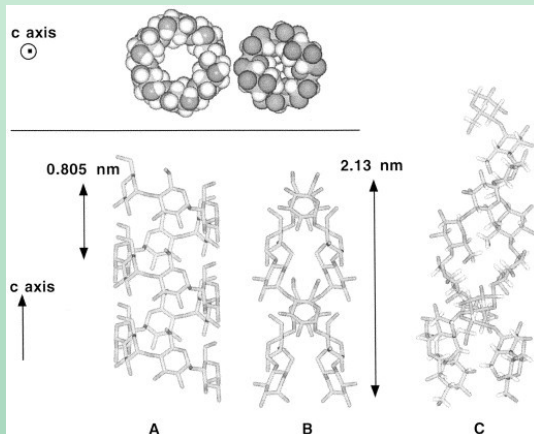
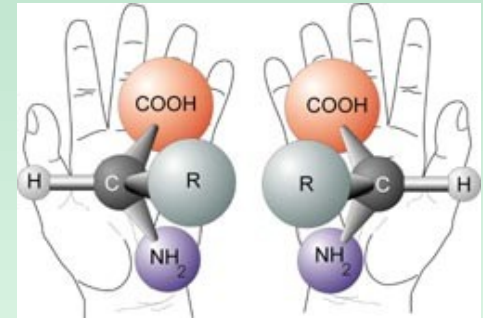
- objetos não sobreponíveis à sua própria imagem no espelho

➤ Biomoléculas quirais:

- L-aminoácidos
- D-açúcares

➤ Bioestruturas quirais:

- α -hélice – dextrogiro e feita de L-aminoácidos (!)
- Hélice dupla de ácidos nucleicos
 - formas A e B dextrogiros e feitas a partir de fosfato-D-açúcar (!)
 - Forma Z levogira (“sobretorcida”)
- Hélices simples (A, B) e dupla de amilose (V)
- Hélice tripla de 1→3 glucano



- Definição: uso exclusivo de um tipo de enantiômeros para construir biomoléculas
- Homoquiralidade reduz drasticamente o número possível de diastereoisômeros
 - Um polipeptídeo de 100 aminoácidos com determinada sequência feito de:
 - somente L-aminoácidos – resulta em 1 diastereoisômero
 - aminoácidos com quiralidade aleatória resultaria em 2^{100} ($\sim 10^{30}$) diastereoisômeros!
- Polipeptídeos com sequência determinada em termo de tipo e enantiômero de aminoácidos requeriam
 - tRNA diferentes para L- e para D-enantiômeros do mesmo aminoácido
 - Aminoacil tRNA sintetases diferentes para L- e para D-enantiômeros do mesmo aminoácido
 - Proteases específicas para ligação peptídica tipo L-X e tipo D-X
 - Racemases para garantir a fonte de ambos enantiômeros de cada aminoácido
 - Peptidil transferase (ribozima!) quiralmente não específica
- DNA com L- e D-desoxirriboses aleatórios teria mesmo problema com excesso de diastereoisômeros
- DNA com enantiômeros ordenados ainda também perderia a estrutura de ordem superior como hélice dupla que é essencial para a função dele

- Quebra espontânea de simetria – adsorção diferenciada:
 - Superfícies quirais podem levar a adsorção preferencial de enantiômeros de uma solução racêmica
 - Argilas: maioria tem superfícies aquirais
 - Caulinita (caolim) é a princípio quiral mas não foi comprovada a polimerização enantioespecífica de aminoácidos facilitada por caolim
- Violação de paridade (PV)
 - Wu et al., 1957: descoberta de que a interação fraca não obedece a paridade.
 - Núcleos de ^{60}Co polarizados (alinhados) no campo magnético que sofrem decaimento β , **emitem elétrons do polo sul deles com maior probabilidade do que do polo norte** – emissão de elétrons é mais antiparalela → elétrons preferem a hélice levógira
 - Força eletro-fraca – unificação das forças nuclear fraca + eletromagnética
 - Interage tanto com núcleos, como com elétrons
 - Distingue entre os lados esquerdo e direito → **enantiômeros não deveriam ter a mesma energia!**
 - A diferença de energia da violação de paridade (PVED) é pequena - $\sim 10^{-14} \text{ Jmol}^{-1}$ → excesso de enantiômero (ee) $\sim 10^{-15}\%$
 - Experimentos com Ala, Val, Ser, Asp assim como com gliceraldeído, sugeriram que o PVED tem “sinal correto” (porém o resultado dependeu do método)

Origens da homoquiralidade

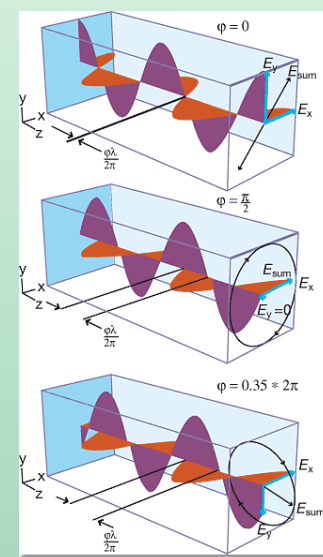
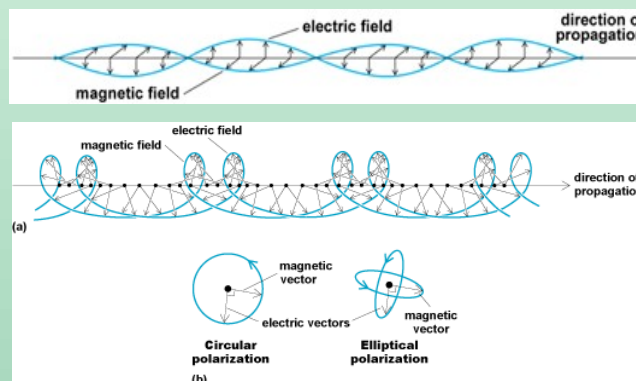
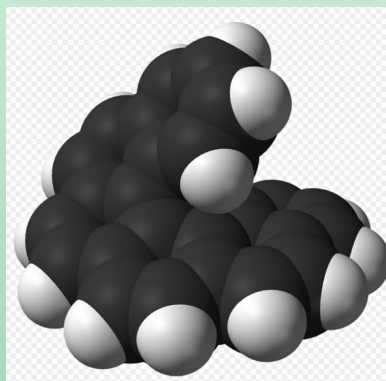
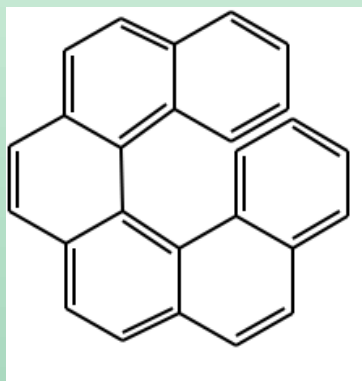
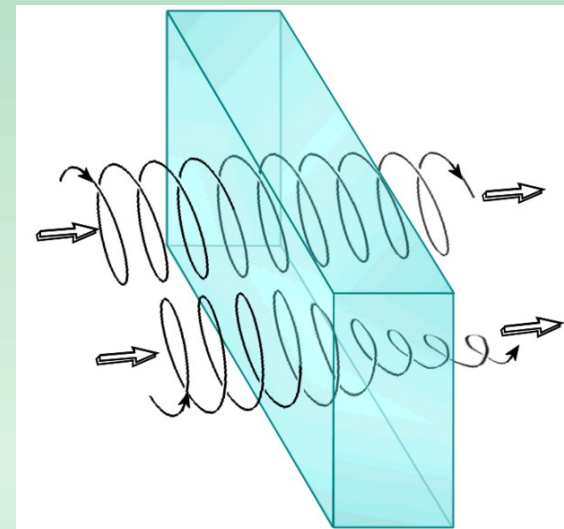
➤ Luz UV polarizada circularmente (UVCPL):

• Fontes:

- Estrelas de nêutrons
- Partículas de poeira em GMC (giram perpendicularmente ao campo magnético galáctico)

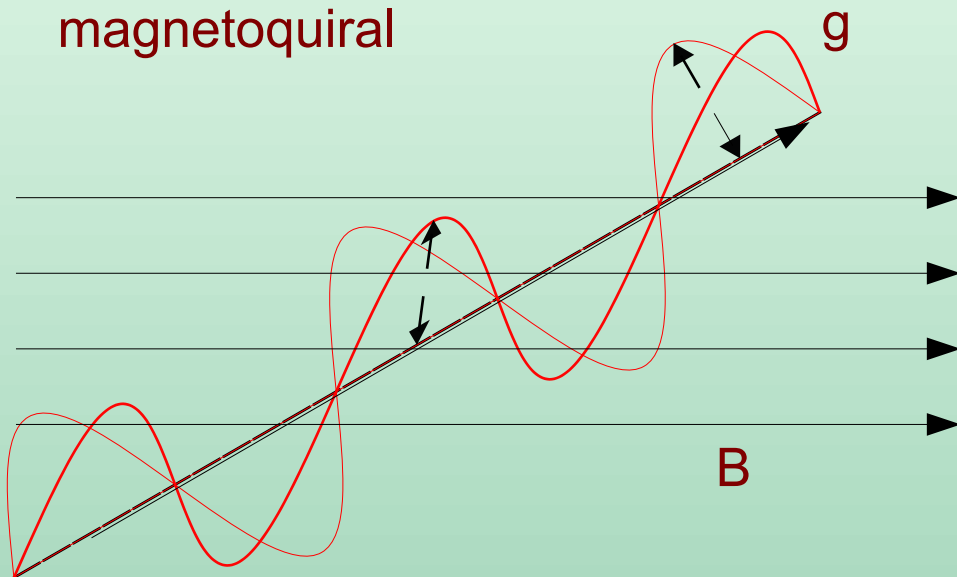
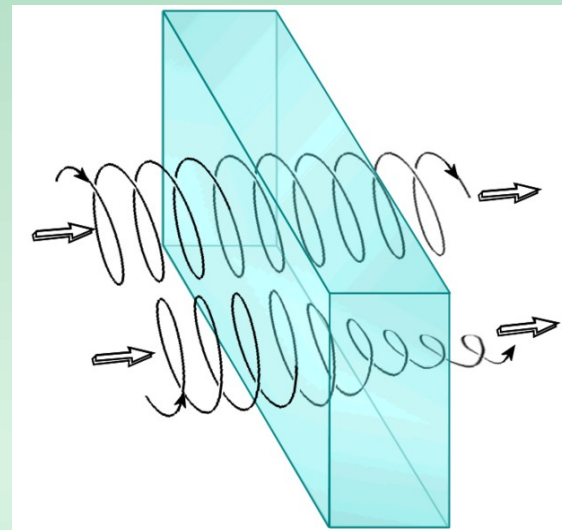
• Função:

- Absorção da UVCPL é maior por um dos enantiômeros → ele é destruído por fotólise mais que o outro enantiômero
- Experimento: a síntese de heliceno foi enantioespecífica na presença de CPL



➤ Dicroísmo magnetoquiral

- Luz não polarizada em campo magnético não ortogonal leva a surgimento de
 - Dispersão magnética rotatória
 - Dicroísmo magnético circular
 - Dispersão magnetoquiral
 - Dicroísmo magnetoquiral
- Estrelas de nêutrons (magnetares) têm campo suficiente para provocar Dicroísmo magnetoquiral



$B.g$ – diferença entre coeficientes de extinção de composto em luz não polarizada e campo magnético B

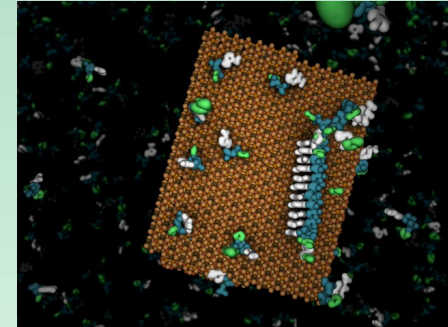
➤ Origem extraterrestre

- Meteoritos podem ter até 10% de vários aminoácidos
- Análise de isótopos revelou a química em temperaturas muito baixas
→ origem do ee pode ser pré-estelar (GMC)
 - UVCPL
 - Dicroísmo magnetocircular

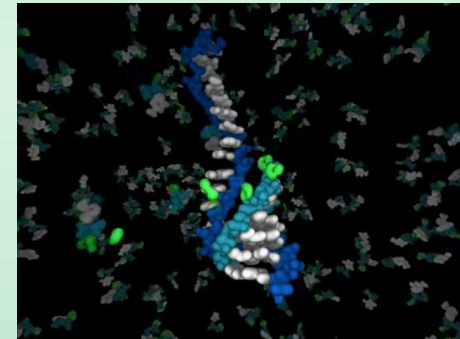


➤ Auto-organização do RNA

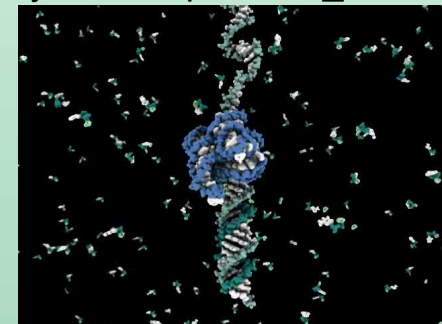
- Uso de argilas ou superestruturas de dipeptídeos ou lipídeos (grupo G1) para construir polímeros de nucleotídeos
 - Polímeros aleatórios
- Autorreplicação não enzimática
 - Uso de molde
 - Muito devagar (para nucleotídeos não ativados)
 - Bastante errônea até construir a ribozima replicase
- Autorreplicação autocatalizada
 - RNA replicado não enzimaticamente tem 2 fitas – a original e a complementar
 - A dupla hélice de RNA dissocia em temperaturas mais altas
 - Fita original se enovela → nasce a ribozima
 - Fita complementar pode ficar quase-linear → nasce o molde
 - Ribozima duplica o molde produzindo nova fita de ribozima original na hélice dupla junto com o molde (fita complementar)
 - A dupla hélice dissocia...



clayPolym.mov



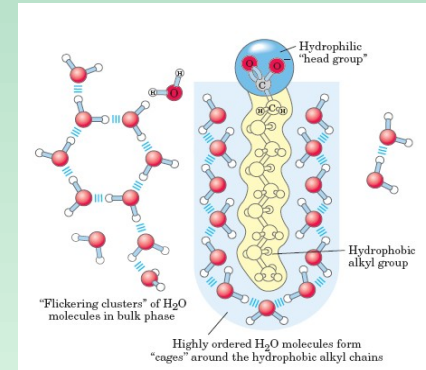
nonEnzymaticReplication_narr.flv



ribozymeReplication_Separation_narr.flv

➤ Hidrofílico vs hidrofóbico

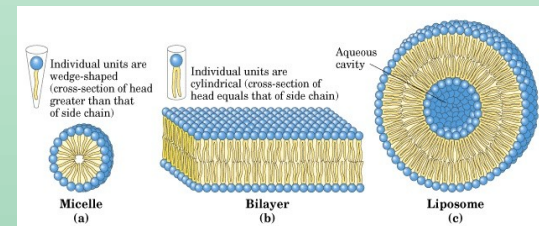
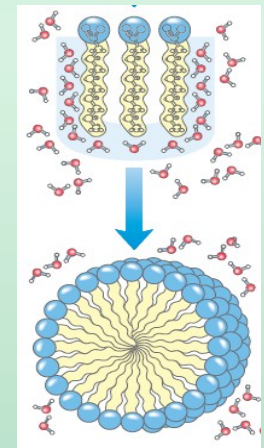
- Água é polar – dissolve melhor compostos hidrofílicos do que os hidrofóbicos
- Compostos hidrofóbicos são “expulsos” para interfaces água líquida com fase sólida (tem que ser menos hidrofílica) ou gasosa



➤ Interfase → superfície → acúmulo de compostos (de 3D para 2D)

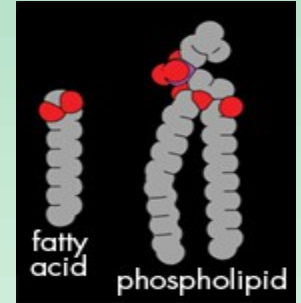
➤ Compostos anfifílicos:

- Parte hidrofílica se direciona a água
- Parte hidrofóbica se direciona para fase orgânica
 - acumulada na interfase com sólidos ou a gasosa → membrana
 - No meio da água se juntam para diminuir a superfície hidrofóbica exposta a água → micelas
 - Concentração micelar crítica (CMC)
 - Temperatura micelar crítica (temp. de Kraft)



➤ Lipídeos e membrana

- Hoje são fosfolipídeos
- Primeiras membranas eram provavelmente de ácidos graxos
- Árqueas tem enantiômero diferente de fosfoglicerol (*sn*-G-1P) das bactérias (*sn*-G-3P)



➤ Ácidos graxos podem ser

- produzidos na argila da face de um geiser
- Distribuídos pela atmosfera
- Formar micelas e a partir delas uma membrana

geyser_I_II_narr.flv

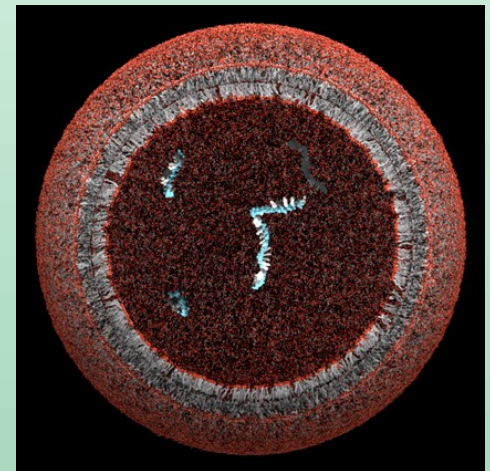
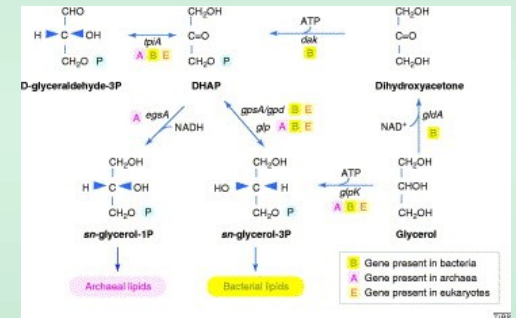
denovo_narr.flv

➤ Membranas deixam passar mononucleotídeos

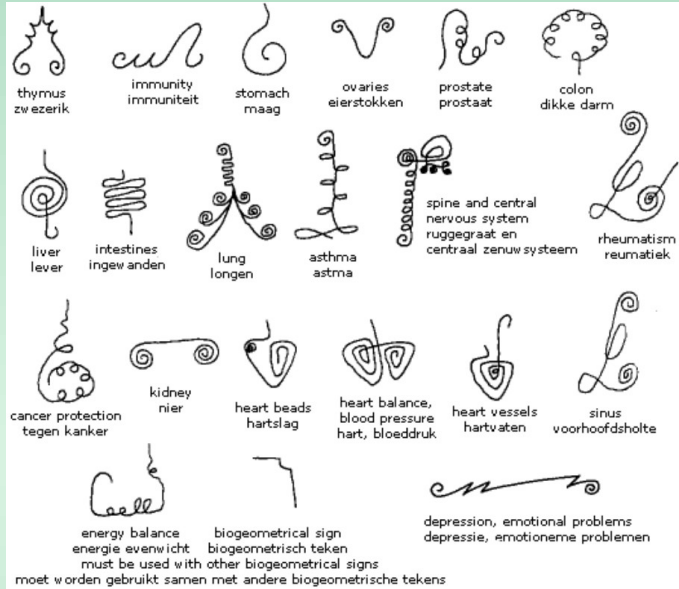
AMPEntry_narr.flv

➤ Polinucleotídeos não podem passar a membrana – início dos coacervados e/ou protocélulas

➤ Protocélulas poderiam se dividir por causa de osmose



Bioassinaturas



Aula 13



Bioassinaturas em atmosferas planetares/lunares

Jiří Borecký
CCNH
2019

Definição

- A bioassinatura é qualquer
 - Substância – um elemento, isótopo, ou molécula
 - Fenômenoque representa uma **evidência científica** da **vida presente** ou **passada**
- Os atributos da vida mensuráveis incluem:
 - Suas estruturas químicas e físicas complexas
 - Sua utilização de energia
 - Produção de biomassa
 - Produção de “lixo”
- A utilidade da bioassinatura é determinada por:
 - A probabilidade de ser criada por vida
 - A improbabilidade de ser produzida por processos não biológicos (abióticos)
- Graças às suas características únicas, a bioassinatura pode ser interpretada como produzida por organismos vivos
- As bioassinaturas, porém, têm que ser consideradas como não definitivas porque não existe conhecimento pleno sobre qual assinatura é:
 - Universal para a vida
 - Única para circunstâncias peculiares para a vida na Terra

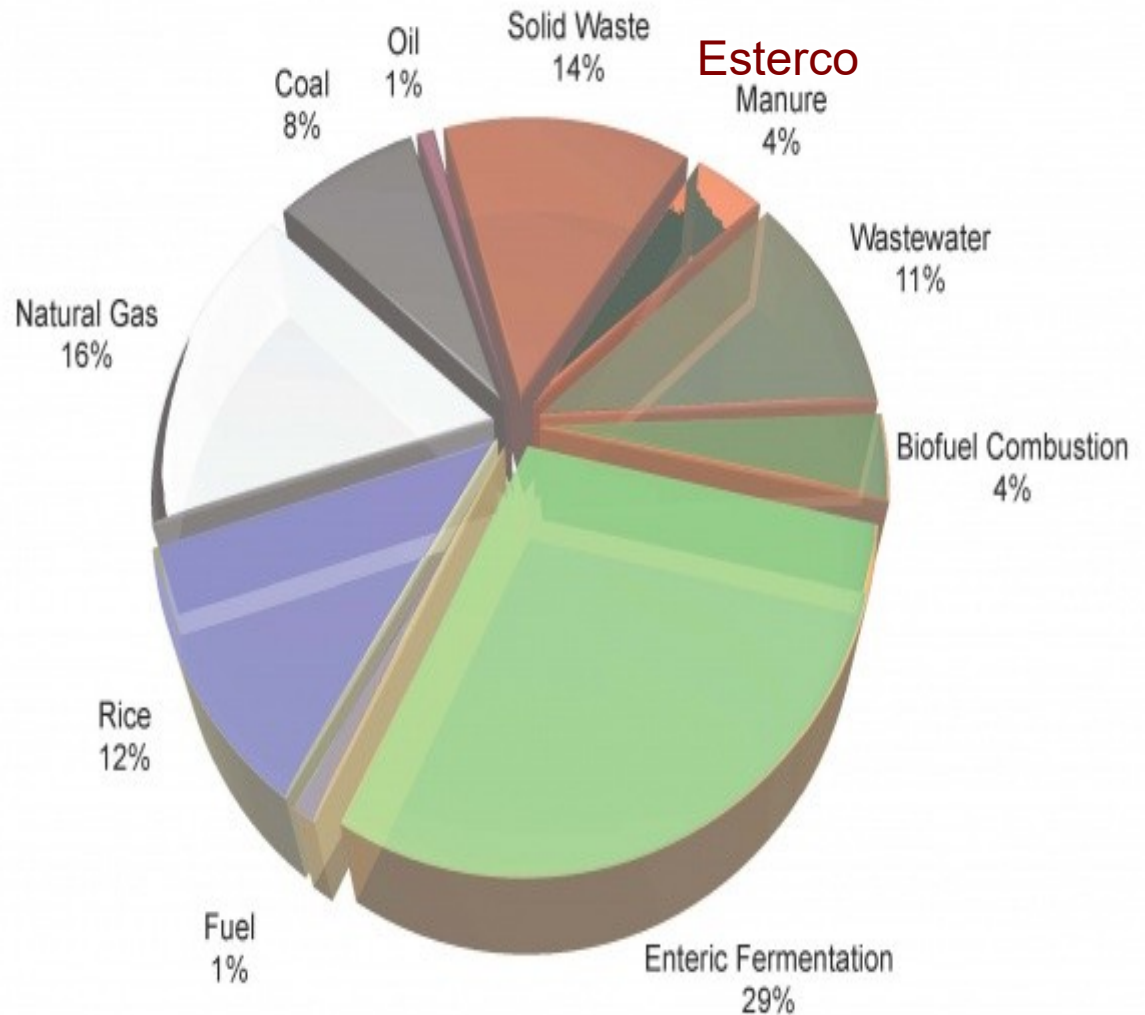
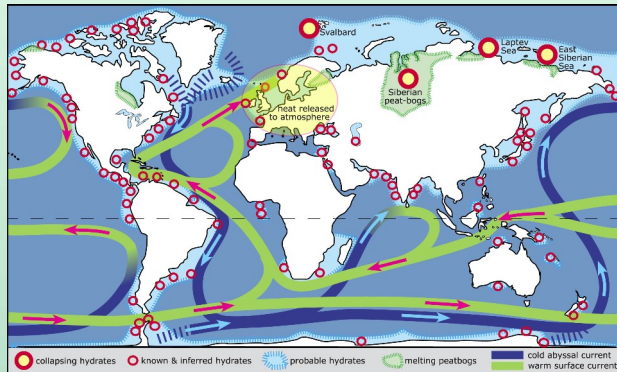
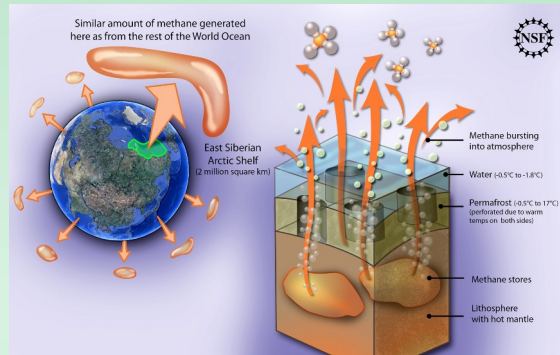
➤ Metano (com oxigênio)

- Metano é produzido por arqueas metanogênicas
 - Fontes hidrotermais no fundo de oceanos
 - Pântanos (decomposição de plantas pelas arqueas)
- Flatulência em humanos
 - Produção normal diária de flato: 476-1491 ml/24 h
 - Metade de *H. sap.* tem a arqueas que produzem até 10% metano e 10-30% CO₂ em flato
 - É estimado ~7,156 bi de pessoas
 - $0,983 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 0,005 (\text{CH}_4) \cdot 7,156 \cdot 10^9 = 34500 \text{ m}^3 = 23 \text{ t/dia} \Rightarrow 8400 \text{ t/ano}$
- Eructações dos ruminantes
 - Produção anual de metano: 80-100 kg/ano
 - É estimado ~1,3 bi de cabeças de gado
 - $0,9 \text{ t/ano} \cdot 1,3 \cdot 10^9 = 1170 \text{ mi t/ano (28\%)}$
- Lixo sólido (14%) e esgoto (11%)



Bioassinaturas

➤ Produção de metano – 410 bi t/ano





The vivid red brine (teeming with halophilic archaeobacteria) of Owens Lake contrasts sharply with the gleaming white deposits of soda ash (sodium carbonate). The picturesque Inyo Range can be seen in the distance.

Vida nas fronteiras: extremófilos



- Extremófilos: Do latim *extremus* e grego *philiā* [φιλία] – amor): organismos que exigem e utilizam as condições fisicamente ou geoquimicamente extremas que são detrimntosas a maioria da vida na Terra
- Extremotolerantes: Do latim *extremus* e *tolerantia* (capacidade de suportar sofrimentos) – organismos que suportam por longo tempo as condições fisicamente ou geoquimicamente extremas mas seu ambiente preferido é mais ameno

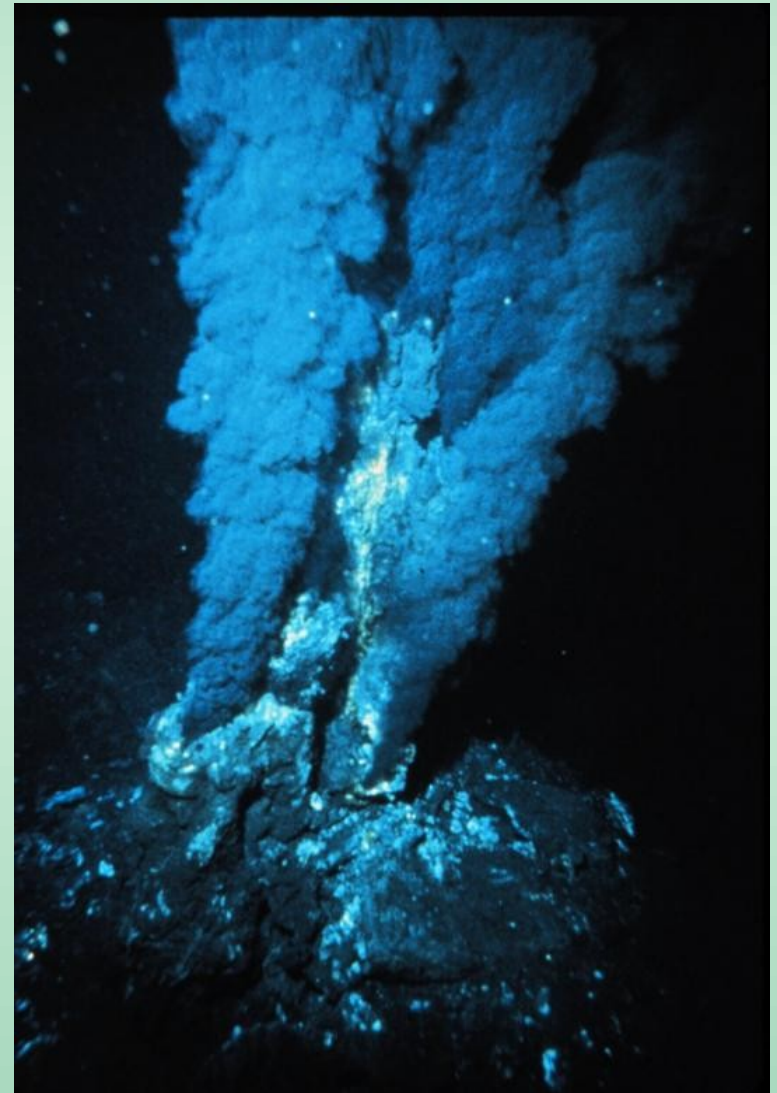
Parâmetro físico-químico	Organismo	Crescimento ótimo	Adaptações moleculares
Temperatura	Hipertermófilo	80–122°C	•DNA: Girase reversa (helicase+topoisomerase) •Lipídeos: mais saturados •Membrana: monocamada menos permeável a H⁺ •Proteínas: mais pontes salinas e -S-S-, maior hidrofobicidade, menos subunidades •Citoplasma: enriquecida com K⁺ ou íon compatível
	Termófilo	60-80°C	•Lipídeos: mais saturados •Proteínas: maior hidrofobicidade
	Psicrófilo Criófilo	≤-5°C	•Lipídeos: menos saturados •Proteínas: mais flexíveis, menor interação entre subunidades, mais subunidades, alta complementaridade enzima-substrato •Moléculas anticongelantes no citoplasma
pH	Acidófilo	pH ≤3	•Capacidade de tamponamento alta •Superfície externa carregada positivamente •Exporte ativo de prótons (bombas)
	Alcalófilo	pH ≥9	•Capacidade de tamponamento alta •Superfície externa carregada negativamente •Importe ativo de prótons (antiporte)
Salinidade	Halófilo	[NaCl] ≥ 0,2 M	•Citoplasma: enriquecida com K⁺ ou íon compatível •Proteínas enriquecidas com aas com carga negativa

Parâmetro físico-químico	Organismo	Crescimento ótimo	Adaptações moleculares
Pressão	Barófilo Piezófilo	110-1000 atm	•DNA: Girase reversa (helicase+topoisomerase) •Lipídeos: menos saturados, menor cauda •Membrana: fluidez elevada •Proteínas: mais aa's pequenos, menos Gly e Pro nas hélices •Citoplasma: "piezólitos" osmólitos Gly, betaina, β-hidroxibutirato
	Endólito	Pressão alta -15°C ou 110°C	•?
Seca	Xerófilo	$a_w < 0,8$	•Citoplasma: osmolaridade elevada •DNA: proteínas estabilizantes e reparo potente
Radiação	Radiotolerante	UV, raios X e γ em doses até 30 kGy	•DNA: proteínas estabilizantes e reparo potente
Metais	Halófilo	Cu, Cd, As, Zn 100-200 mg/l	•Sistemas específicos para detoxicação •Acumulação seletiva de metais (dentro ou fora da célula)
Poucos nutrientes	Oligófilos	Níveis <10% de nutrientes	•Crescimento/metabolismo lento
Muito nutritivo	Osmófilos	Altas níveis de açúcar	•?



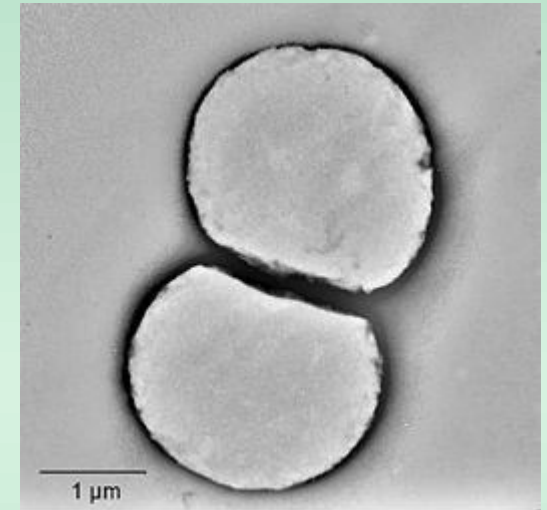
➤ Hipertermófilos de habitats vulcânicos:

- *Desulfurococcales*
 - *Pyrodictium*
 - *Pyrobolus*
 - *Ignicoccus*
 - *Staphylothermus*

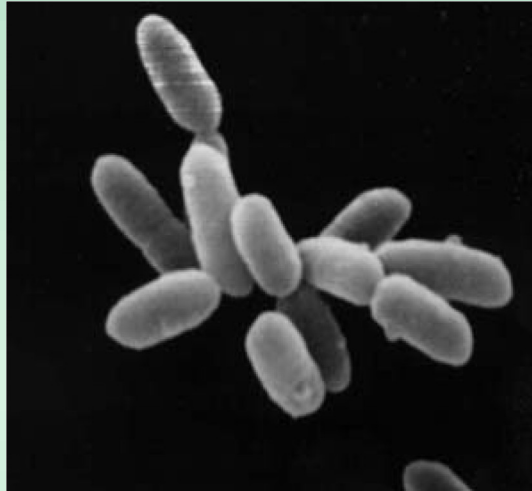


➤ *Picrophilus*

- pH -0,06
- Solfataras no Japão

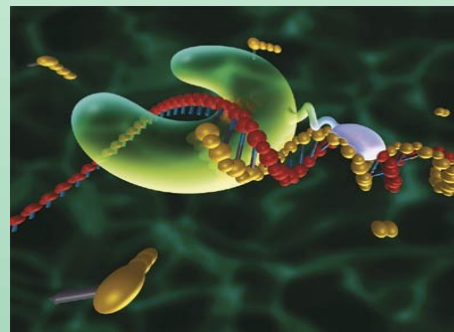
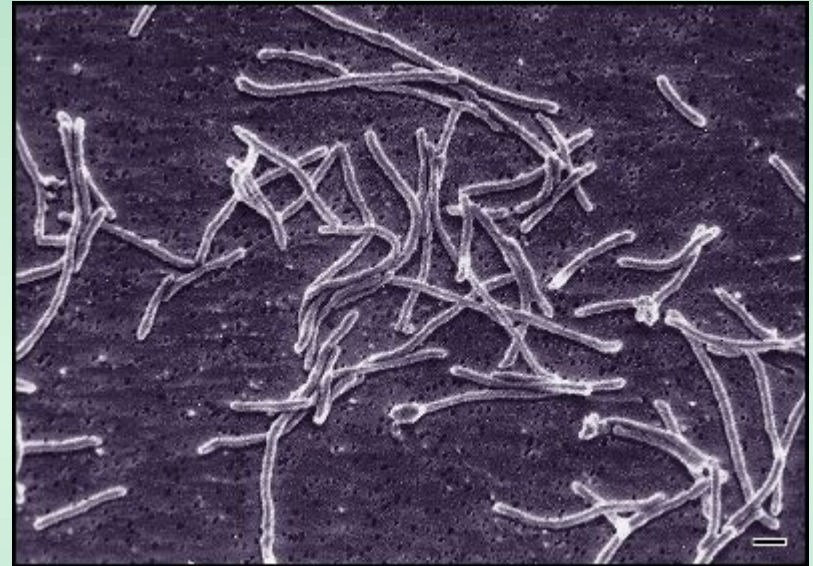


➤ *Halobacterium*



➤ *Thermus aquaticus*

- Termófilo até 79°C (ideal 75°C)
- Quimiorganotrófico
- Aeróbico (incapaz de fazer fermentação)
- Taq DNA polimerase → temperatura ótima – 72 °C

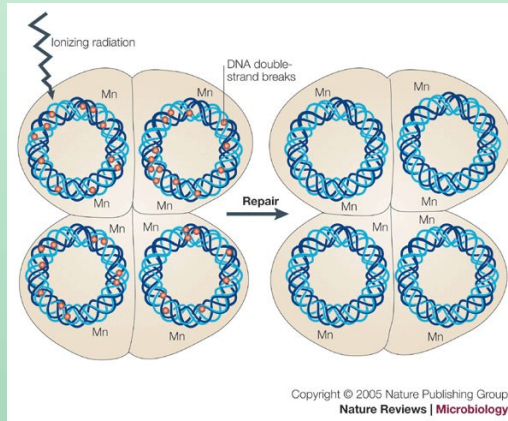
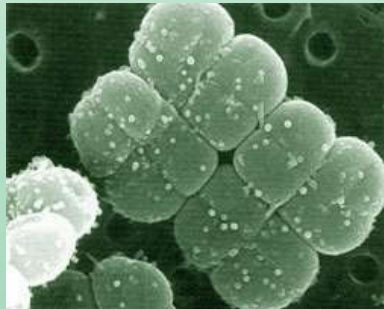


➤ *Deinococcus geothermalis*:

- Resistem a 1500 x mais radiação do que um humano
- Altamente eficiente no reparo
 - Mesmo contra agentes mutagênicos químicos
- Quimiotrófico: reduz
 - Fe (III)-ácido nitrilotriacético,
 - U (VI),
 - Cr (VI).
 - Hg (II)

➤ *Meiothermus silvanus*

- Forma biofilmes em metais
- Problemas em indústrias de papel



➤ Cianobactérias

- Praticamente todo tipo de habitat (quente, frio, seco, salino, alcalino, metálico) exceto o ácido

Cianobactérias em crosta de gipsita



Cianobactérias em parque de Yellowstone



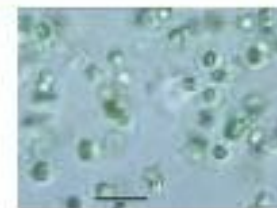
Cianobactérias na Antártida



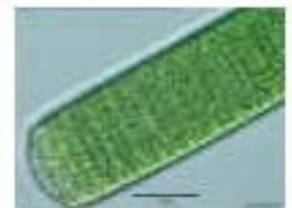
Lago Indiana com cianobactérias



Chroococcus



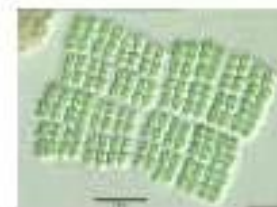
Gloeocapsa



Oscillatoria



Tolypothrix



Merismopedia



Gloeotrichia

- Larvas de *Ephydra brucei*
 - Acidofílica – sobrevive em pH >2
 - Termotolerante <45°C
- Larvas de *Ephydra cinera*
 - Halofílica – sobrevive altas concentrações salinas
- *Helaeomyia petrolei* (epidra, imago e larva)
 - Desenvolve-se em puro petróleo comendo insetos mortos





➤ Hipertermófilos:

- Geologia: A Terra foi muito mais quente quando a vida surgiu (~3,8 Ga atrás) e primeiras fósseis não ambíguas correspondem a procariontes termofílicos
- Filogenia: vários estudos resultaram em raiz da árvore da vida entre as bactérias termofílicas (mas isso depende do método!)
- Metabolismo: muitos hipertermófilos usam reações redox com H_2 , H_2S , FeS que foram propostas em modelo de Wächtershäuser (microcavernas de mackinavita) e são estritamente anaeróbicos

➤ Psicrófilos:

- Vida em frio extremo se assemelha a condições encontradas na Europa (ou Marte de hoje)
- Preservação: um modelo de conservação de vida (ou fósseis) por muito tempo (lago Vostok)

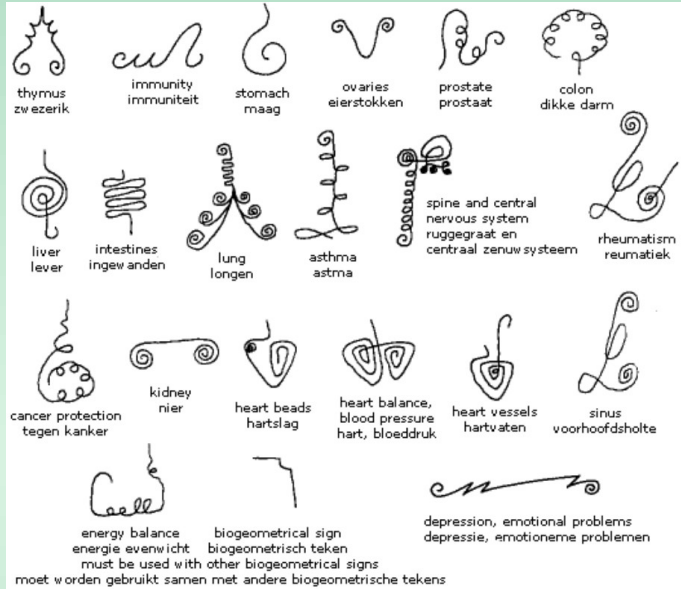
➤ Halófilos e Evaporitos

- Organismos que sobrevivem em rochas se assemelham com as estruturas recentemente achadas no Marte

➤ Barófilos e Endólitos:

- A vida rica e complexa achada em volta de fontes hidrotermais no fundo do oceano aponta para mais provável origem da vida. No fundo do previsto oceano subglacial na Europa poderiam as fontes hidrotermais originar a vida
- A presença da vida em cavernas em profundidades da crosta terrestre sugere a possibilidade de vida nos planetas com atmosfera fina (Marte, exoplanetas)

Bioassinaturas



Bioassinaturas em atmosferas planetares/lunares

Jiří Borecký
CCNH
2019

Definição

- A bioassinatura é qualquer
 - Substância – um elemento, isótopo, ou molécula
 - Fenômenoque representa uma **evidência científica** da **vida presente** ou **passada**
- Os atributos da vida mensuráveis incluem:
 - Suas estruturas químicas e físicas complexas
 - Sua utilização de energia
 - Produção de biomassa
 - Produção de “lixo”
- A utilidade da bioassinatura é determinada por:
 - A probabilidade de ser criada por vida
 - A improbabilidade de ser produzida por processos não biológicos (abióticos)
- Graças às suas características únicas, a bioassinatura pode ser interpretada como produzida por organismos vivos
- As bioassinaturas, porém, têm que ser consideradas como não definitivas porque não existe conhecimento pleno sobre qual assinatura é:
 - Universal para a vida
 - Única para circunstâncias peculiares para a vida na Terra

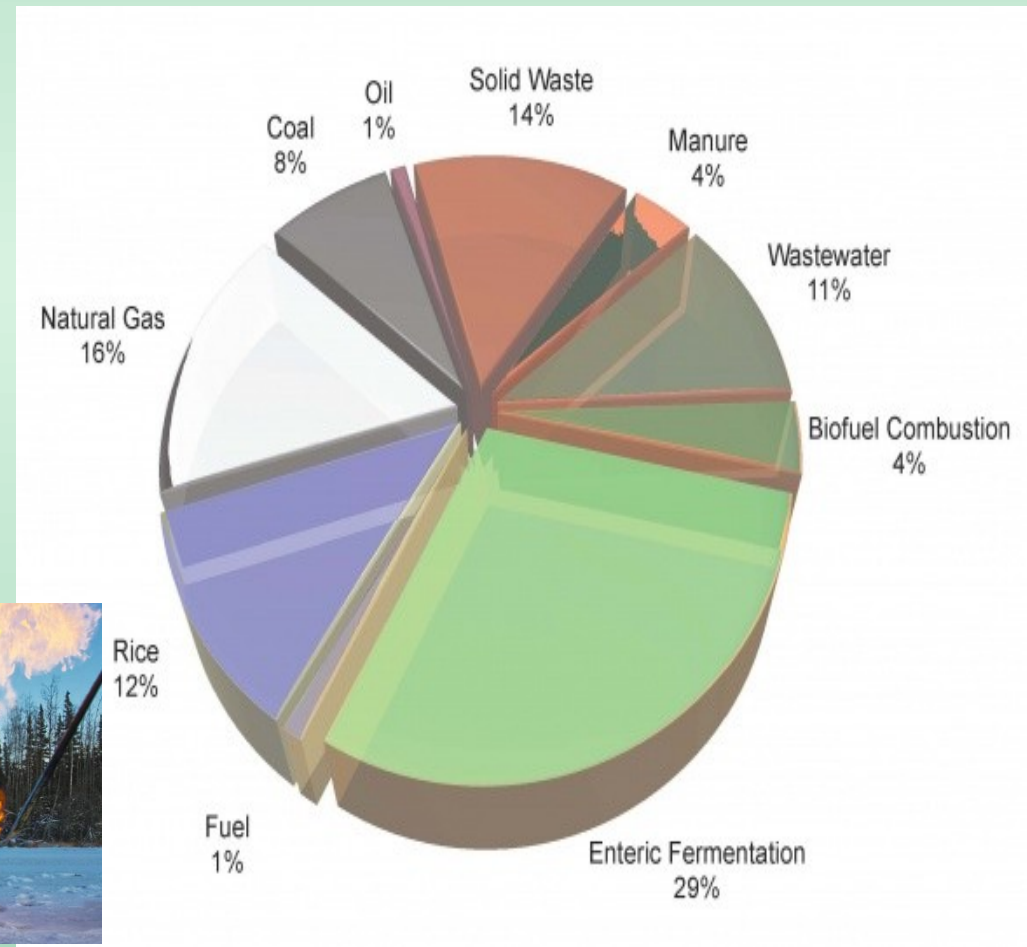
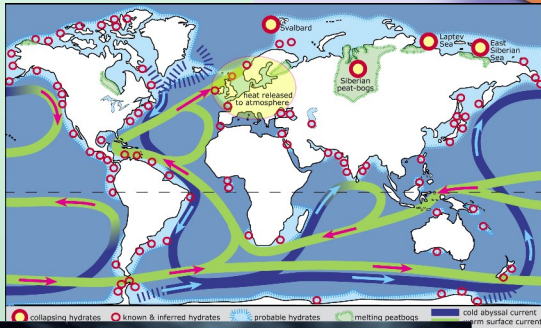
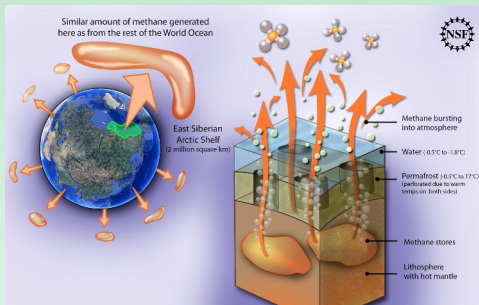
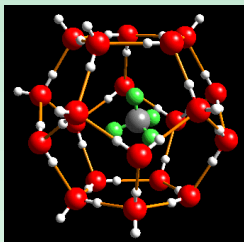
➤ Metano (com oxigênio)

- Metano é produzido por arqueas metanogênicas
 - Fontes hidrotermais no fundo de oceanos
 - Pântanos (decomposição de plantas pelas arqueas)
- Flatulência em humanos
 - Produção normal diária de flato: 476-1491 ml/24 h
 - Metade de *H. sap.* tem a arqueas que produzem até 10% metano e 10-30% CO₂ em flato
 - É estimado ~7,156 bi de pessoas
 - $0,983 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 0,005 (\text{CH}_4) \cdot 7,156 \cdot 10^9 = 34500 \text{ m}^3 = 23 \text{ t/dia} \Rightarrow 8400 \text{ t/ano}$
- Eructações dos ruminantes
 - Produção anual de metano: 80-100 kg/ano
 - É estimado ~1,3 bi de cabeças de gado
 - $0,9 \text{ t/ano} \cdot 1,3 \cdot 10^9 = 1170 \text{ mi t/ano (28\%)}$
- Lixo sólido (14%) e esgoto (11%)



Bioassinaturas

- Produção de metano – 410 bi t/ano
- Depósitos de metano em clatratos/hidratos





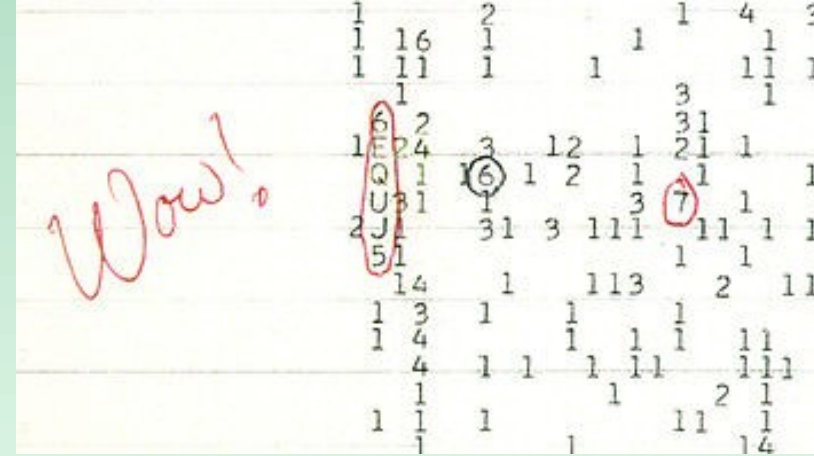
Universidade Federal do ABC



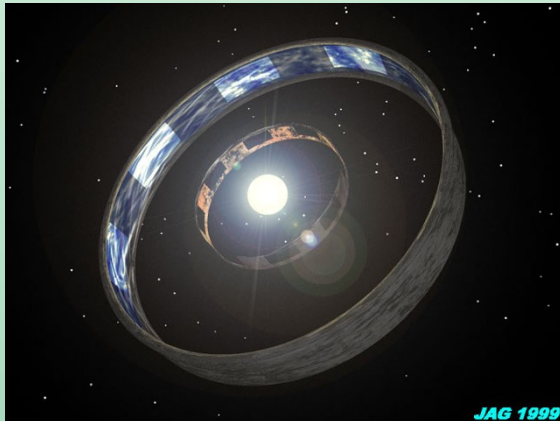
Bioassinaturas

NHZ3043-15 **Nocões da Astronomia e Cosmologia**

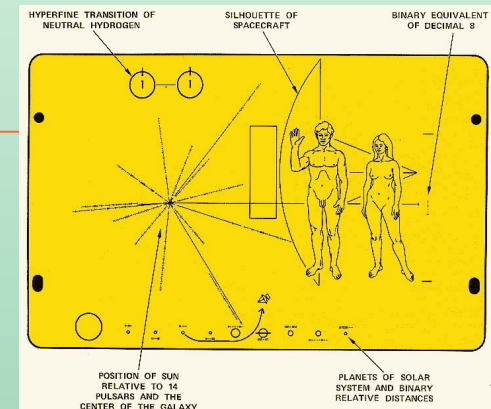
Astrobiologia



Busca de vida inteligente



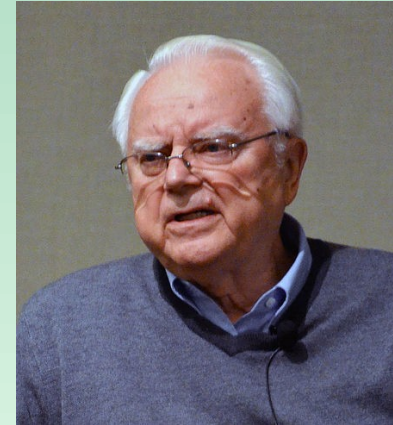
Jiří Borecký
CCNH
2019



Equação de Drake

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

- **N** – no. de civilizações extraterrestres em nossa galáxia com chances de estabelecer comunicação
- **R*** – taxa de formação de estrelas em nossa galáxia
- **f_p** – fração de estrelas com planetas em órbita
- **n_e** – número médio de planetas com potencial de desenvolver a vida por estrela que tem planetas
- **f_l** – fração dos planetas (com potencial para vida) que realmente desenvolvem vida
- **f_i** – fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente
- **f_c** – fração dos planetas que desenvolvem vida inteligente e que têm o desejo e os meios necessários para estabelecer comunicação
- **L** – tempo esperado de envio de sinais (= vida da civilização)
- Estimação original do Drake: $N = 7 \times 0,5 \times 2 \times 0,33 \times 0,01 \times 0,01 \times 10\,000 = 2,31$
- Estimação - teoria de “Terra rara”: $N = 1,5 \times 10^{-5} \times 10^{-9} \times 0,2 \times 304 = 9,1 \times 10^{-11}$
- Estimação otimista: $N = 3 \times 1 \times 0,2 \times 0,13 \times 1 \times 0,2 \times 10^9 = 156,000,000$



Frank Donald Drake (* 28/05/1930)

Conceito de “Terra rara” → improbabilidades:

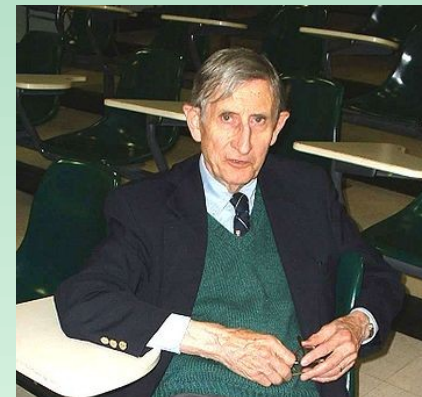
- Localização certa do sistema solar em galáxia certa
 - Zona habitável galáctica estreita (7-9 kpc)
 - Galáxia espiral com barra, com núcleo inativo e com poucas colisões com outras galáxias (~7% do total)
 - Sistema solar perto do raio de corrotação – órbita quase circular com raras entradas em braços (cada ~100 mil anos que já foram relacionadas com extinções em massa)
- Distância certa da estrela certa
 - Zona habitável planetária
 - Só estrelas entre classes F e K tem chance de formar planetas rochosas dentro da zona habitável (9% de todas estrelas com fusão de H)
 - Luminosidade da estrela tem que ser constante
- Arranjo certo de planetas
 - Presença de jupiteriano (não quente) na distância certa – proteção contra excesso de impactos de asteroides no planeta com vida
 - O jupiteriano tem que ter sua órbita pouco excêntrica (raro entre exoplanetas)
- Tamanho do planeta certo
 - Planeta pequeno – pouca atmosfera, mais irregular (montanhas), núcleo resfia mais cedo
 - Planeta grande – alta pressão atmosférica, efeito estufa extremo
- Núcleo líquido – campo magnético forte, tectônica de placas
- Lua grande – estabilidade da inclinação orbital → estações regulares
- Gatilhos da vida – sem impacto no Yucatán, não teria dominância de mamíferos

Falta de comunicação:

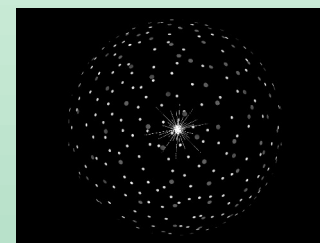
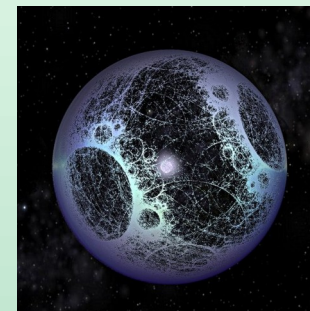
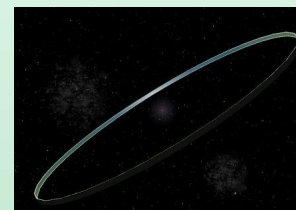
- Existem muitas comunicações mas nossa civilização não é ainda capaz de detectá-los
- As civilizações extraterrestres estão em modo de vigilância passiva, esperando se a nossa consegue chegar no nível apropriado para comunicação
- As civilizações extraterrestres usam o planeta Terra como “fazenda” para utilizar nossa civilização para “produção pecuária” deles
- As civilizações extraterrestres usam o planeta Terra como “projeto científico” para utilizar nossa civilização “cobaias”
- As civilizações extraterrestres tem intenções hostis e esperam um momento fraco da nossa civilização

Variantes:

- Anel de Dyson
 - Um ou mais anéis de distância variada da estrela
- Bolha de Dyson
 - Arranjo de “estatitas” (satélite estacionário) em padrão não orbital
- Rede de Dyson
 - Rede de cabos com coletores de energia
- Esfera de Dyson
 - Esfera vazia com superfície sólida
- Propulsor estelar
 - Classe A, B e C
- Mundo de bolha
 - Colônia na superfície de esfera que engloba gás



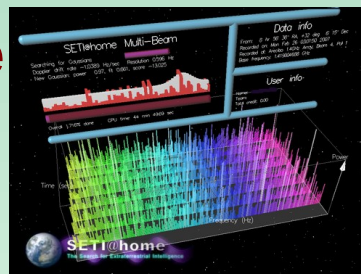
Freeman John Dyson
15/12/1923



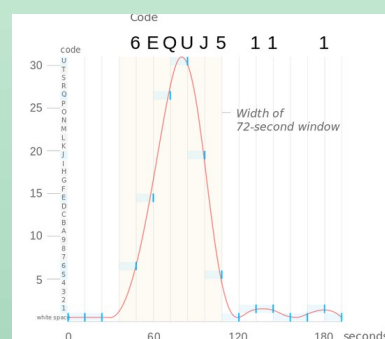
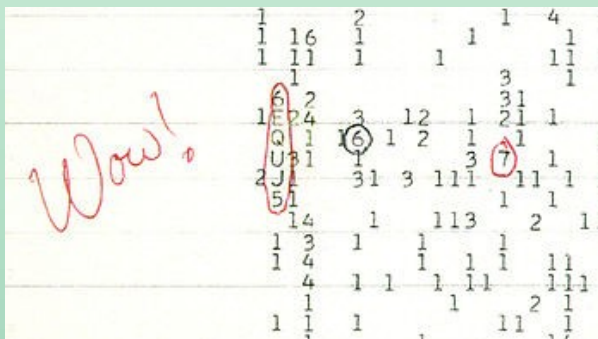
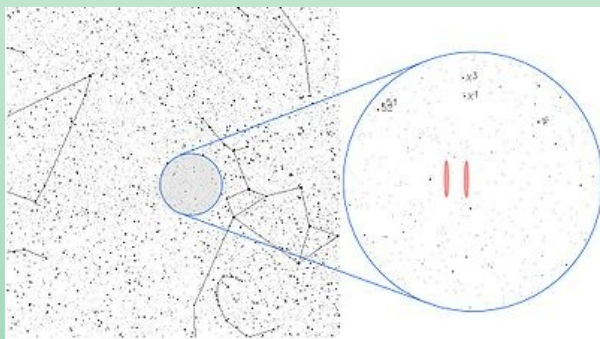
Search for extraterrestrial life

➤ Sinal WOW! - 6EQUJ5 (15/8/1977)

- Frequência:
 - 1420.36 MHz (J. D. Kraus)
 - 1420.46 MHz (J. R. Ehman)
 - 1420.41 MHz – linha de H
- Largura da onda – 10 kHz
- Local – 2 possibilidades em Sagitário
- Explicações:
 - Sinal extraterrestre
 - Cintilação de sinal constante
 - Reflexo de sinal terrestre (banda protegida)

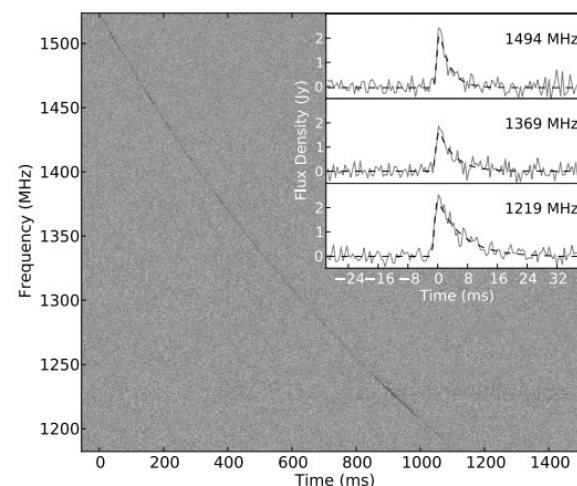
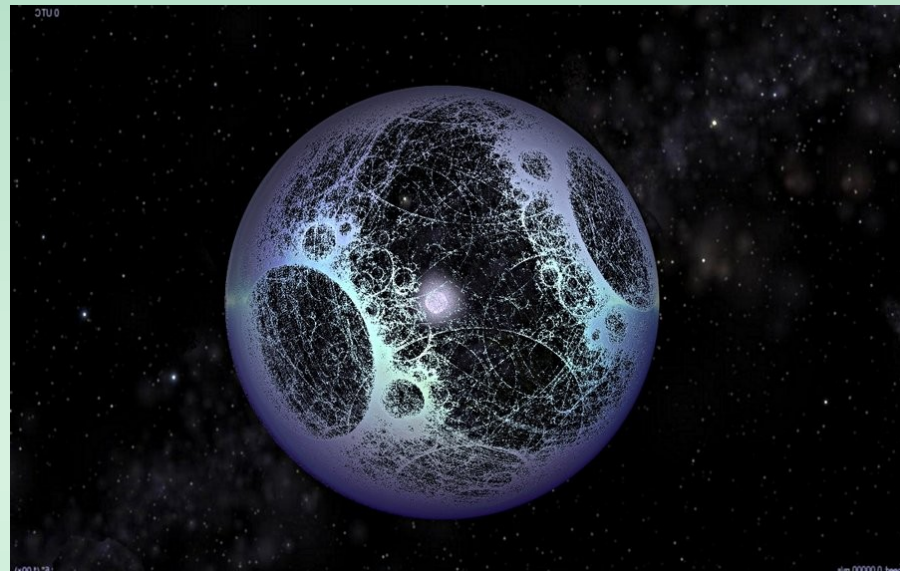


FAST – o maior radiotelescópio do mundo 500 m (sudoeste da China)

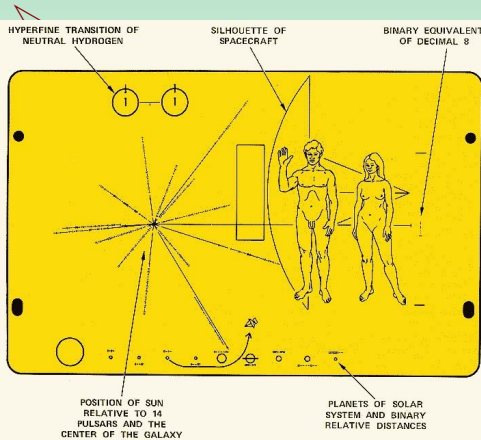


Novo projeto da NASA em busca de civilizações tecnológicas

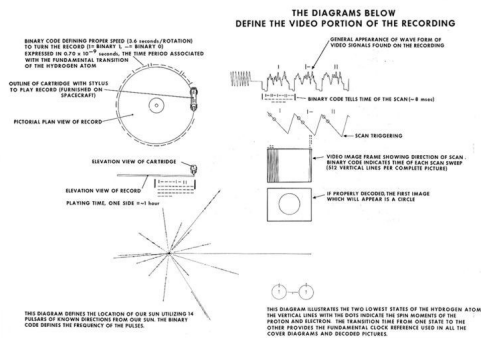
- Definição: qualquer sinal produzido pelo uso de tecnologia
- Exemplos
 - Radioemissoras
 - Emissão de laser
 - Esferas de Dyson
 - Atmosferas muito poluídas
 - Poluição luminosa de população densa
 - FRB
- NASA Technosignatures Workshop, Houston, 26-28 de setembro, 2018.



Placas de Voyageres

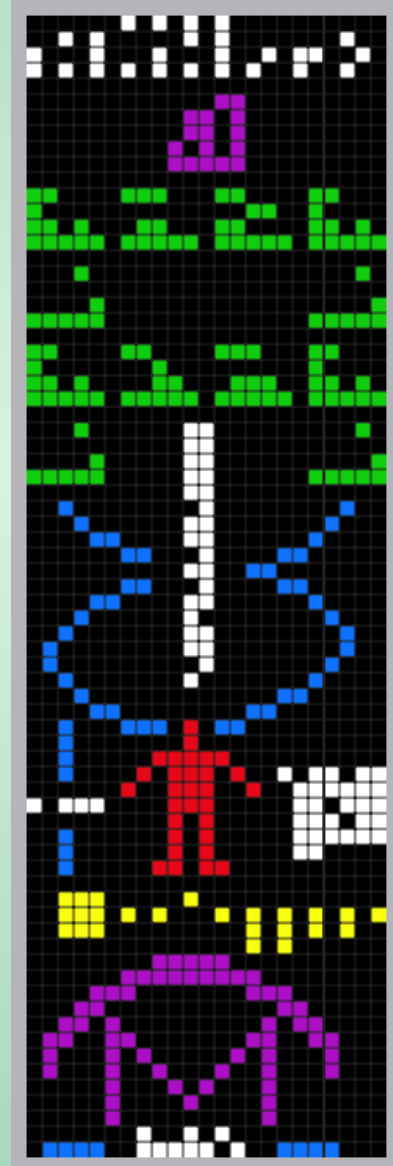


EXPLANATION OF RECORDING COVER DIAGRAM



Mensagem de Arrecibo

- Composto por Drake e Sagan (1974)
- Transmitir a uma possível civilização extraterrestre, informações sobre o planeta Terra e a civilização humana em 1974, pelo SETI com o uso do radiotelescópio porto-riquenho Arecibo.
- Mensagem foi compasta por 1,679 dígitos binários, ~210 bytes, transmitidos a 2,380 MHz e modulados por deslocamento por 10 Hz, com força de 1 MW. A transmissão durou ~3 min.
- Números
- Elementos de DNA
- Nucleotídeos
- Hélice dupla
- Humano
- Sistema solar
- Telescópio



- C. Sagan. O mundo assombrado pelos demônios, Companhia das Letras, 1996.
- O. T. Matsuura. Vida Extraterrestre, Ed. Relume Dumará, 2000
- S.R. Mاتيoli (Ed.). Biologia Molecular e evolução, Ed. Holos, 2001
- P. Ward e D. Brownlee. Sós no Universo, Ed. Campus, 2001
- L. Margulis e D. Sagan. Microcosmos, Ed. Cultrix, 2002
- E.D. Barcelos. Telegramas para Marte, Cia. Das Letras, 2003
- Lunine, J. Astrobiology: a multidisciplinary approach, Ed. Addison-Wesley, 2005
- G. Horneck & P. Rettberg, Complete Course in Astrobiology, Wiley-VCH, 2007.
- M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin & J. Reisse, Lectures in Astrobiology part 1 – The Early Earth and Other cosmic Habitats for Life, Springer, 2006.
- M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin, J. Reisse, Lectures in Astrobiology I part 2 – From Prebiotic Chemistry to Origin of Life on Earth, Springer, 2006.
- I. Gilmour & M.A. Spehton, An Introduction to Astrobiology, The Open University, Cambridge, 2004.
- J.M. Greenberg, C.X. Mendoza-Gomez & V. Pirronelo, The Chemistry of Life's Origin, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1993.

Artigos de divulgação

- E. D. Barcellos e J. Quillfeldt. Onde estão todos os outros? Scientific American Brasil, vol. 19, 2003
- L. M. Krauss e G. Starkmann. O destino da vida. Vol 19, 2003.
- D. Zaia. A busca de vida extraterrestre: uma grande aventura científica. Revista Ciência Hoje, Vol. 30, no. 175, págs 20-27, 2001
- J. Schneider. Strategies to search for life in the Universe. Preprint eletrônico (<http://xxx.lanl.gov/abs/9604131>)

Artigos especializados

- H. Fraser; M. McCoustra; D. Williams. The molecular universe. Astronomy and Geophysics, 43, pág. 10, 2002
- J. Kasting e D. Catling. Evolution of a habitable planet. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol. 41, pag. 429, 2003
- W. Bains. Many chemistries could be used to build living systems. Astrobiology, vol. 4, no. 2, 2004
- C. Chyba e K. Hand. Astrobiology: the study of the living universe. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, vol. 43, pag. 31, 2005
- D. Catling et al. Why O₂ is required by complex life on habitable planets and the concept of planetary “oxygenation” time. Astrobiology, vol. 5, no. 3, pág. 415, 2005
- L. Mix et al., The astrobiology primer: an outline of general knowledge. Astrobiology, vol. 6, no. 5 , pág. 735, 2006
- P. Ehrenfreund et al. Experimentally tracing the key steps in the origin of life: the aromatic world. Astrobiology, vol. 6, no. 3, pág. 490, 2006