

Astrobiologia e a busca científica de vida fora da Terra

Fabio Rodrigues

Instituto de Química - USP

Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia - USP

farod@iq.usp.br



Universidade de São Paulo
Instituto de Química



Vida Extraterrestre

- Prêmio Guzman (1900): 100.000 francos oferecido pela *Académie des sciences* (França) para quem conseguisse estabelecer comunicação extraterrestre.

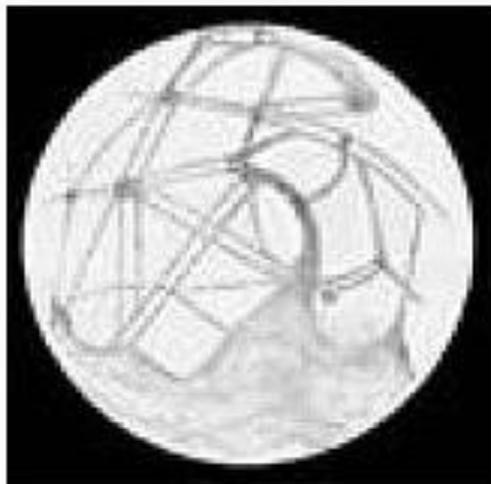
Curiosidade: Em seu texto, o prêmio excluía explicitamente a comunicação com Marte, pois neste planeta era óbvio que havia vida!!



Christiaan Huygens, 1659



Telescopic view, 1960s



Giovanni Schiaparelli, 1888

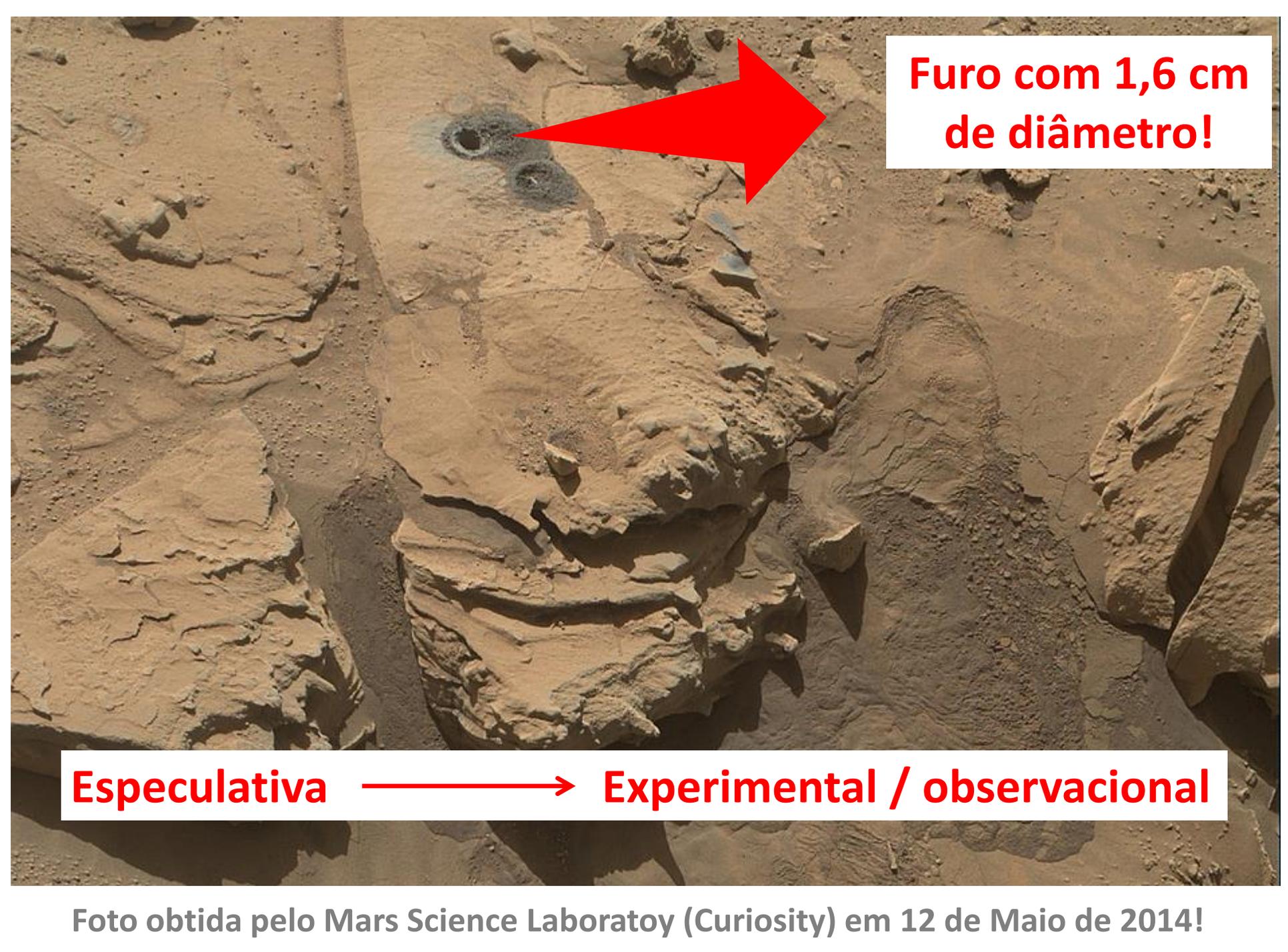


Hubble Space Telescope, 1997



Mars Global Surveyor, 2002

**Evolução das
observações
de Marte!**



**Furo com 1,6 cm
de diâmetro!**

Especulativa —————→ **Experimental / observacional**

Foto obtida pelo Mars Science Laboratory (Curiosity) em 12 de Maio de 2014!

O que é astrobiologia?

Não é uma nova disciplina, mas um novo enfoque a antigos temas

Origem e evolução da vida

Distribuição da vida, na Terra e fora dela

Futuro da vida

O que é astrobiologia?

Não é uma nova disciplina, mas um novo enfoque a antigos temas

Astrobiólogo??

- **Físicos, químicos, biólogos, astrônomos, geólogos, cientistas planetários, filósofos, etc.**
- **Interessados nos problemas e com o enfoque proposto pela astrobiologia!**

Big Bang



Estrelas e supernovas

↳ Formação dos elementos

Grupo →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Período																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lantanídeos	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinídeos	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Big Bang



Estrelas e supernovas

↳ Formação dos elementos



Moléculas
(Astroquímica)

2 átomos: AlO, C₂, CH, CH⁺, CN, CN⁺, CN⁻, CO, CO⁺, CS, FeO, H₂, HCl, HCl⁺, HO, OH⁺, KCl, NH, N₂, NO, NO⁺, NaCl, MgH⁺, O₂, PO, SH, SO, SiC, SiN, SiO, TiO etc.

3 átomos: AlOH, C₃, C₂H, C₂O, C₂P, CO₂, H₃⁺, H₂C, H₂O, H₂O⁺, HO₂, H₂S, HCN, HNC, HCO, HCO⁺, HCP, HNC, HN₂⁺, MgCN, NH₂, N₂H⁺, N₂O, NaOH, O₃, SO₂, SiC₂, SiCN, TiO₂ etc.

4 átomos: CH₃, C₃H, C₃N, C₂H₂, H₂CN, H₂CO, HCCN, HCNH⁺, HOCO⁺, HOCN, HOOH, NH₃ etc.

5 átomos: C₅, CH₄, CH₃O, C₃H₂, H₂CCN, H₂C₂O, H₂CNH, C₄H, HCOOH, NH₂CN, SiH₄ etc.

6 átomos: c-H₂C₃O, C₂H₄, CH₃CN, CH₃OH, CH₃SH, H₂C₄, HCONH₂, C₅H, HC₂CHO, HC₄N etc.

7 átomos: c-C₂H₄O, CH₃C₂H, H₃CNH₂, CH₂CHCN, H₂CHCOH, C₆H, HC₄CN, CH₃CHO etc.

**Presença de espécies neutras, íons e radicais;
Grande número de compostos contendo C, H e O;
Formação de cadeias carbônicas longas!**

Big Bang

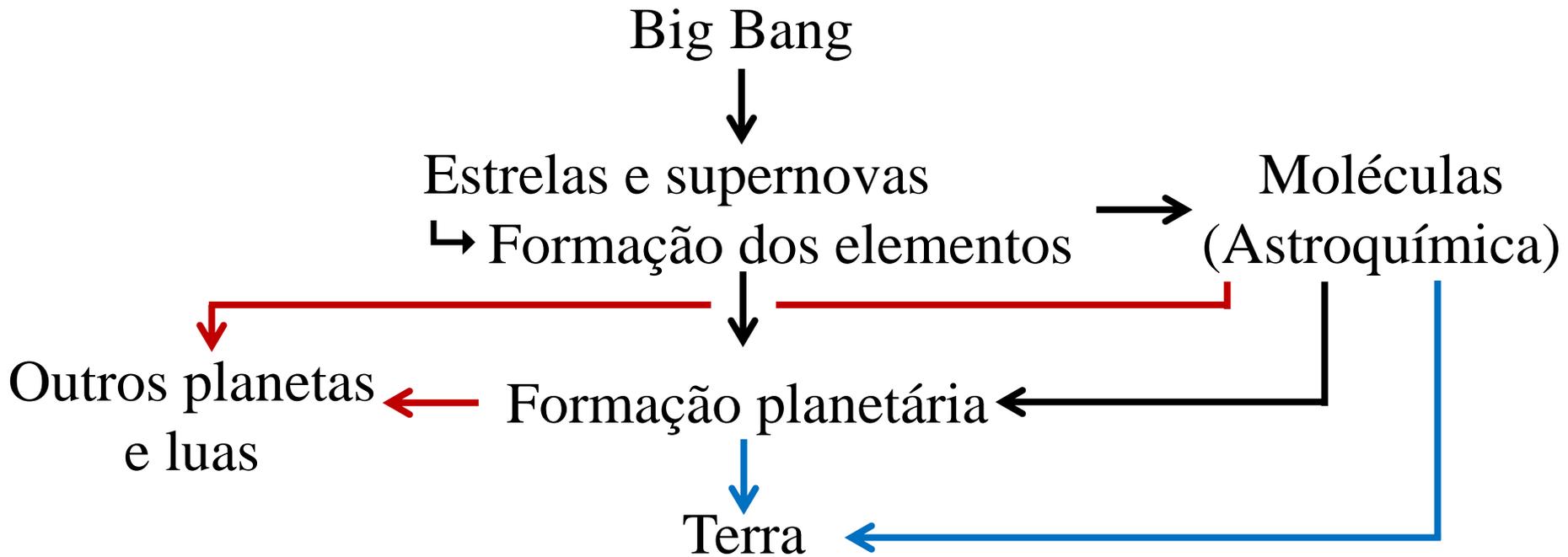


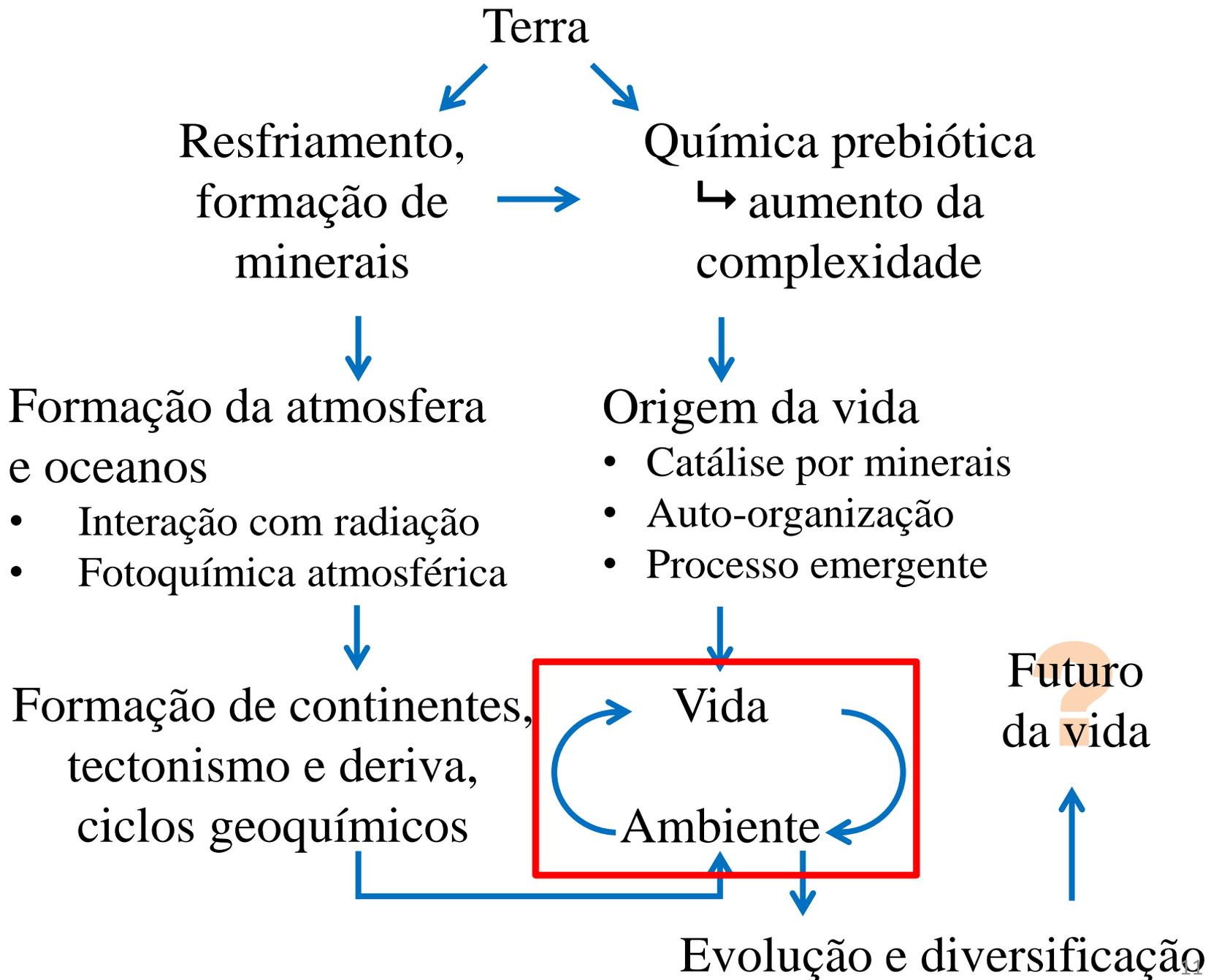
Estrelas e supernovas

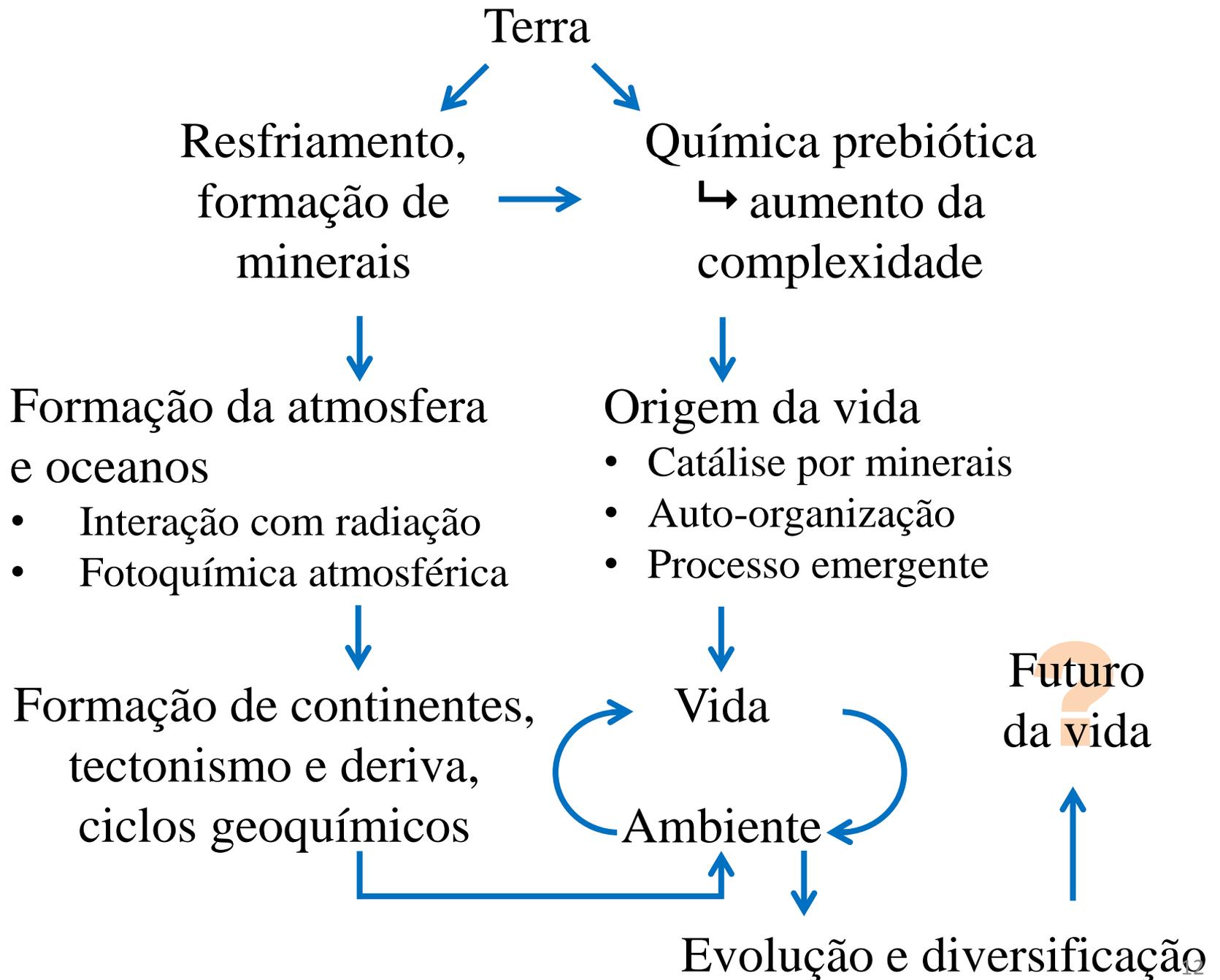
↳ Formação dos elementos



Moléculas
(Astroquímica)







Outros sistemas planetários

Terra

Aumento da complexidade

Resfriamento,
formação de
minerais

Química prebiótica
↳ aumento da complexidade

Conectando o Conhecimento

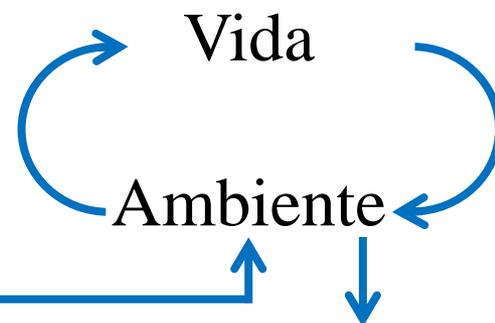
Vida extra-terrestre

Interação com radiação
Fotoquímica atmosférica

Origem da vida

- Catálise por minerais
- Auto-organização
- Processo emergente

Formação de continentes,
tectonismo e deriva,
ciclos geoquímicos



...

É necessário um profundo conhecimento da vida e dos processos na Terra!

O que é astrobiologia?

Não é uma nova disciplina, mas um novo enfoque a antigos temas

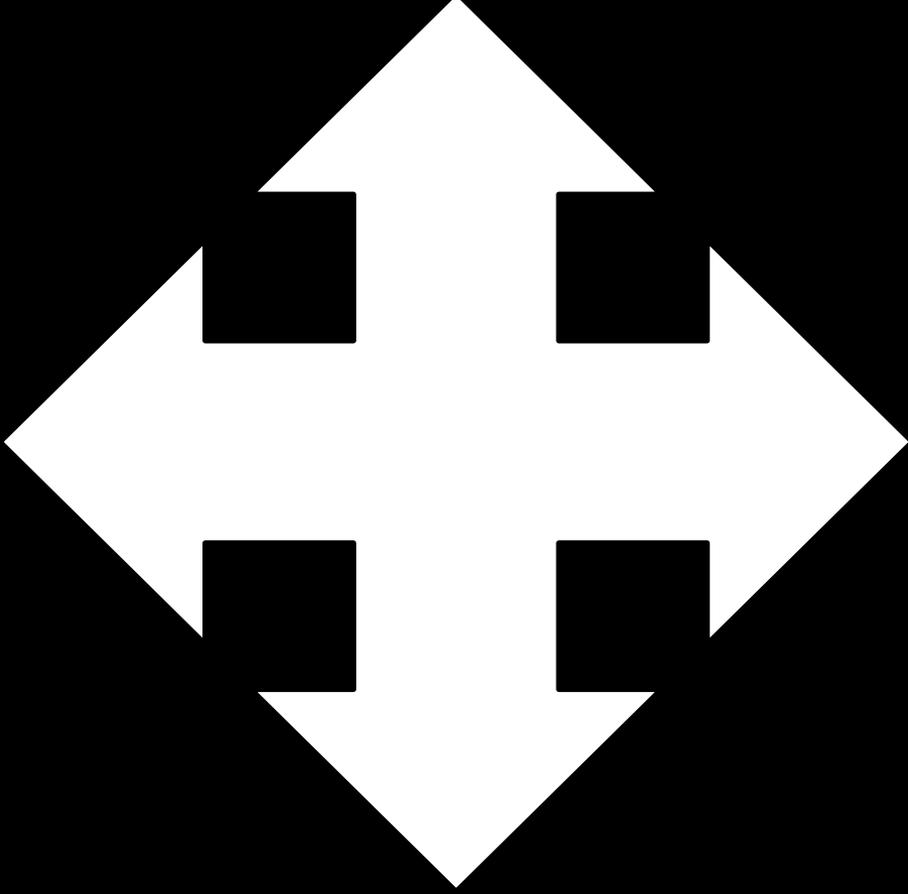
Origem e evolução da vida

Distribuição da vida, na Terra e fora dela

Futuro da vida

Busca de vida fora da Terra

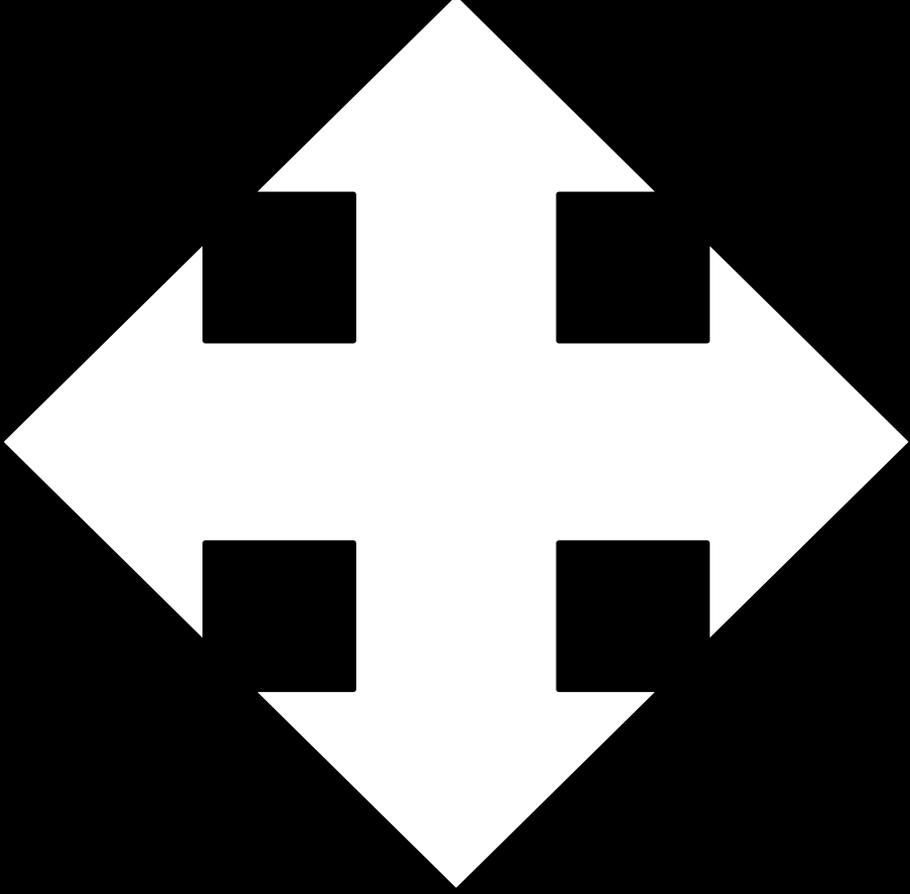
Por que?



Busca de vida extraterrestre

- O enraizamento desse tema na cultura popular e o extremo interesse no tema motivam as buscas.
- “Estamos sozinhos?”
- Teriam uma origem e um funcionamento diferente da vida que conhecemos?
- Achar formas diferentes de vida poderiam ajudar a uma definição mais completa sobre vida.

Busca de vida fora da Terra



Donde?



Via Láctea

- Raio: 50.000 anos-luz (15 kiloparsecs)
- 200 bilhões de estrelas



**Você
está
aqui!**

10 000 ly



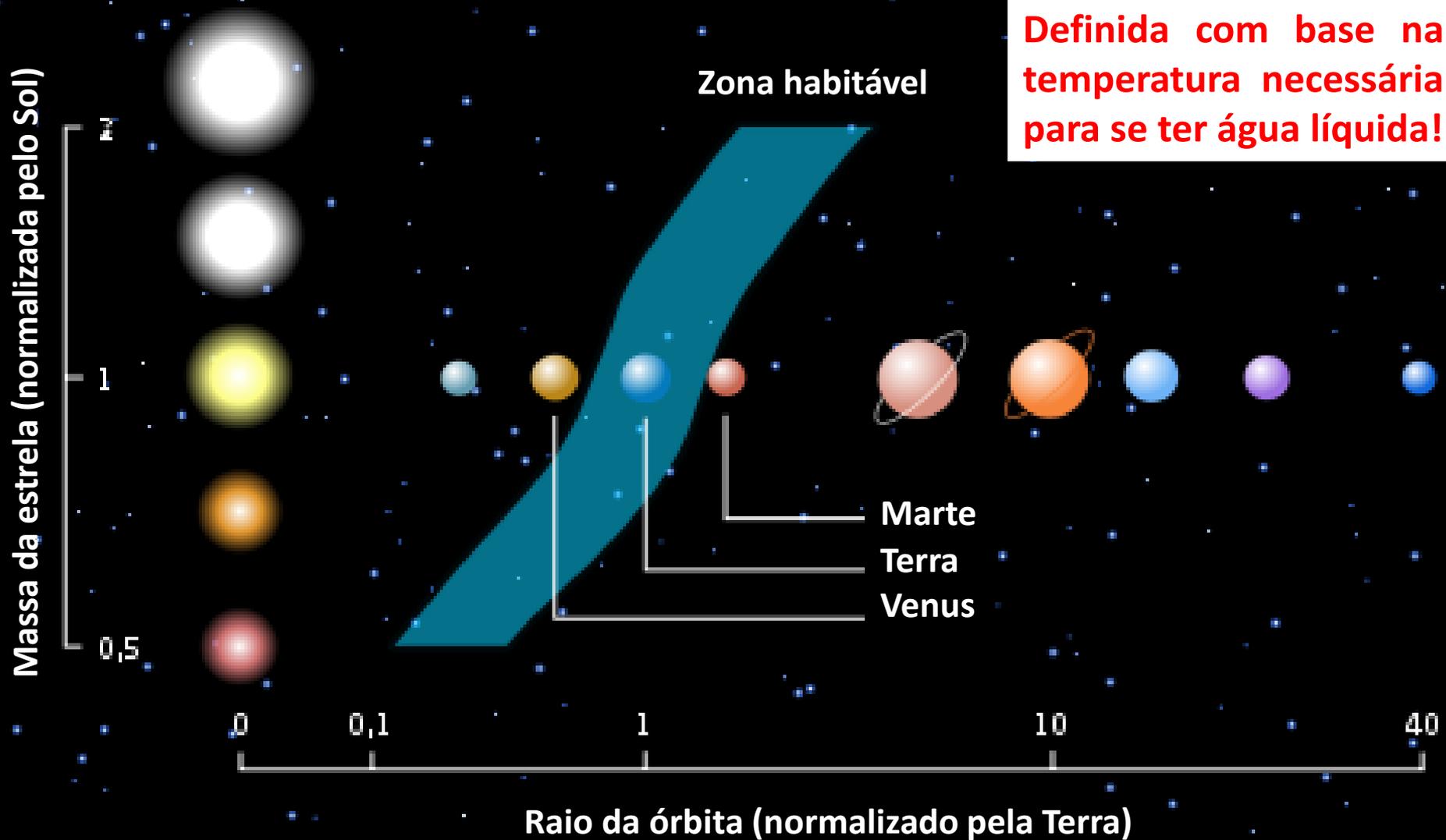
É possível estudar hoje planetas em cerca de 0,01% da área da Via Láctea!
Milhões de possíveis alvos para estudo!

Onde procurar?

- **Habitabilidade:** possibilidade do planeta de abrigar vida.
- **Zona de habitabilidade ou zona habitável:** região ao redor de uma estrela com condições para a vida se desenvolver!

Não é um conceito absoluto, mas serve para nortear as buscas por vida!

Zona de Habitabilidade

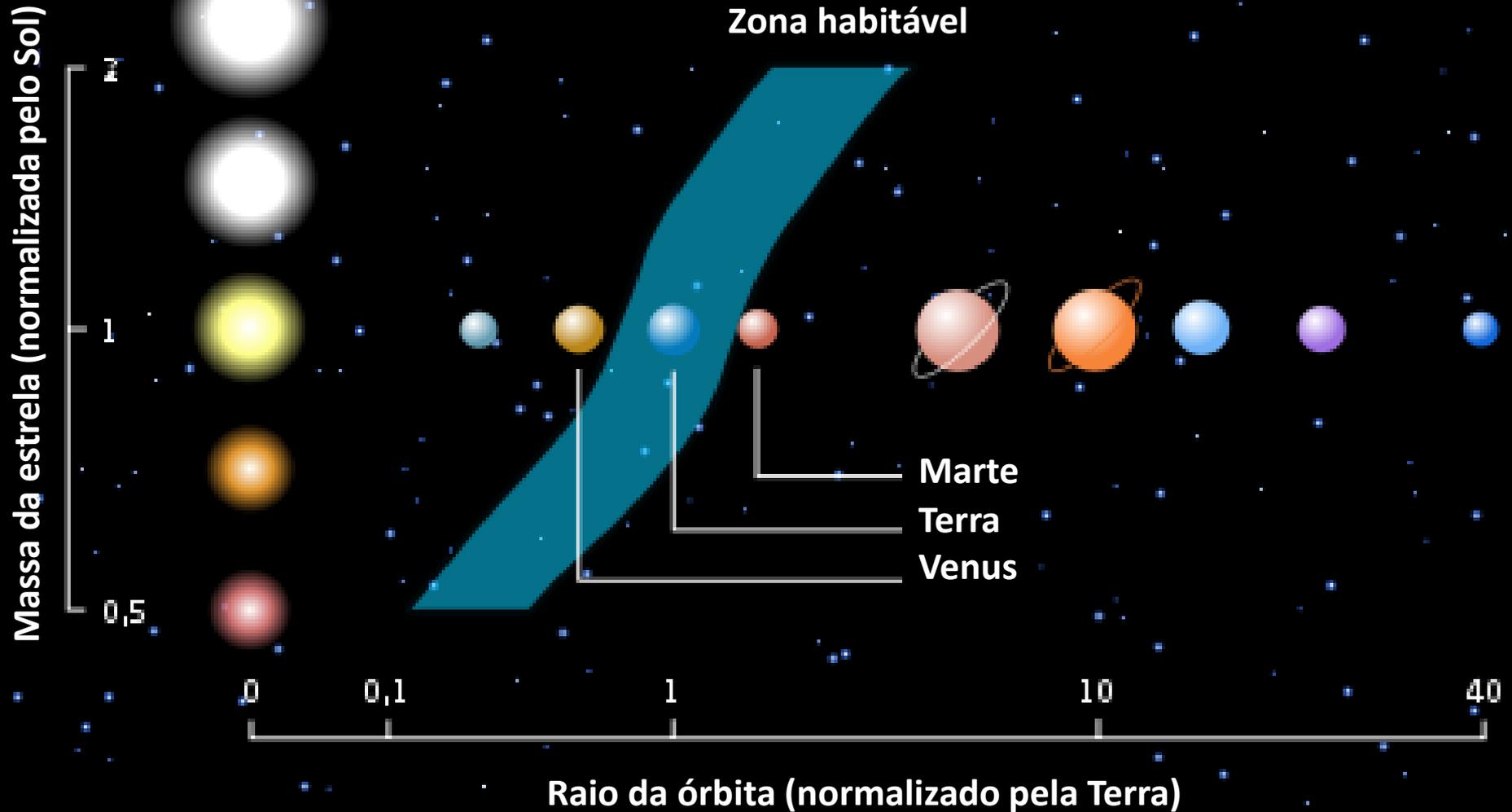


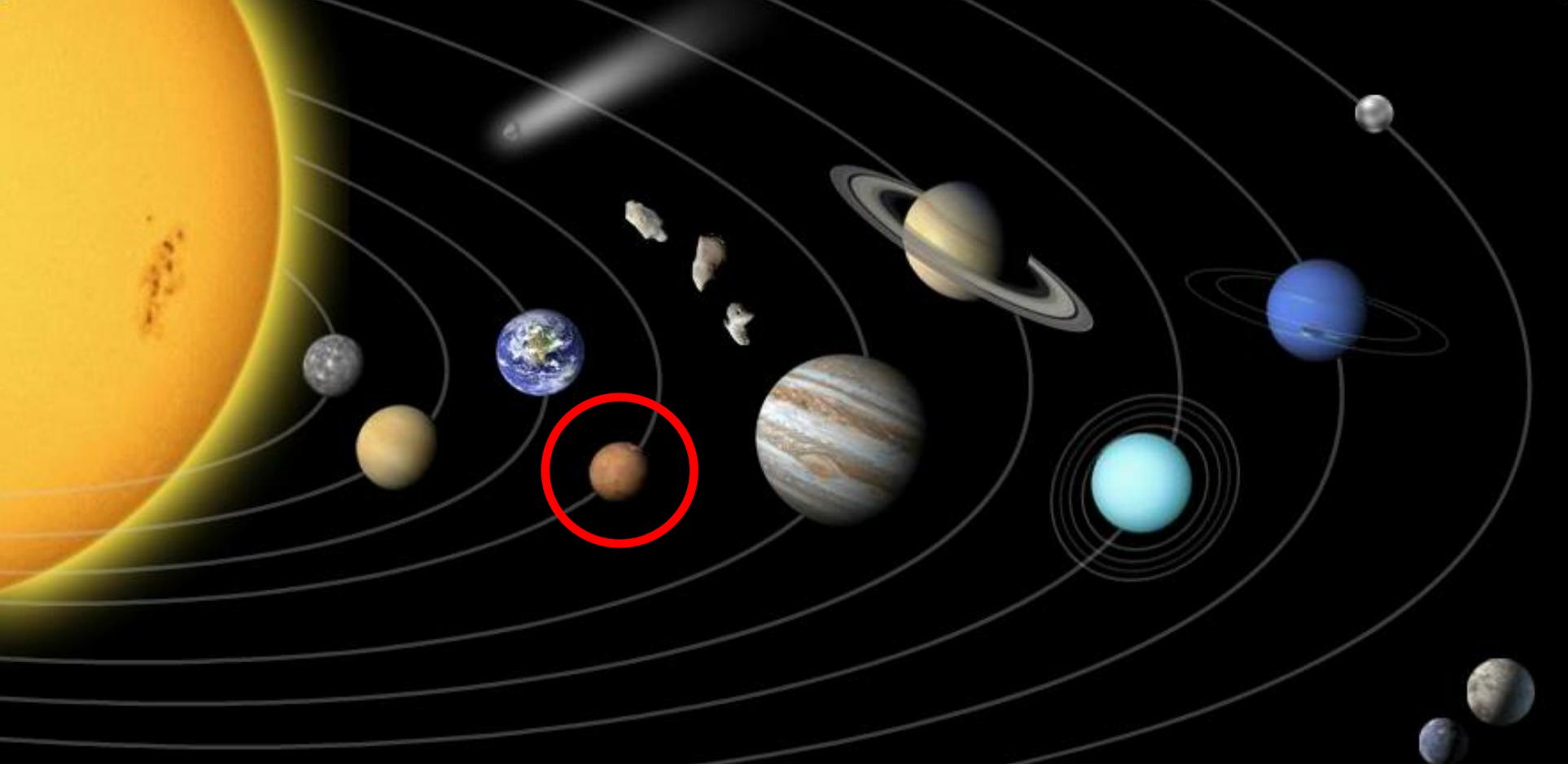
Onde procurar?

- **Habitabilidade:** possibilidade do planeta de abrigar vida.
- **Zona de habitabilidade ou zona habitável:** região ao redor de uma estrela com condições para a vida se desenvolver!
- **Água líquida:** tida como fundamental para sustentar a vida como a conhecemos!

Lema da NASA: Siga a água!

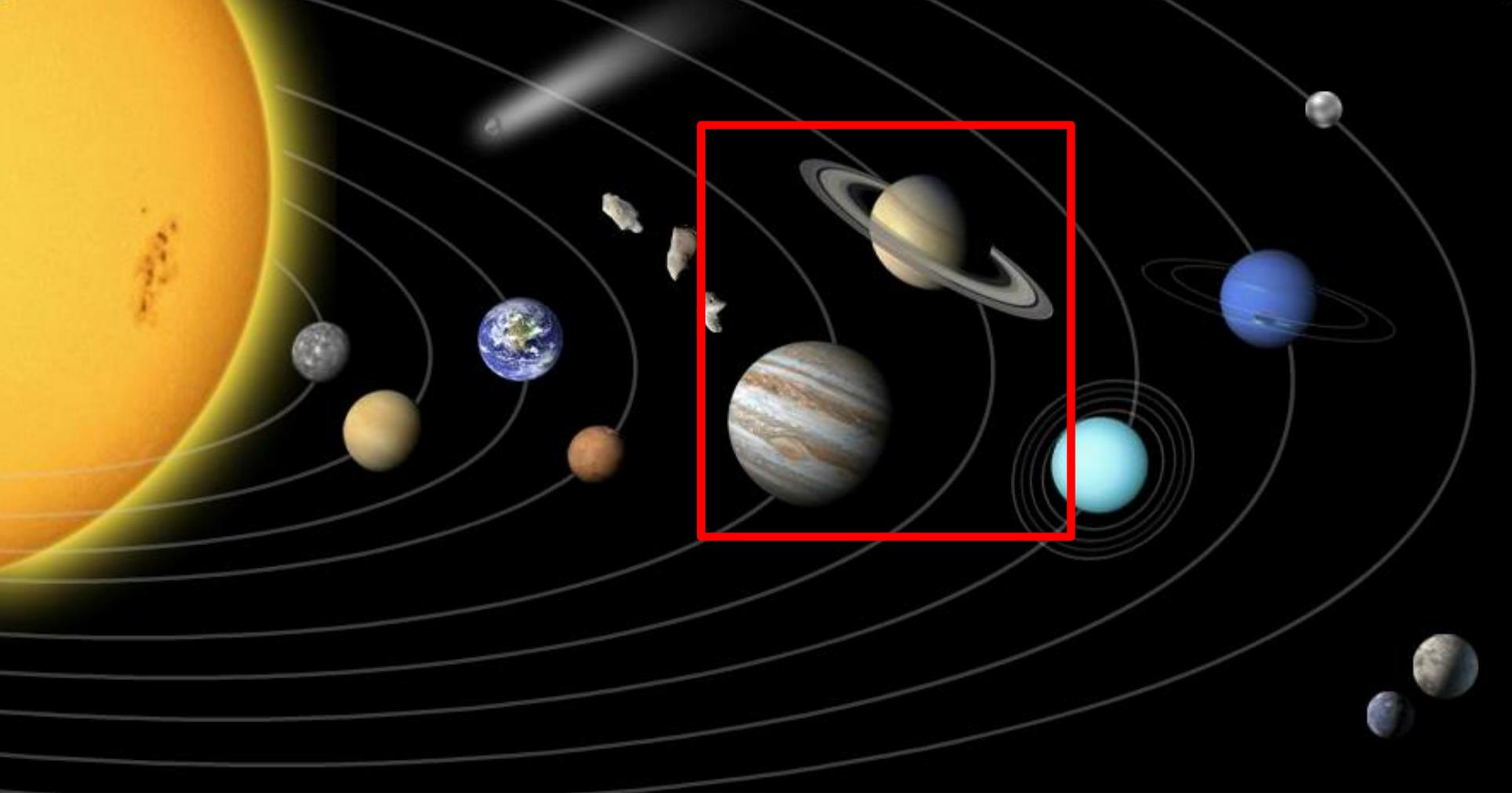
Zona de Habitabilidade





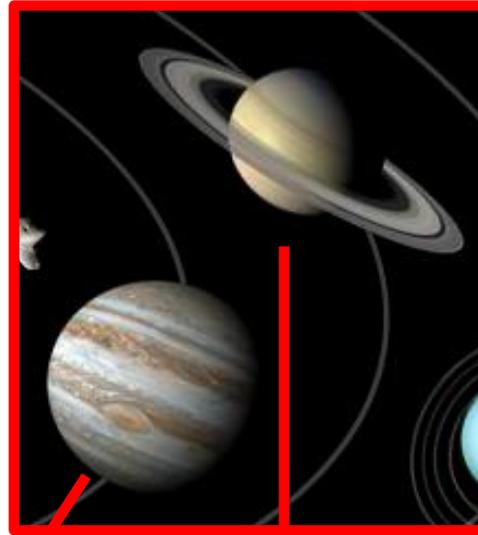
Marte

- Planeta próximo à Terra, facilitando seu estudo – missões.
- Presença de água no subsolo. Possivelmente água “ativa”.
- Superfície muito oxidante → improvável de ter vida.
- Subsolo protegido e com água, onde poderia haver vida!

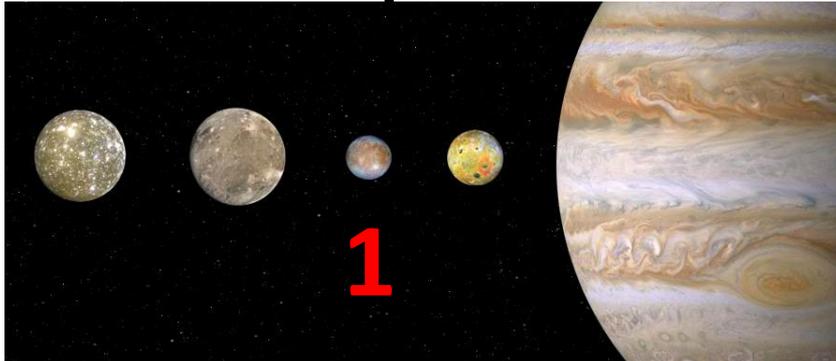


Luas geladas de Júpiter e Saturno. Ex:

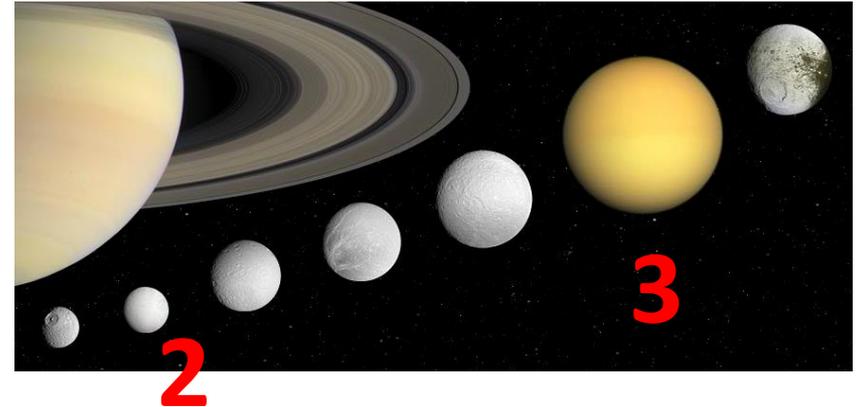
- 1) Europa
- 2) Encélado
- 3) Titã



Júpiter



Saturno



Luas geladas de Júpiter

e Saturno. Ex:

1) Europa

2) Encélado

3) Titã

- Europa

Um dos ambientes mais propícios para a vida, no sistema solar.

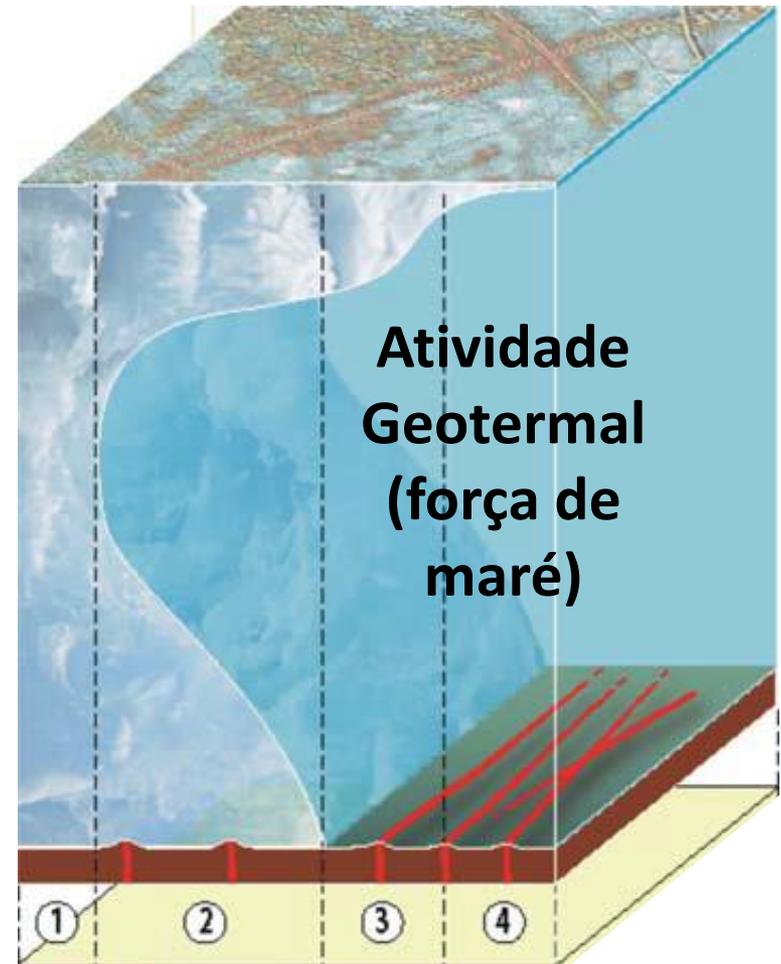
Presença de água, calor e matéria orgânica.

- Encélado

Fontes de vapor de água no polo Sul, zona geologicamente ativa.

Oceano salgado sob a superfície.

Superfície



Lammer, H. et al, "What makes a planet habitable?", *Astron. Astrophys. Rev.* (2009), **17**, 181-249.

Luas geladas de Júpiter

e Saturno. Ex:

1) Europa

2) Encélado

3) Titã

- Europa

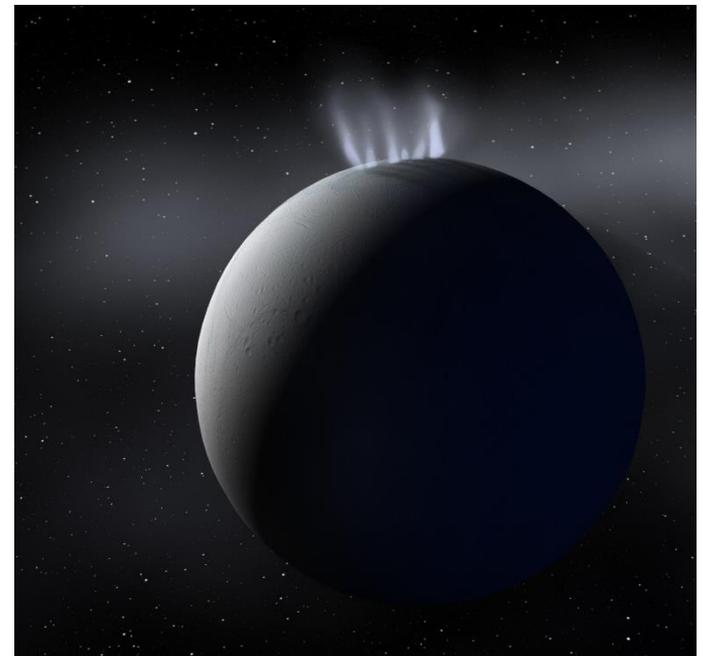
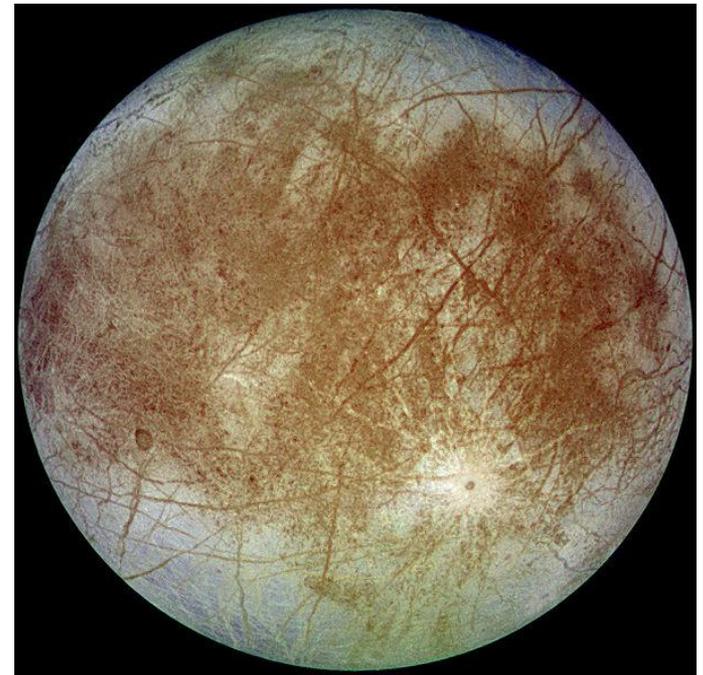
Um dos ambientes mais propícios para a vida, no sistema solar.

Presença de água, calor e matéria orgânica.

- Encélado

Fontes de vapor de água no polo Sul, zona geologicamente ativa.

Oceano salgado sob a superfície.



Luas geladas de Júpiter e Saturno. Ex:

- 1) Europa
- 2) Encélado
- 3) Titã**

- Titã

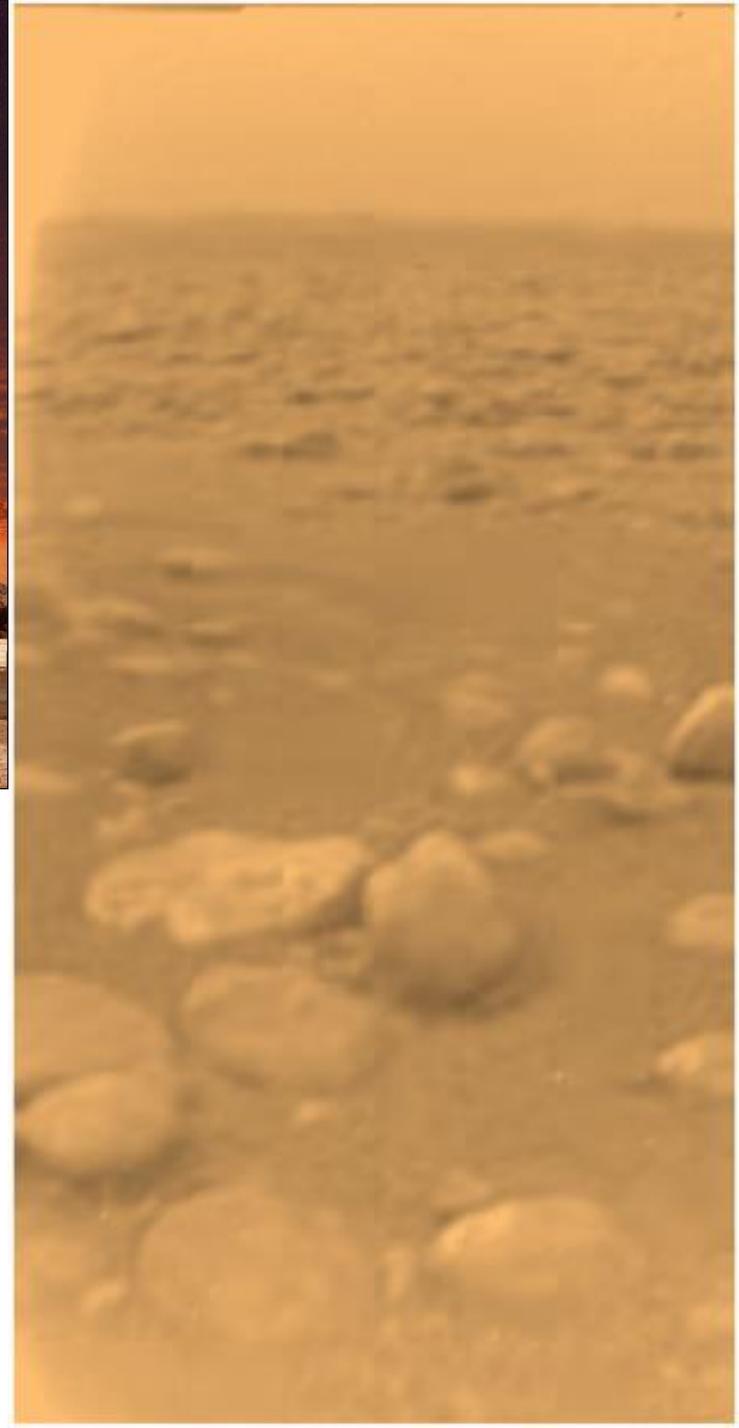
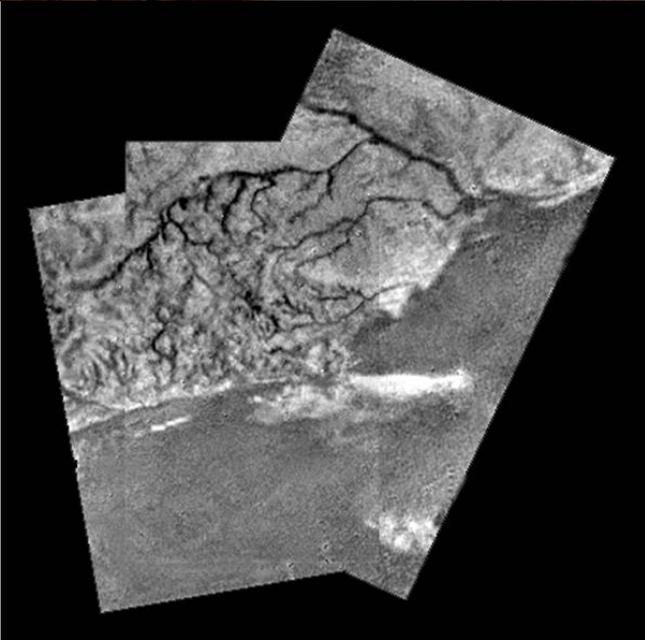
Lagos de hidrocarbonetos (metano, etano etc);

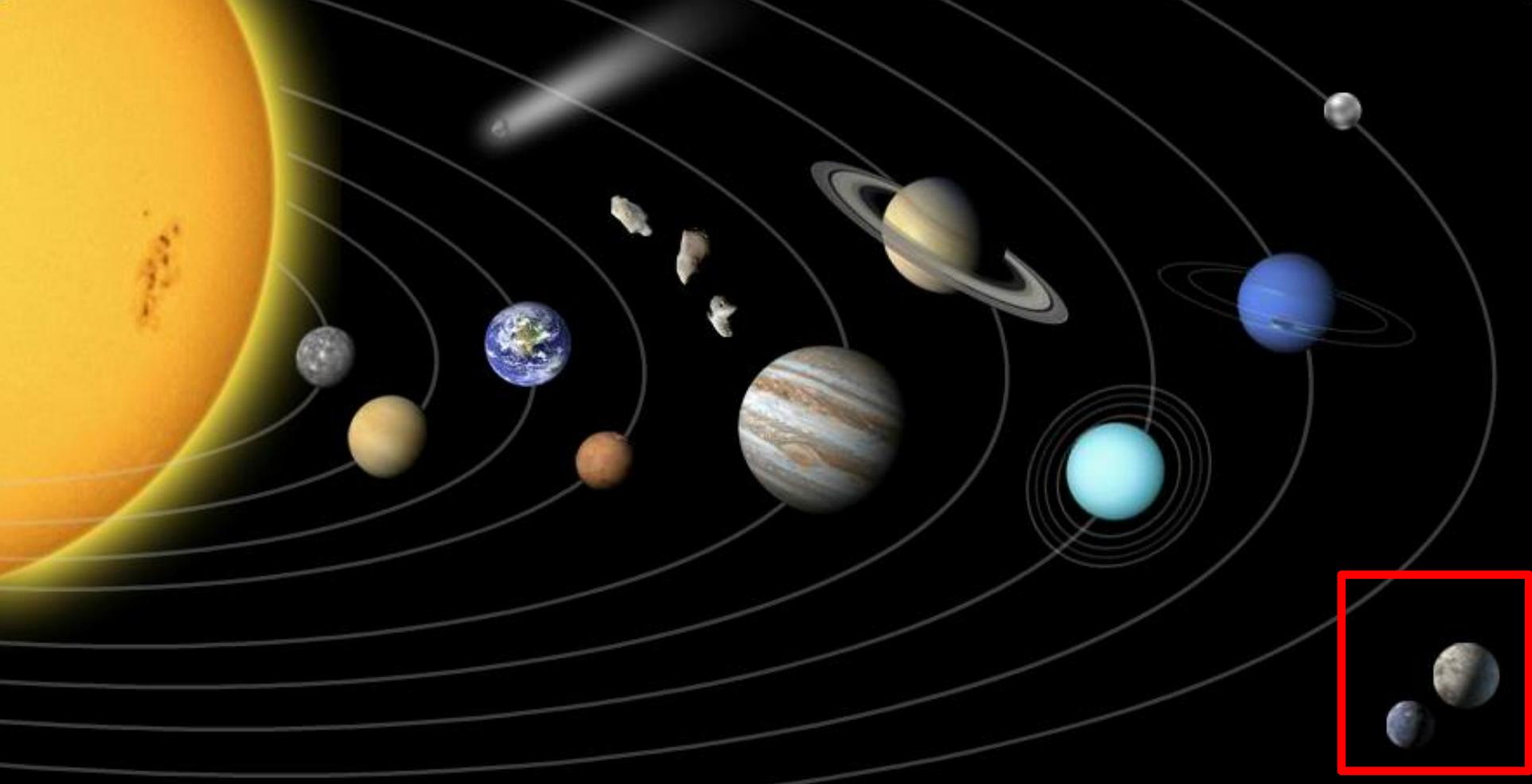
Marcas semelhantes a rios na superfície.





Titã pela sonda
Huygens (Cassini)





Exoplanetas

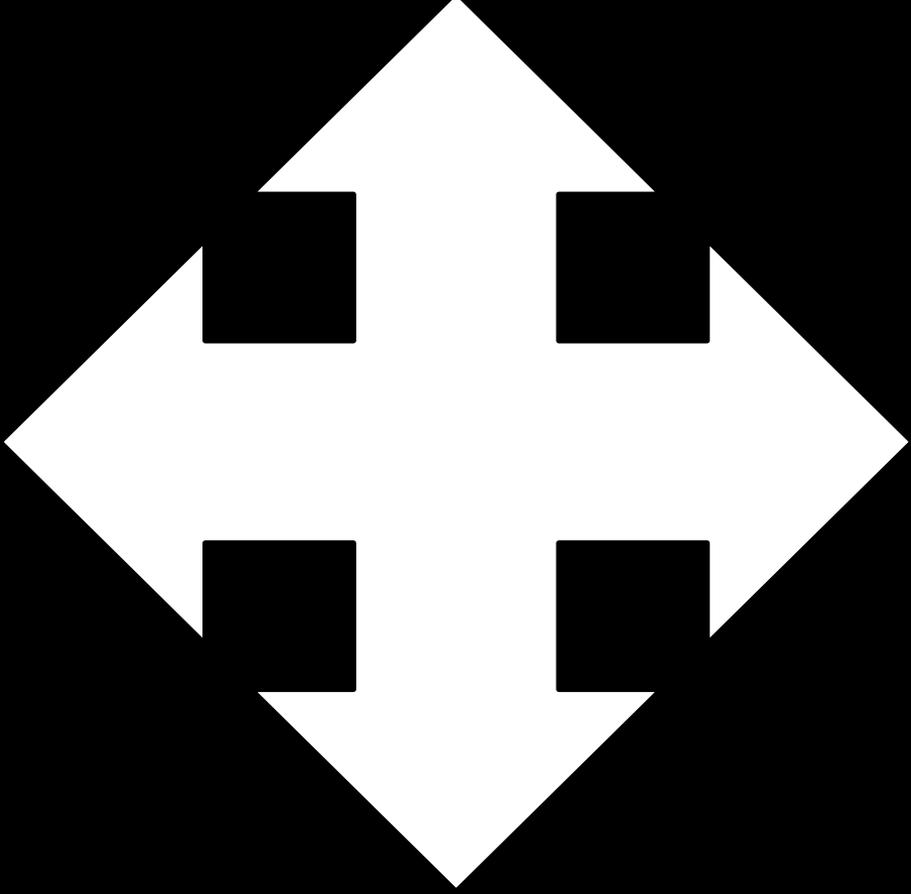
- Planetas fora do sistema solar;
- Na zona de Habitabilidade;
- Especialmente aqueles com características semelhantes à Terra. Ex: Rochoso, com massa similar etc.

Exoplanetas

Sistema planetário *Gliese 581*



Busca de vida fora da Terra



Onde?

Por que?

O que procurar?



Vida na Terra

- Temos uma definição geral de vida capaz de englobar formas de vida diferentes da terrestre? **Não**

“ Vida é um sistema químico autossustentado capaz de sofrer evolução darwiniana”

Vida na Terra

- Temos uma definição geral de vida capaz de englobar formas de vida diferentes da terrestre?

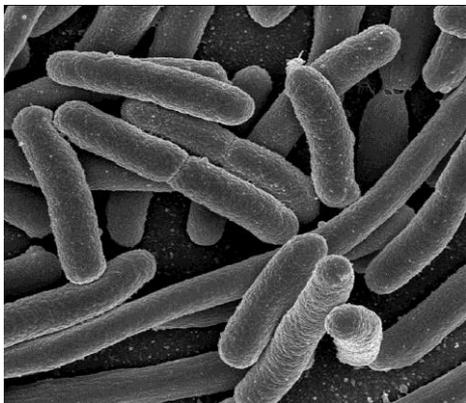
Não

- Sabemos responder à pergunta:

O que é vida?

Não

Motivo: toda a vida na Terra é muito **semelhante!**



Vida na Terra

- Temos uma definição geral de vida capaz de englobar formas de vida diferentes da terrestre? **Não**

- Sabemos responder à pergunta:

O que é vida?

Não

- Sabemos do que a vida precisa? **Sim**
 1. Água;
 2. Carbono em moléculas orgânicas (**C, H, O, N, P, S**);
 3. Outros elementos em menores quantidades (Na, K, Ca, Fe, Mg, Mn etc).

Lemas da Busca de vida fora da Terra

1. Siga a água
2. Siga o carbono

Vida na Terra

- Temos uma definição geral de vida capaz de englobar formas de vida diferentes da terrestre? **Não**

- Sabemos responder à pergunta:

O que é vida?

Não

- Sabemos do que a vida precisa? **Sim**

1. Água;
2. Carbono em moléculas orgânicas (C, H, O, N, P, S);
3. Outros elementos em menores quantidades (Na, K, Ca, Fe, Mg, Mn etc).

- Sabemos as características básicas à vida? **Sim**

1. Compartimentalização (membrana);
2. Informação (material genético);
3. Energia, metabolismo;
4. Outras estruturas...

Vida na Terra

- Temos de vida forma da ter

Lemas da Busca de vida fora da Terra

1. Siga a água;

Não

- Sabem precis

2. Siga o carbono;

terísticas

Sim

1. Água
2. Carbono
3. Oxigênio

3. Siga a energia;

zação

erial

Baseado na vida como conhecemos na Terra!

ismo;

s...

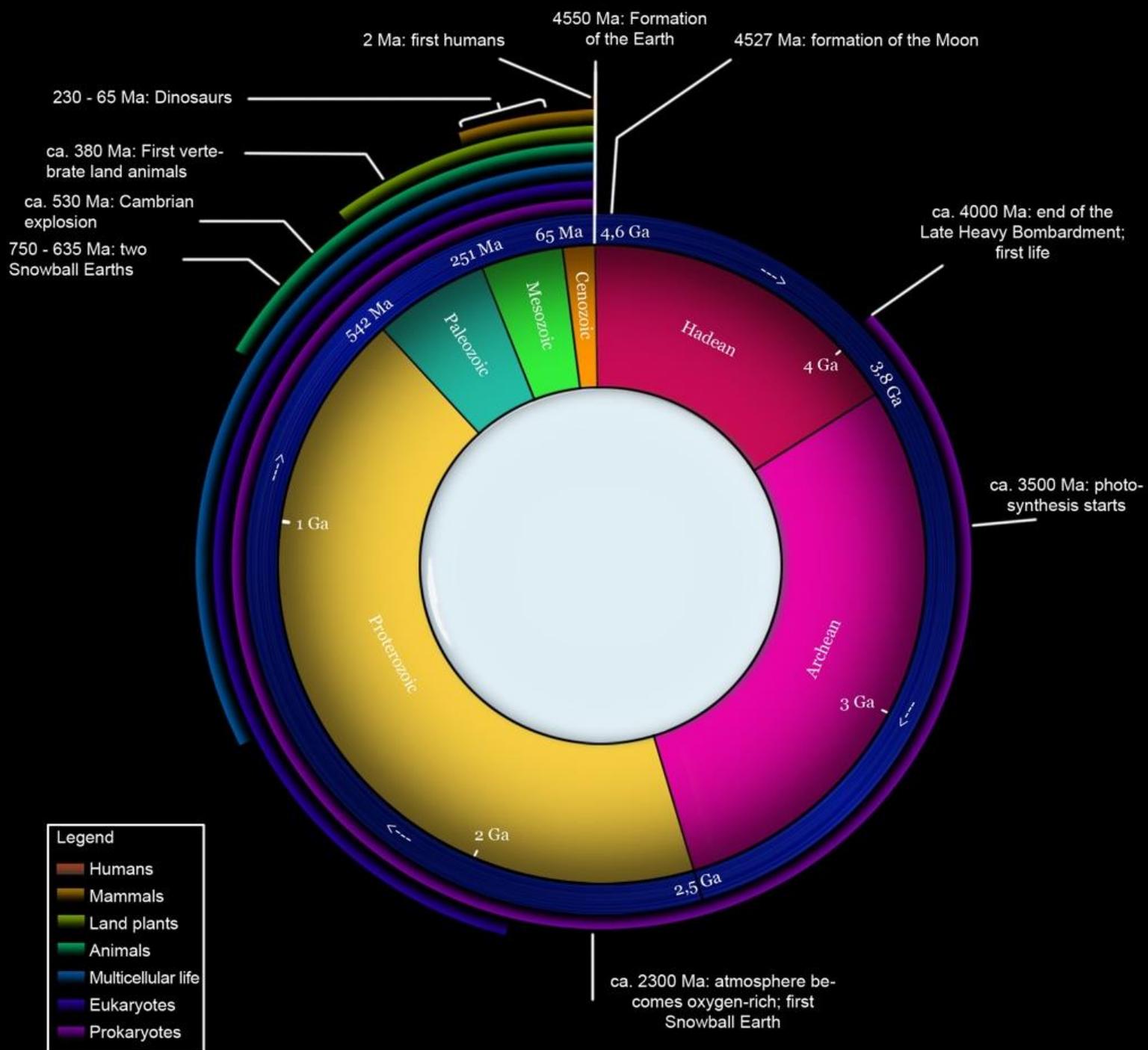
O que procurar?

- **Pragmaticamente, procuramos:**

- Vida semelhante à da Terra!
 - Sabemos como procurar;
 - Sabemos identificar se é vida!

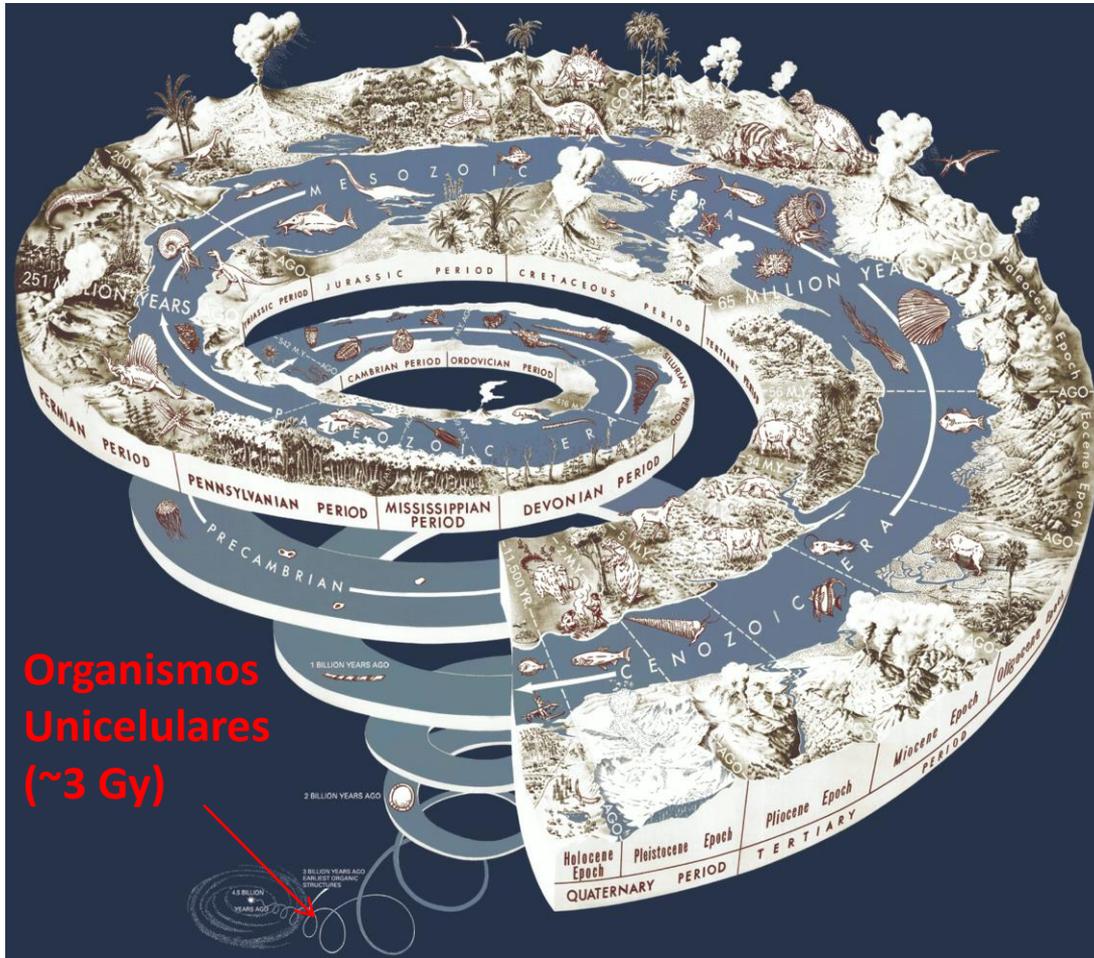
O que procurar?





O que procurar?

Esquema da evolução da vida na Terra



Organismos unicelulares:

- Foram os primeiros a surgirem no planeta, permanecendo sozinhos até o surgimento dos multicelulares;
- Até hoje constituem a maior parte da massa viva do planeta;
- Habitam todos os ambientes, inclusive os mais extremos.

O que procurar?

- Pragmaticamente, procuramos:

- Vida semelhante à da Terra!
 - Sabemos como procurá-la;
 - Sabemos identificar se é vida!

- Vida microbiana!
 - É a mais abundante e difundida no planeta;
 - Metabolismos mais diversos.



CÁLOR



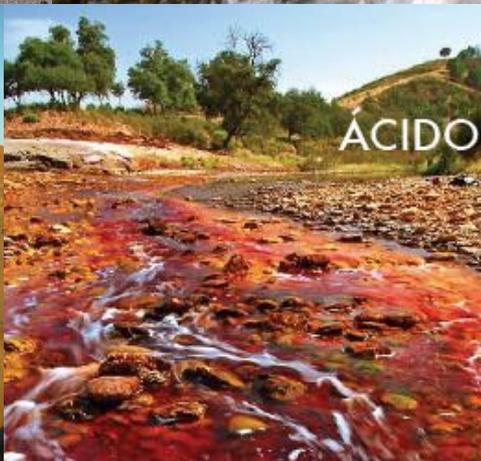
FRIO



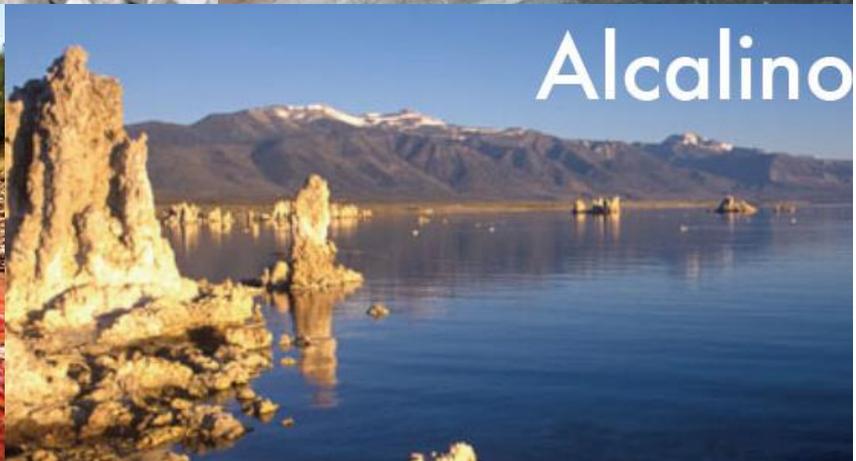
Hiper-salino



SECO



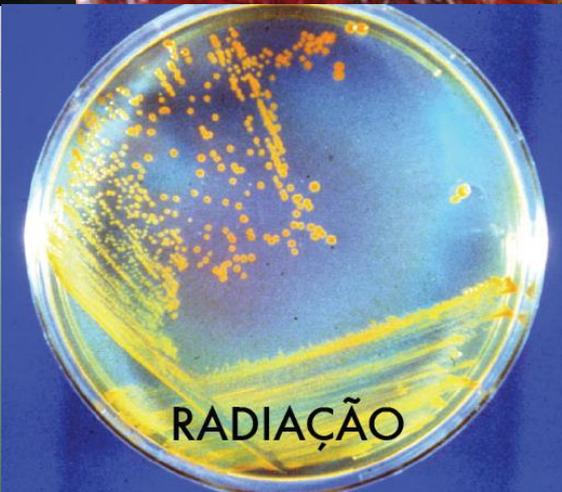
ÁCIDO



Alcalino



ANÓXICO



RADIAÇÃO



ALTA PRESSÃO

O que procurar?

- Pragmaticamente, procuramos:

- Vida semelhante à da Terra!
 - Sabemos como procurá-la;
 - Sabemos identificar se é vida!

- Vida microbiana!
 - É a mais abundante e difundida no planeta;
 - Metabolismos mais diversos.

- Micro-organismos extremófilos
 - Nos ajudam a expandir os limites físicos e químicos no qual a vida pode funcionar;
 - Ambientes fora da Terra não serão tão amenos quanto aqui.

Ambientes análogos

- Podem ser usados como análogos a ambientes extraterrestres. Ex: Atacama / Marte.



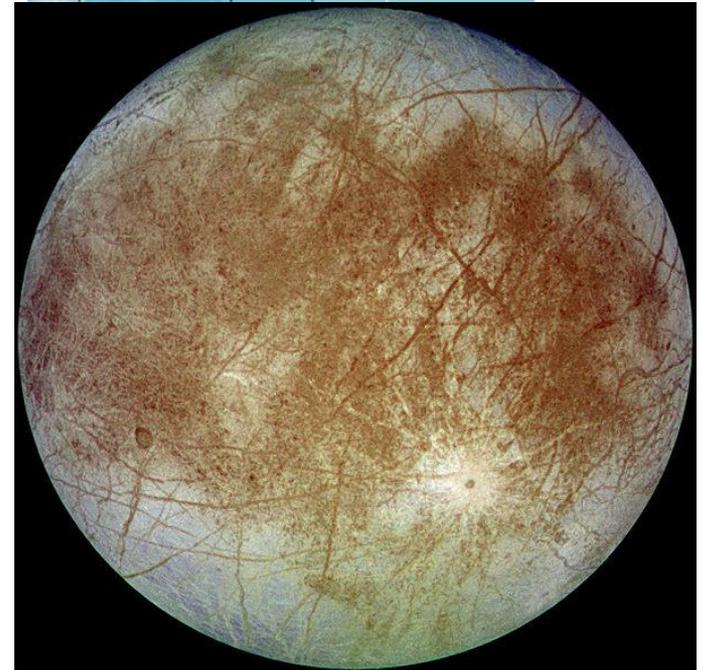
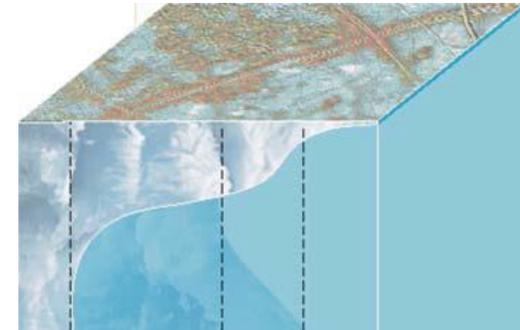
- Baixa umidade do ar.
- Alta incidência de radiação.
- Presença de depósitos salinos.
- Baixo aporte de nutrientes.
- Grande amplitude térmica.

Ambientes análogos

Antártica



Luas Geladas



Vida microbiana fora da Terra?

- Com exceção da Lua e alguns asteroides, cometas e partículas menores, não se retornou amostras de planetas e luas para a Terra;
- Impossível utilizar os métodos tradicionais de microbiologia para estudo;
- Alternativa: procura de moléculas de origem biológica, o que indicaria a presença de vida = **bioassinaturas (ou biomarcadores)**.

Bioassinaturas

- Baseada no **metabolismo!**
- Moléculas que indicam **inequivocamente** a presença de vida;

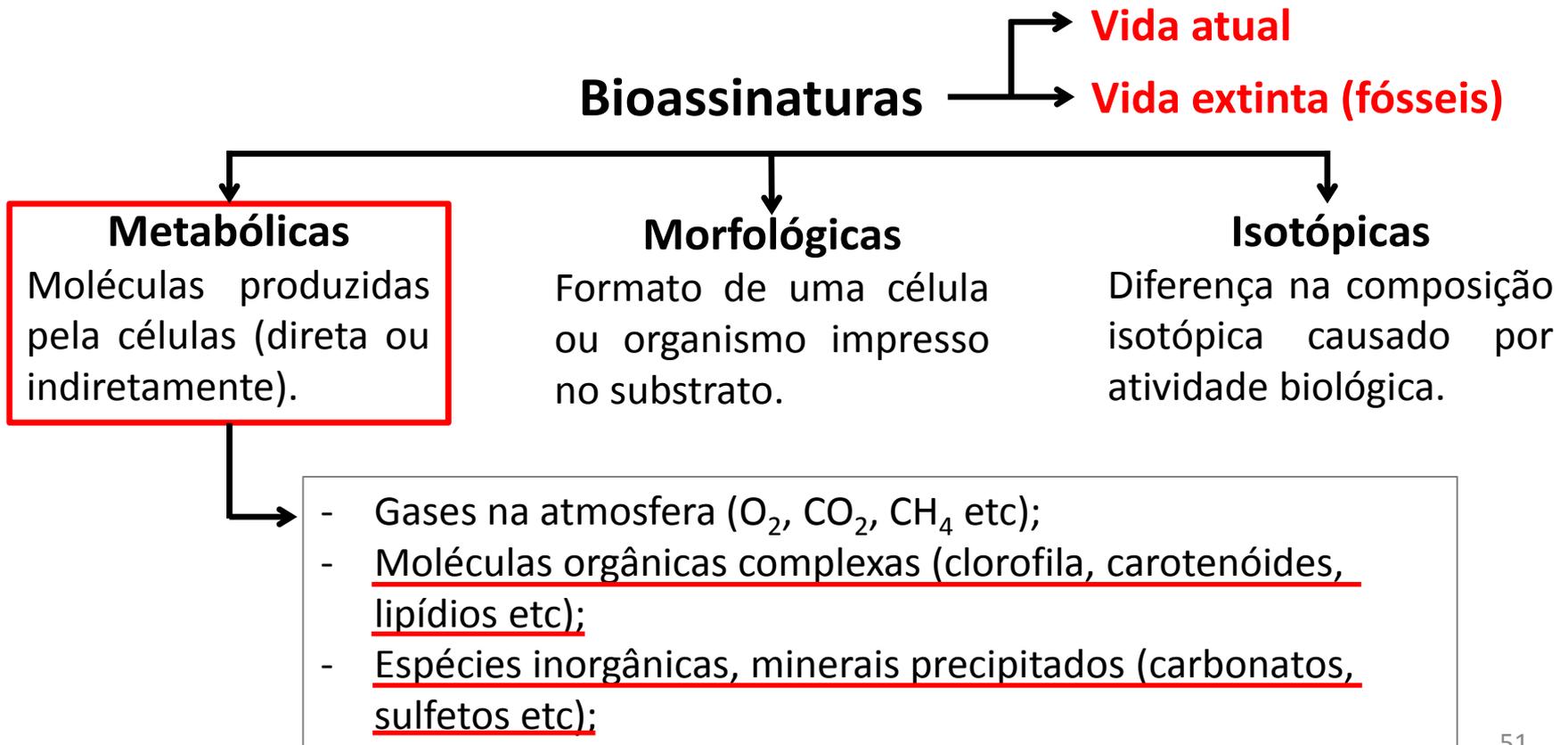


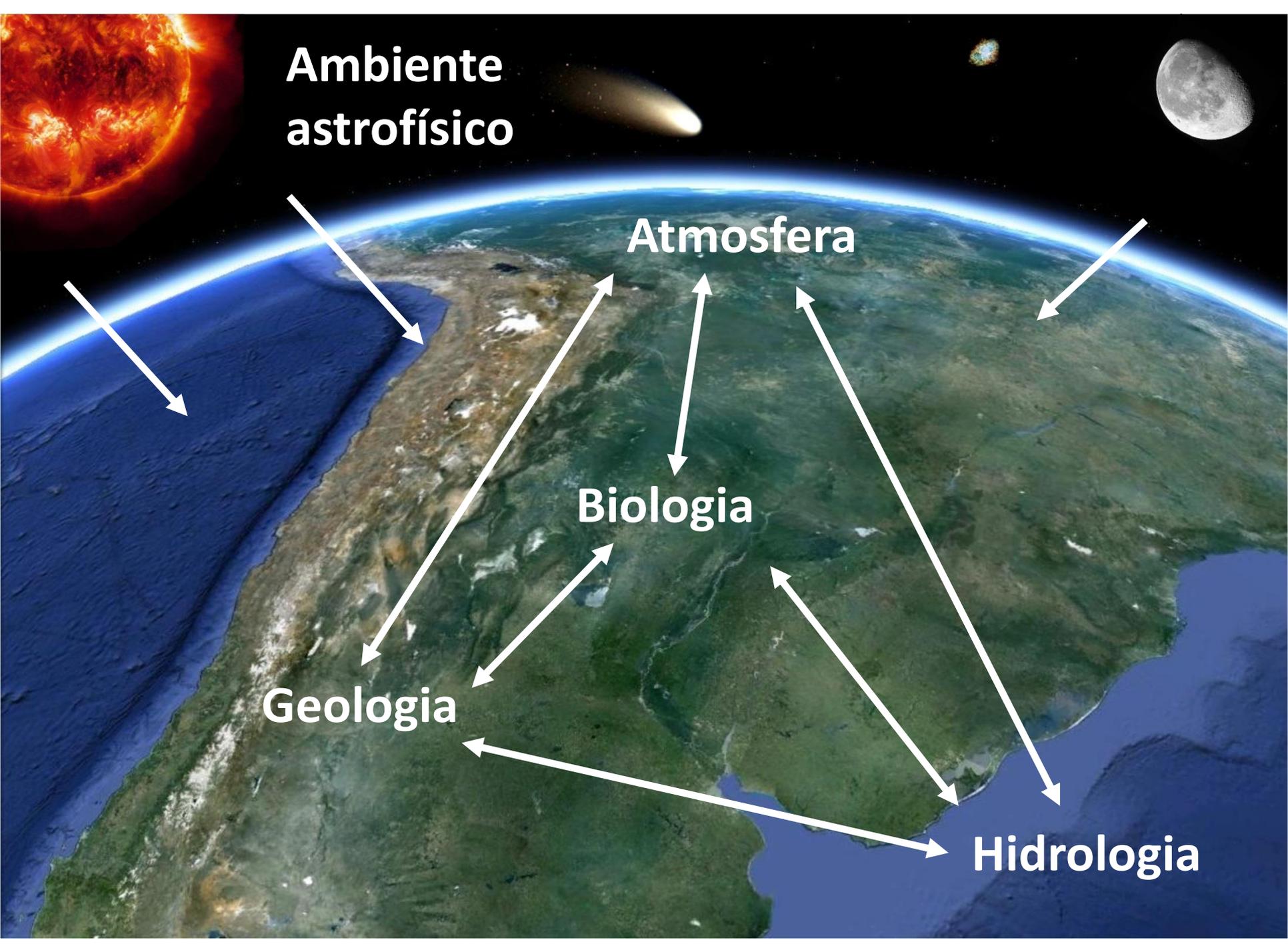
Como provar a origem biótica de uma molécula?

Exemplos: Gases de baixa massa molecular, como CO_2 , O_2 , O_3 , CH_4 etc.

Bioassinaturas

- Também chamadas de biomarcadores ou geomarcadores;
- Sinais que indicam indiretamente a presença de vida;





**Ambiente
astrofísico**

Atmosfera

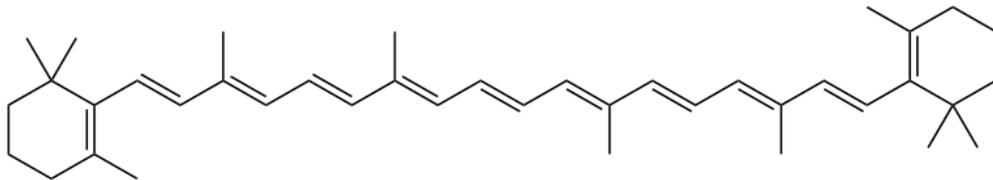
Biología

Geología

Hidrología

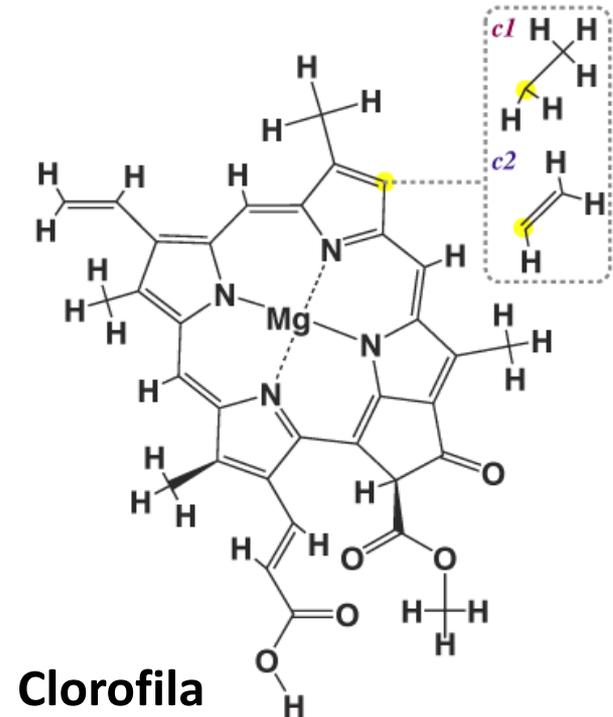
Bioassinaturas

- Podem ser moléculas orgânicas, algumas vezes características:



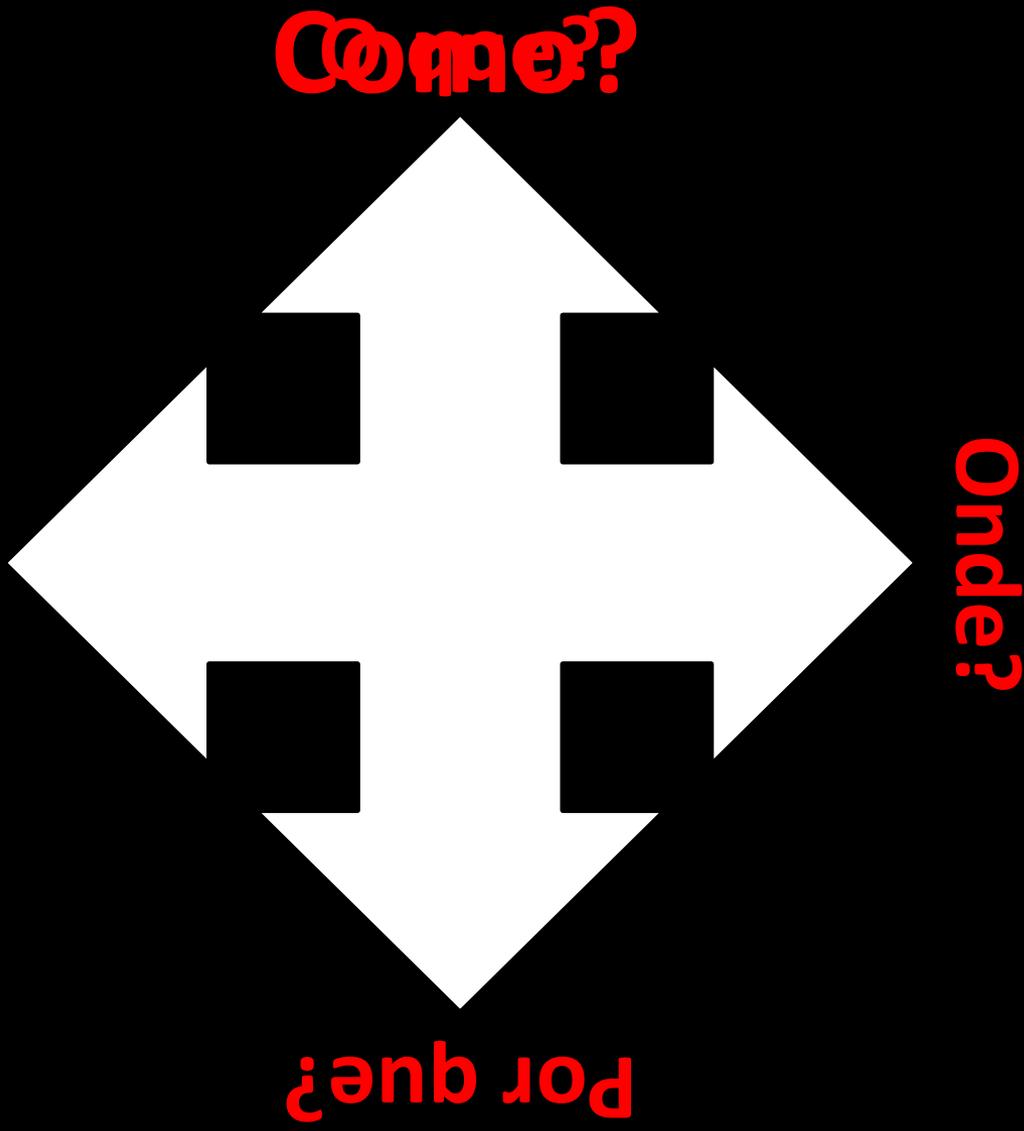
Carotenóides

DNA, ATP, membrana etc.

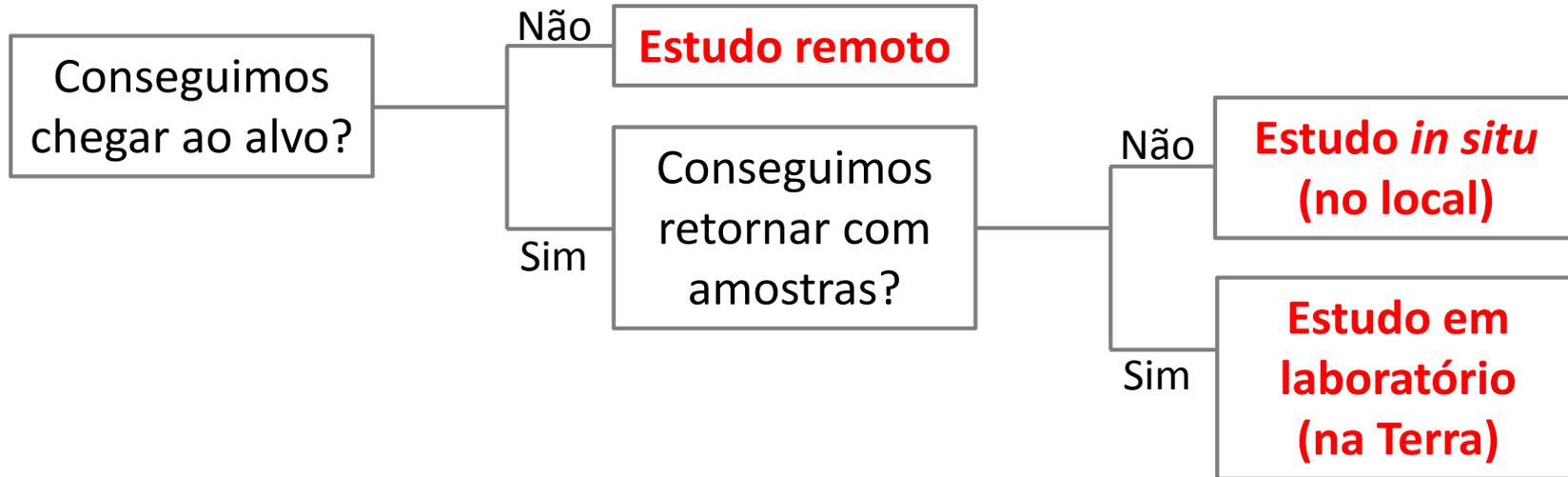


Clorofila

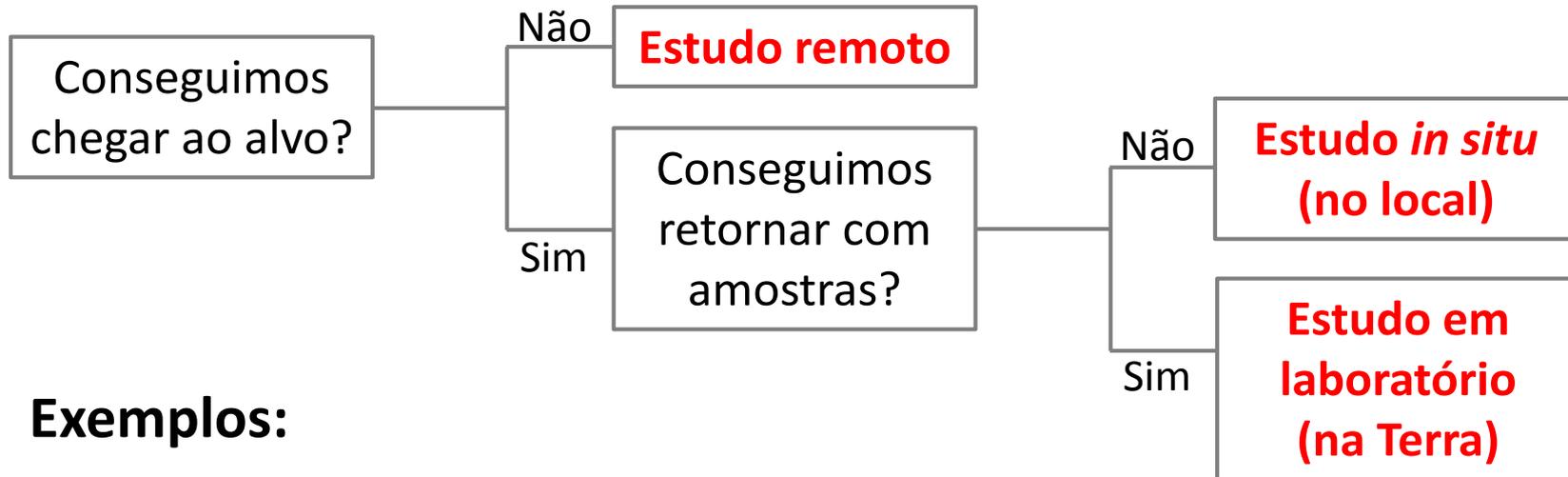
Busca de vida fora da Terra



Como procurar vida fora da Terra?



Como procurar vida fora da Terra?

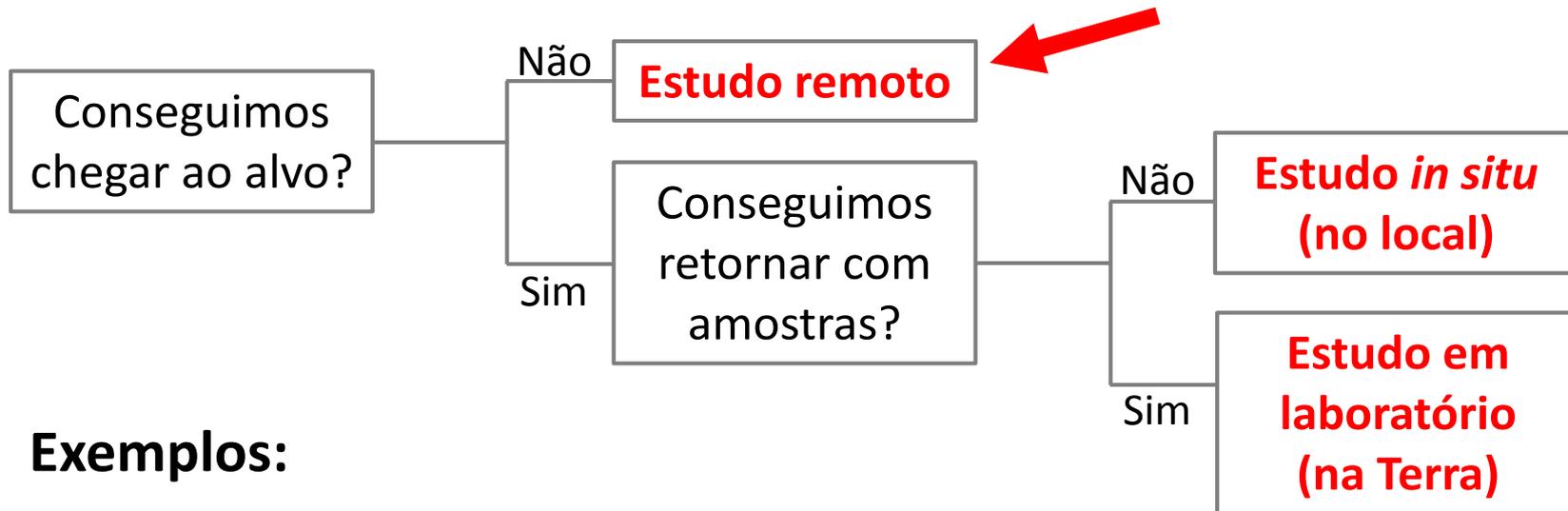


Exemplos:

1) Exoplanetas



Como procurar vida fora da Terra?



Exemplos:

1) Exoplanetas

- Atualmente conseguimos estudar a estrela e obter algumas características do planeta;
- Num futuro próximo, conseguiremos estudar a atmosfera do planeta (por espectroscopia), entendendo melhor a dinâmica do planeta e procurando bioassinaturas.

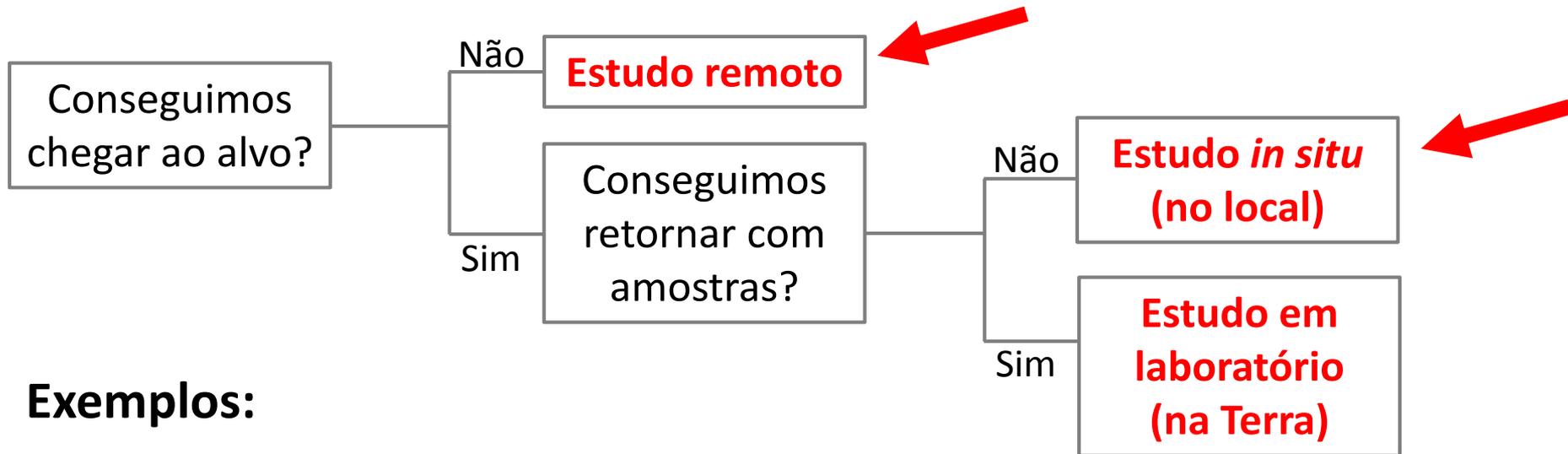
TMT



E-ELT



Como procurar vida fora da Terra?



Exemplos:

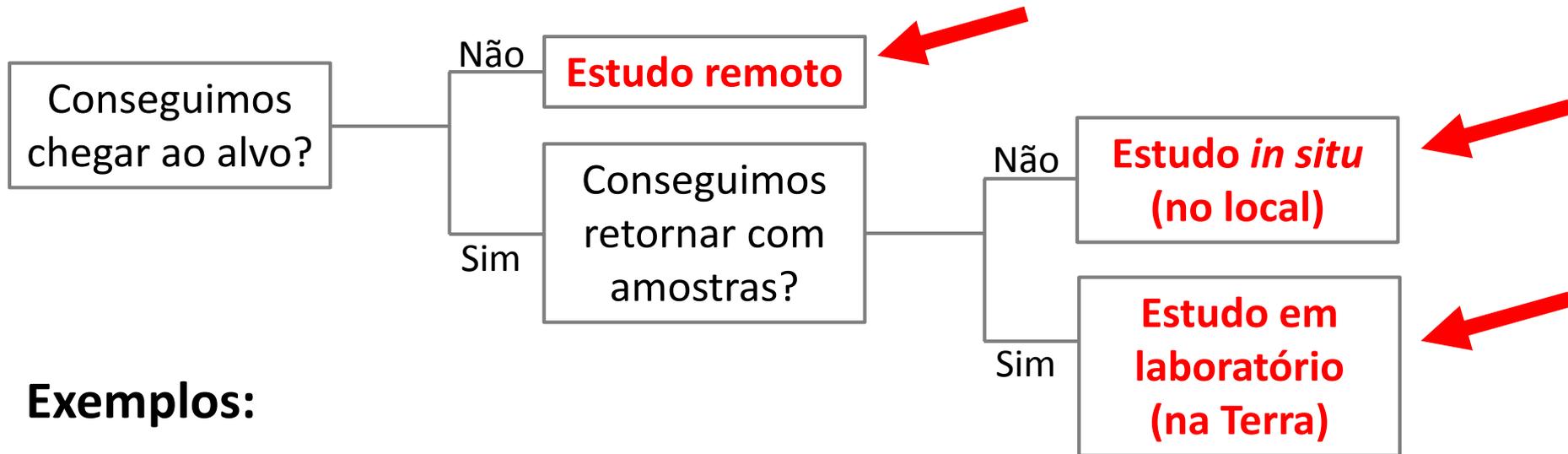
2) Marte

- Possível de se estudar não apenas o planeta como um todo, mas regiões bastante específicas dele, inclusive no subsolo, tentando detectar matéria orgânica em geral e bioassinaturas.
- Depende das técnicas disponíveis para serem enviadas.



Foto obtida pelo Mars Science Laboratory (Curiosity) em 12 de Maio de 2014!

Como procurar vida fora da Terra?

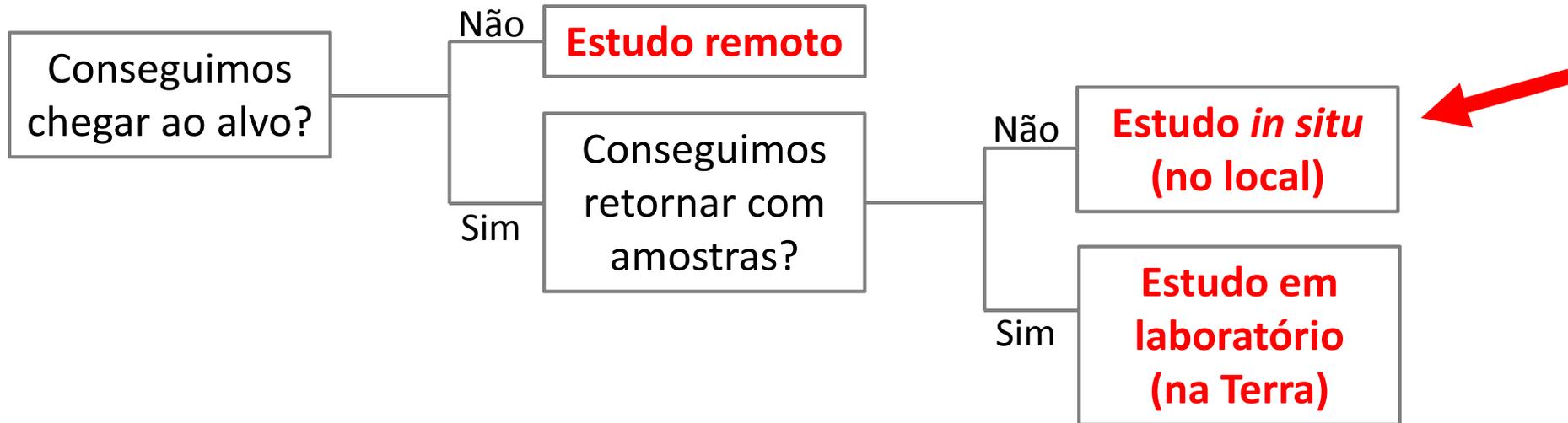


Exemplos:

3) Lua

- Já houve missões com retorno de amostras, que puderam ser estudadas em laboratórios, aqui na Terra, pelas técnicas mais modernas existentes.

Como procurar vida fora da Terra?



Atualmente, os casos mais desafiadores são as missões de busca *in situ*!

Busca *in situ*

- Diversas missões foram lançadas a corpos interessantes do sistema solar;
- Espectroscopia e outras técnicas;
- Aumento da tecnologia = miniaturização e portabilidade de equipamentos de pesquisa de ponta;
- Conhecimento das condições do planeta (geologia, hidrologia, habitabilidade);
- Busca de matéria orgânica e bioassinaturas.

Sondas para análise *in situ*



Representação dos Rovers
Marcianos *Spirit e Opportunity*
(NASA).

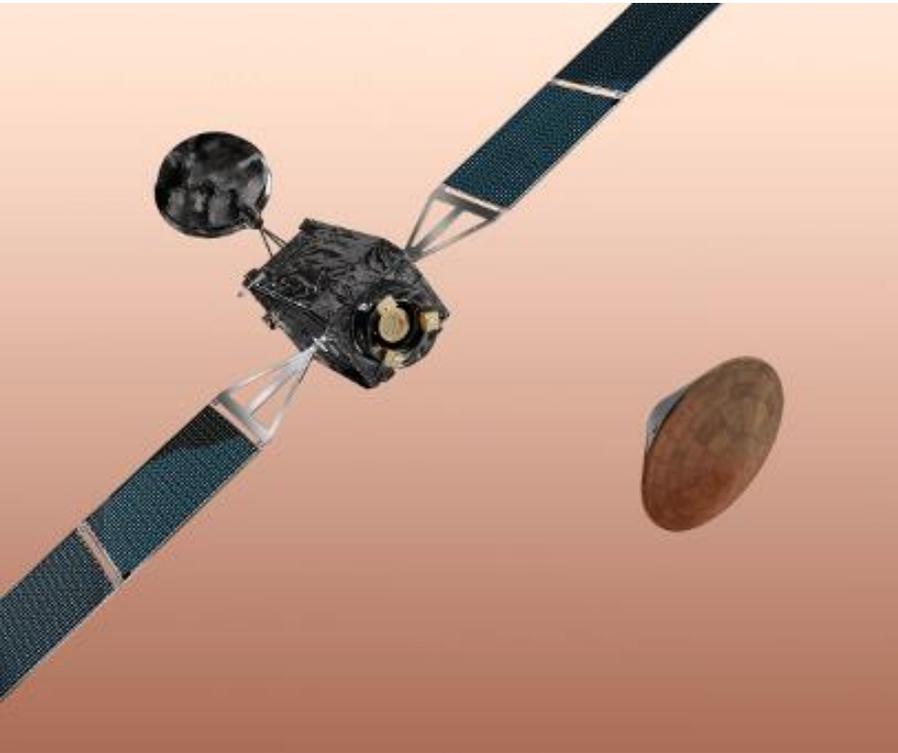
Fonte: <http://astrobiology.nasa.gov/missions/> em 14/05/2011

Pathfinder, Spirit e MSL



Fonte: <http://astrobiology.nasa.gov/missions/>
em 14/05/2011

ExoMars



Fonte: <http://exploration.esa.int>
em 14/05/2011

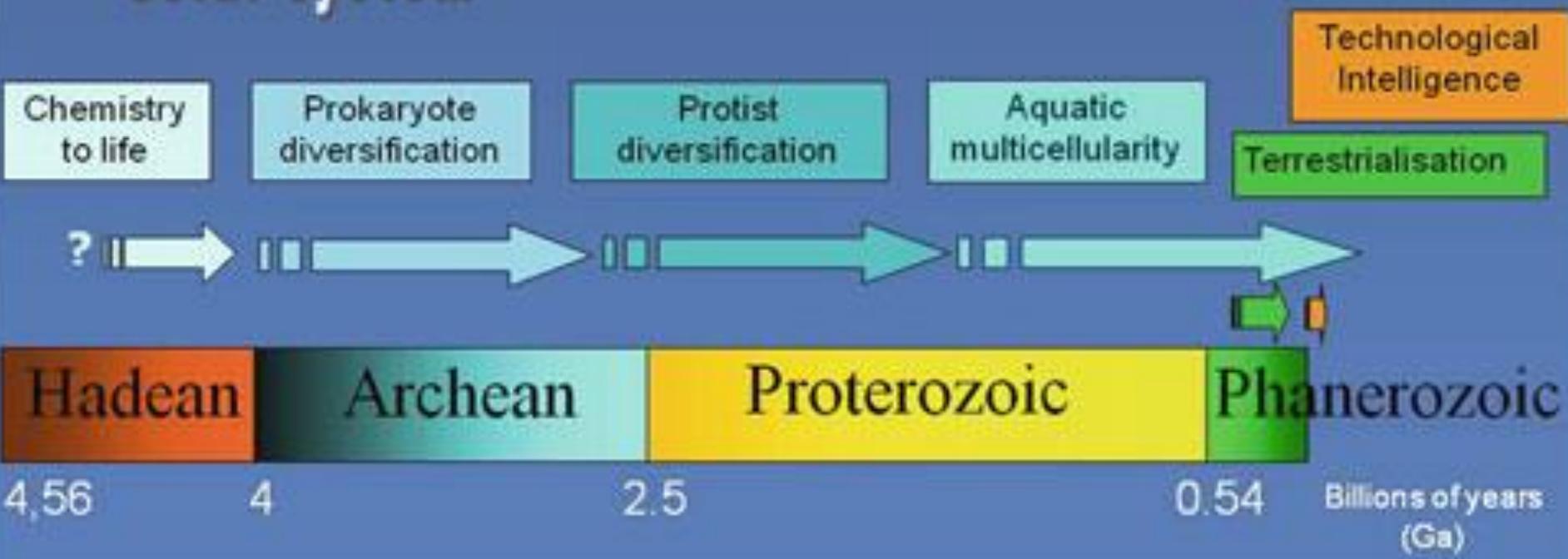
2-m depth

Dificuldades nas Missões *in situ*

- Custo de milhões de dólares por quilo de equipamento;
- Limitação da eletricidade disponível;
- Resistência do equipamento e de reagentes ao tempo e às condições espaciais/planetárias;
- Impossibilidade de preparo prévio das amostras;
- Necessidade de transmissão remota dos dados obtidos.

life detection

Decreasing Probability



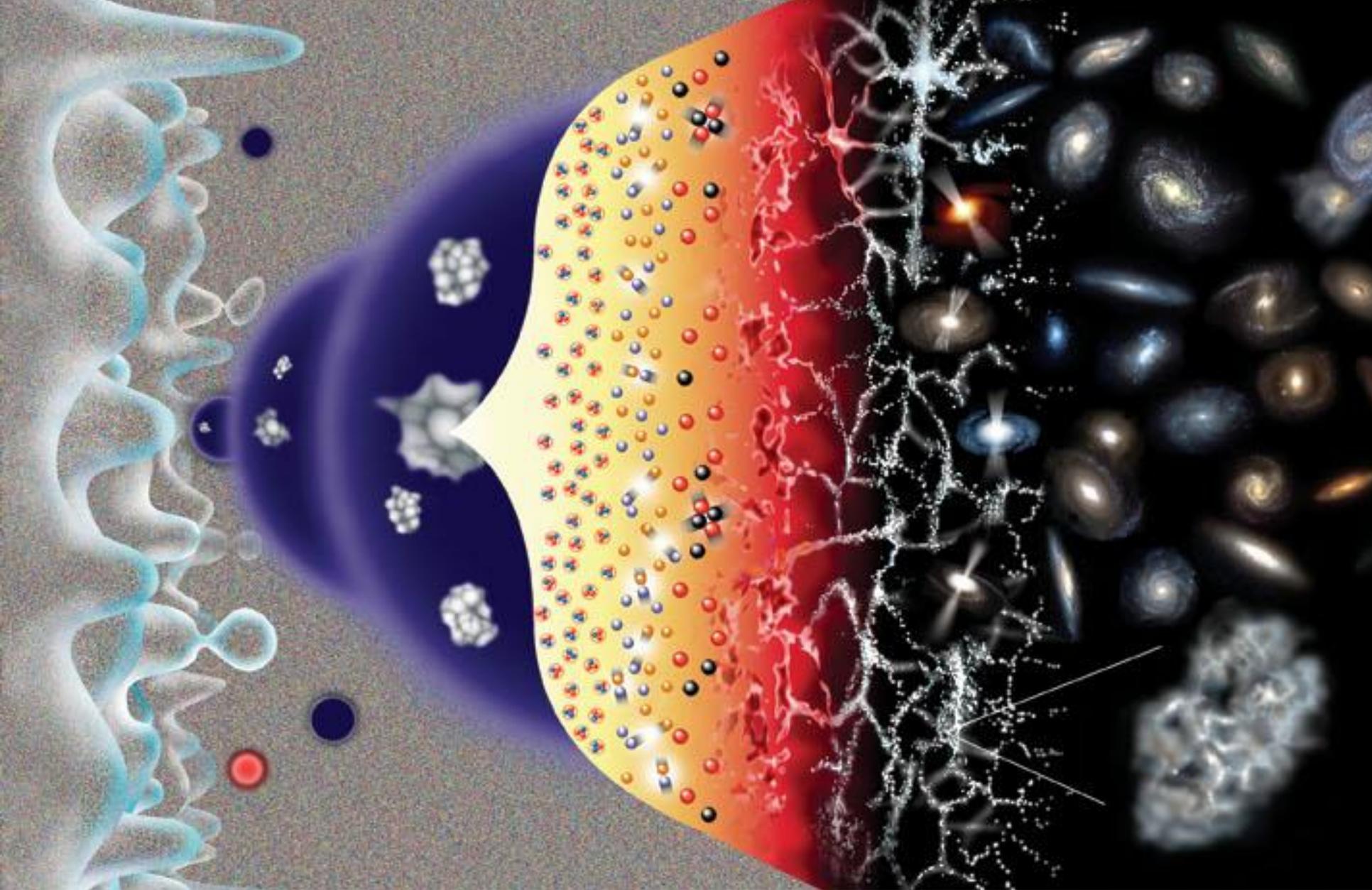


Livro online sobre Astrobiologia

Download gratuito

livro.astrobiobrasil.org





Projeto e Supervisão: Prof. Augusto Damineli (IAG-USP) / Ilustração: Paulo Roberto F. Santiago (2005)

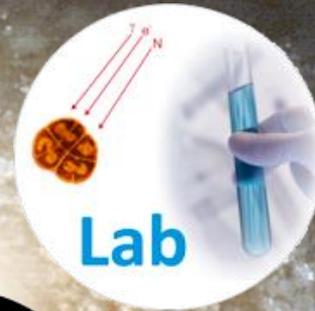
Perguntas?

farod@iq.usp.br



AstroLab

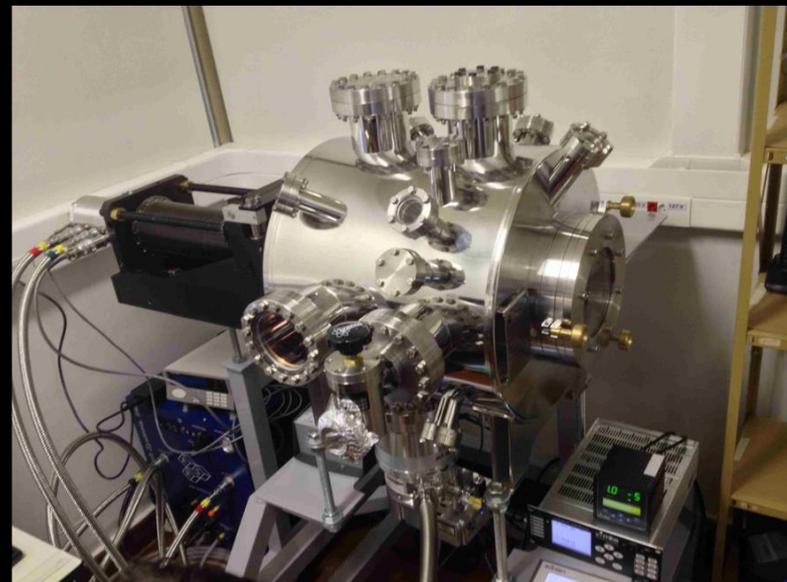
Laboratório de Astrobiologia



NAP - Astrobio

Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia

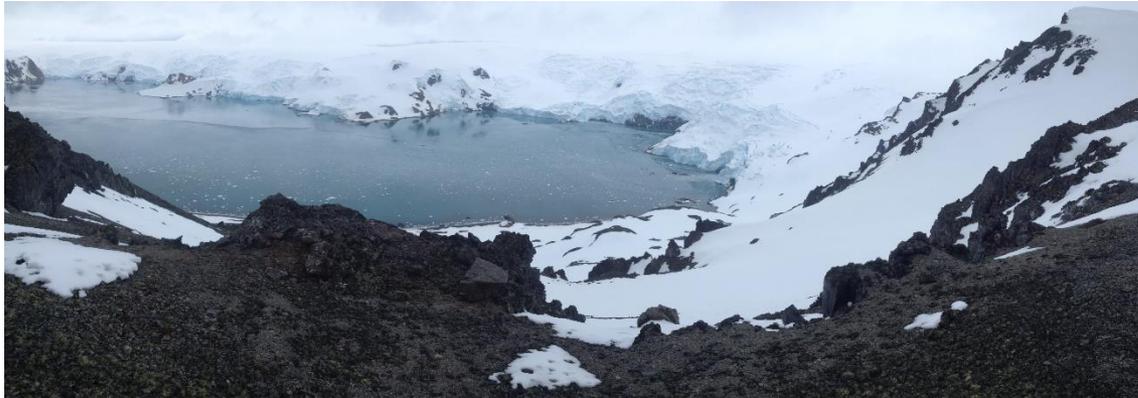




**Simulação de ambientes espaciais
e estudos de bioassinaturas.**

Microbiologia Ambiental

Antártica



Microbiologia Ambiental

Atacama (Chile)



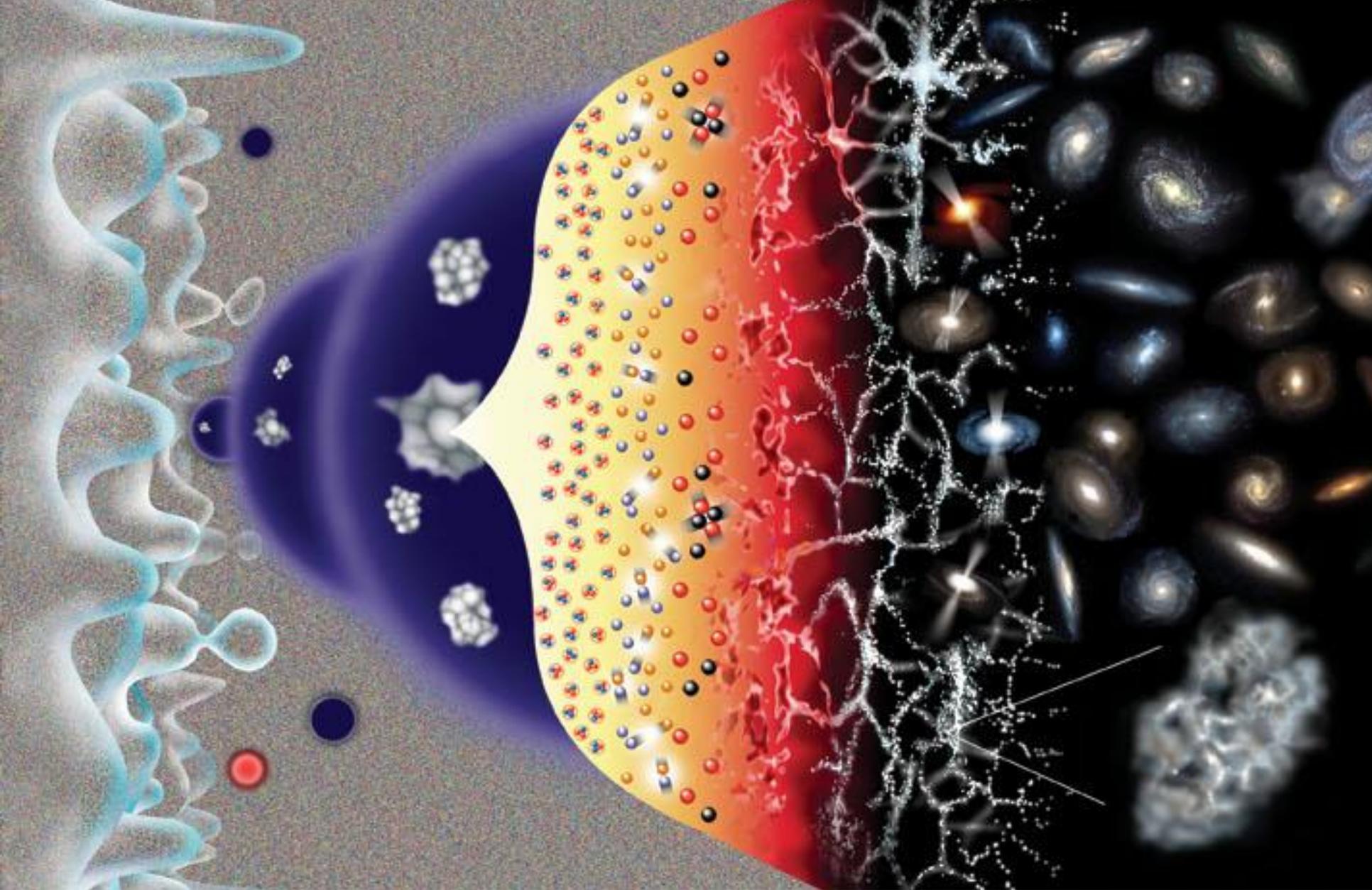


Livro online sobre Astrobiologia

Download gratuito

livro.astrobiobrasil.org





Projeto e Supervisão: Prof. Augusto Daminieli (USP) / Ilustração: Paulo Roberto F. Santiago (2005)

Perguntas?

farod@iq.usp.br