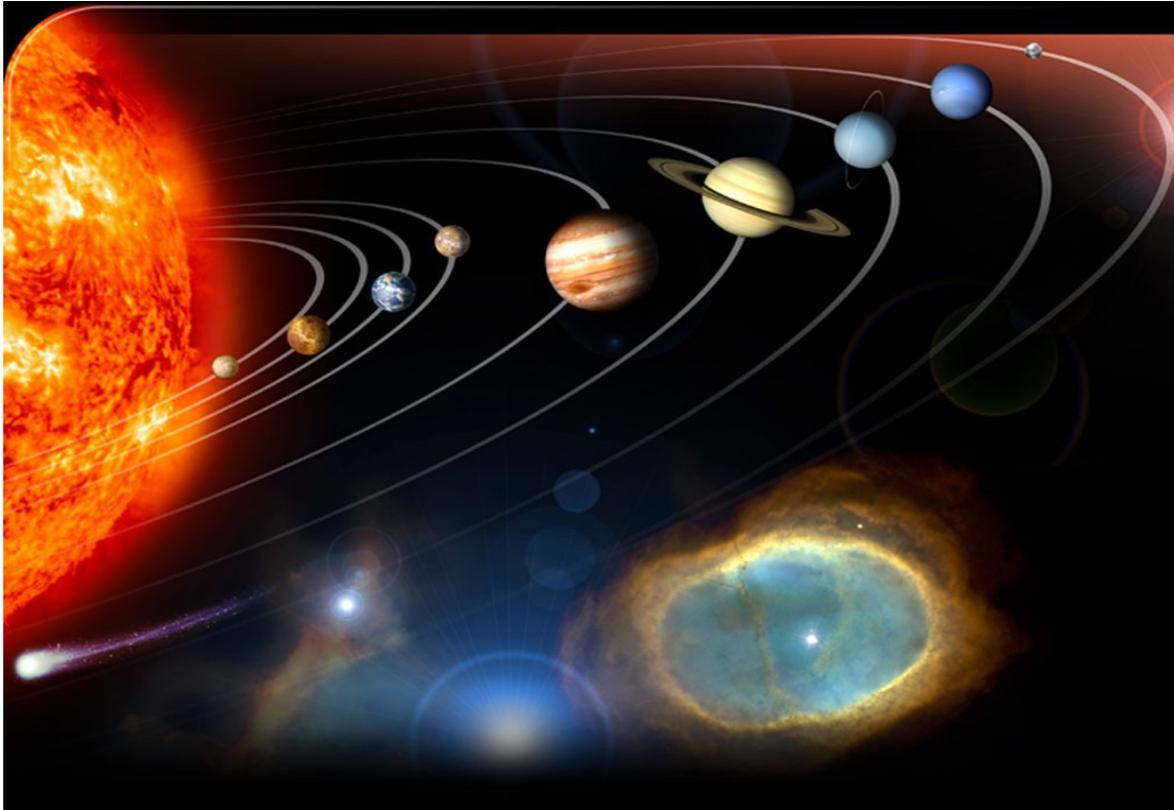


Sistema Solar – Formação e Exoplanetas



Sandra dos Anjos
<http://www.astroweb.iag.usp.br/~aga210/>

Como explicar a formação do Sistema Solar face as evidências e características observadas e apontadas nas aulas ?

Teoria Moderna da Formação do Sistema Solar - Cosmogonia

Teóricamente, 2 tipos gerais de formação:

Catastróficas: evento cataclísmico causado por forças externas (ex: explosões de Super Novas). Neste caso os sistemas planetários seriam raros.

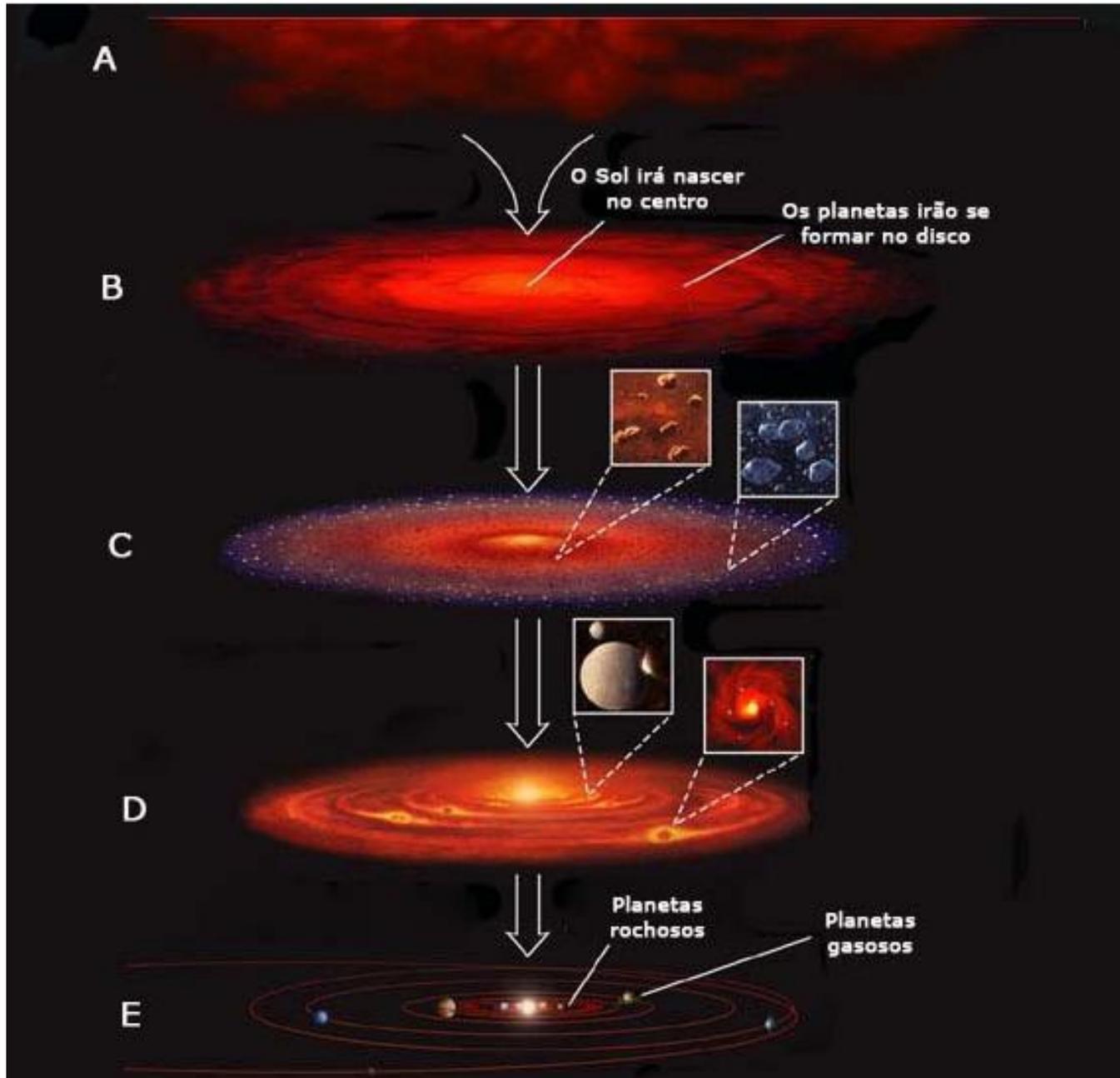
Evolucionárias: resultado de processos internos naturais acompanhando a formação do Sol e dos planetas. Neste caso sistemas planetários seriam comuns.

Modelos hoje consideram **ambas as hipóteses.**

Processo de formação de planetas é compatível com a hipótese evolucionária, mas alguns detalhes são devidos a eventos singulares e catastróficos locais.

Ex. Urano que possui eixo de rotação de 98° em relação ao plano orbital dos planetas.

Fases de Formação do Sistema Solar (1)



A - Fase 1
Colapso da
Nebulosa Solar

B - Fase 2
Formação do Sol

C - Fase 3
Formação dos
proto-planetários

D e E
Fases de
evolução dos
planetários e do
sistema geral

Formação do Sistema Solar

Teoria do Colapso da Nebulosa Solar

...um evento que se caracteriza por pelo menos 3 fases

Fase 1 – Contração e Colapso da Nuvem Molecular Gigante.

O espaço interestelar é preenchido por **nuvens de poeira + gás rarefeito**. Esta **nuvem colapsa** devido a gravidade ou a ondas choque que são engatilhadas em explosões de supernovas, por ex.

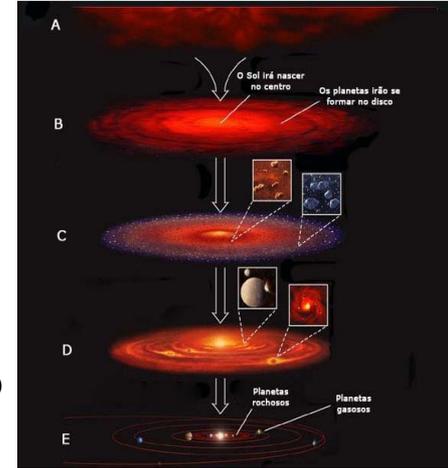
Como a nuvem está **em rotação**, a consequência é o **achatamento do sistema e formação de um disco (conservação do momento angular)**

Fase 2 – Formação do Sol.

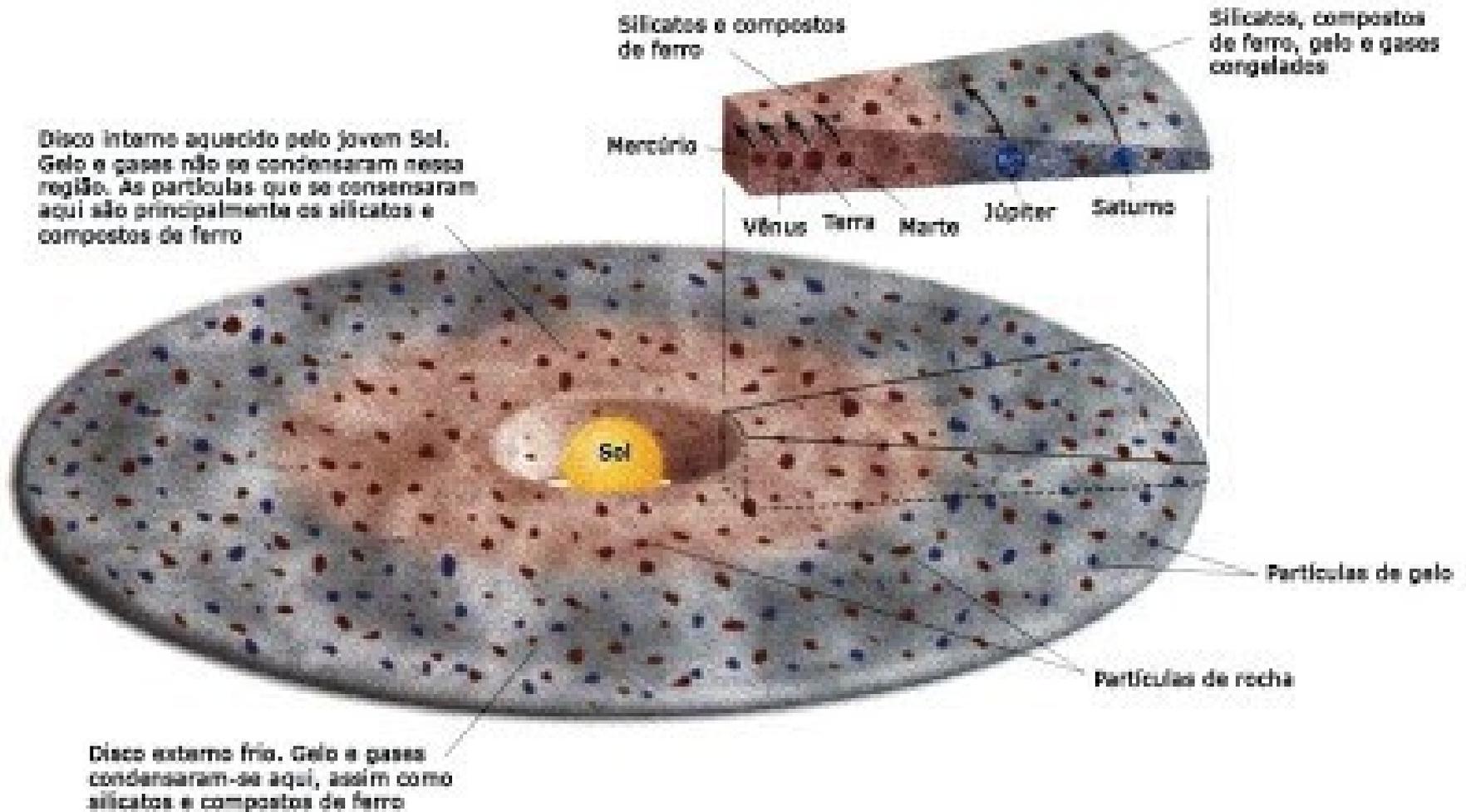
Durante o colapso o material cai mais rápido no centro do Sistema devido ao poço de potencial gravitacional. Quando a temperatura atinge $T \sim 7.000.000 \text{ K}$ em uma escala de tempo de $t = 100$ milhões anos, o Sol inicia reações químicas termonucleares transformando H em He. Nasce assim uma estrela!

Fase 3 - Formação dos Planetas.

O gás restante da nuvem molecular gigante continua a cair no sistema todo, resfria e solidifica iniciando a formação dos planetesimais ou proto-planetas, que ao colidirem se fundem ocorrendo a formação dos planetas e conseqüente evolução do Sistema Planetário

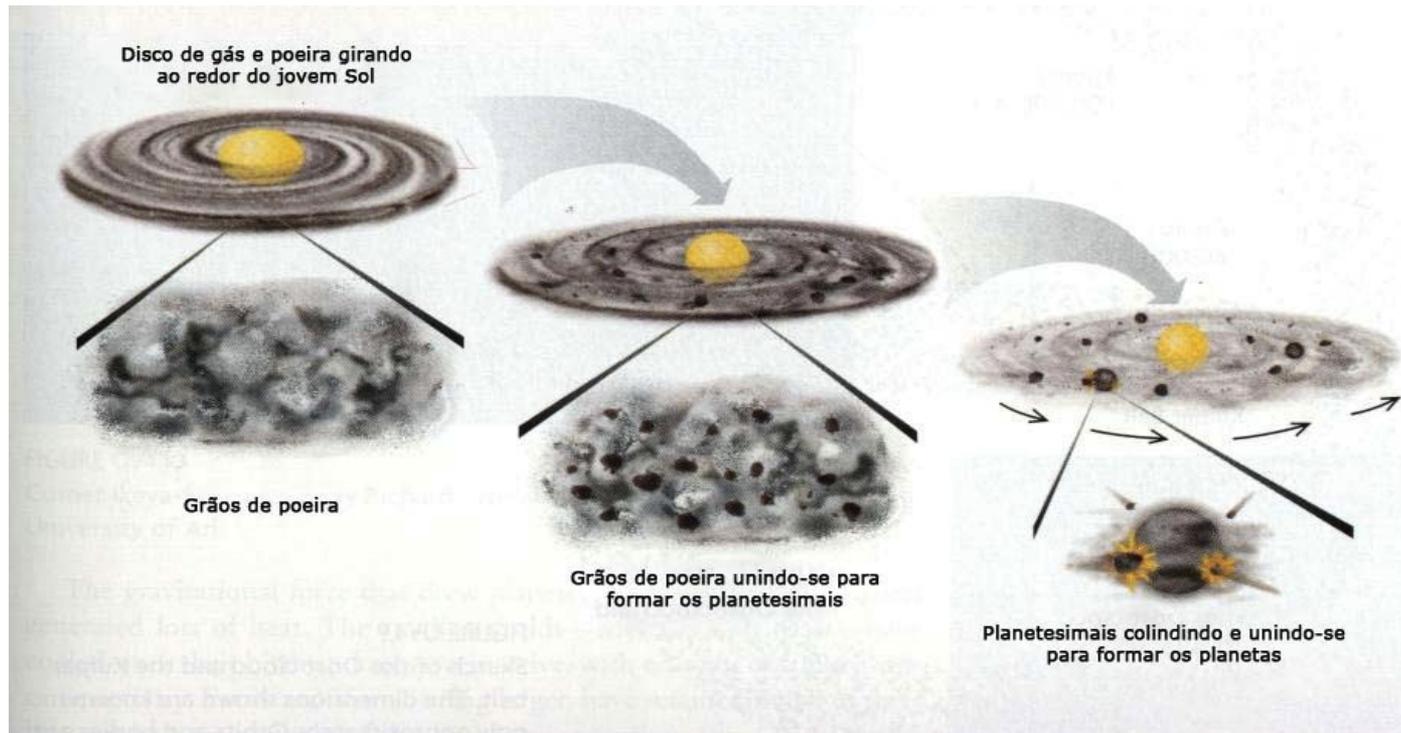


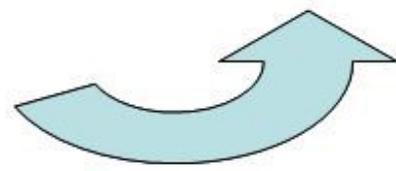
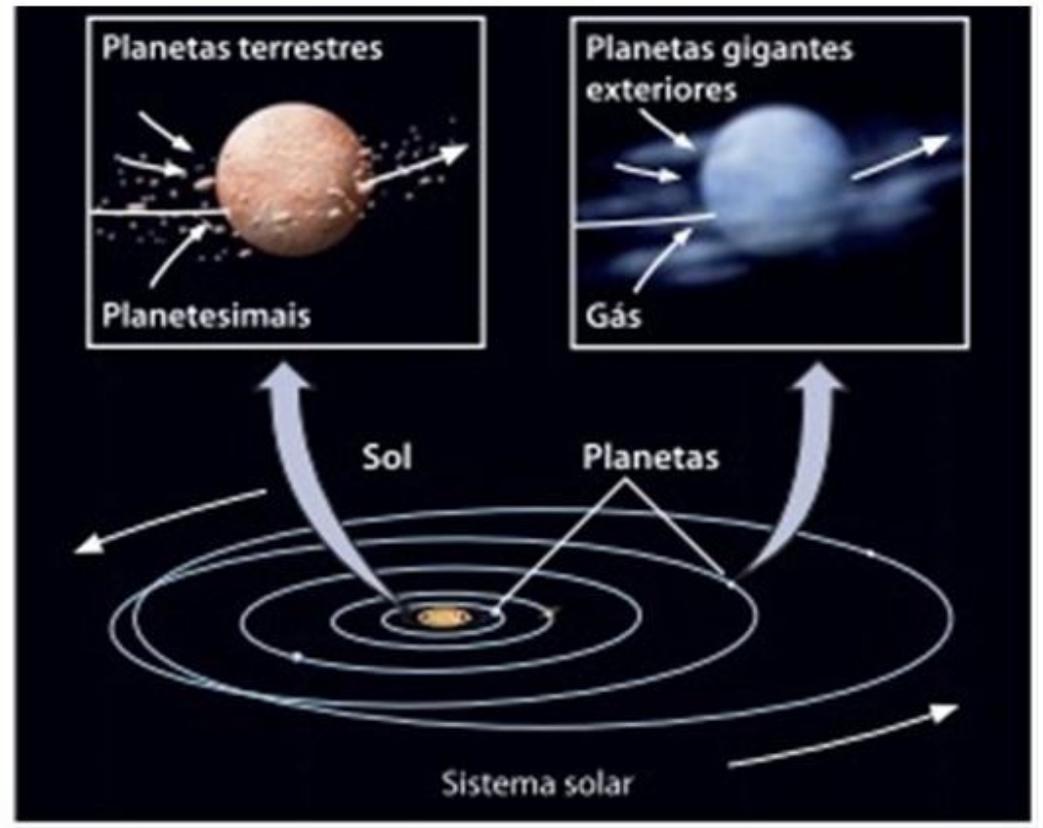
Vamos ver com um pouco mais de detalhes como ocorreu esta evolução da formação do Sol até o aparecimento dos planetas com suas diferentes propriedades...



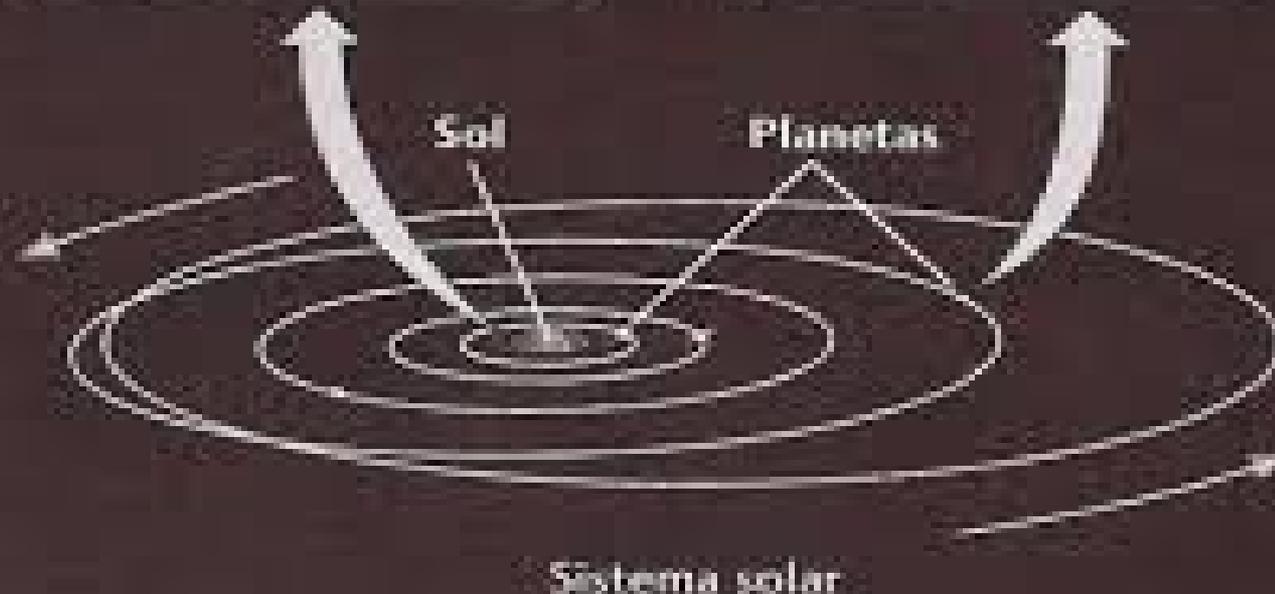
Os **materiais rochosos e metálicos** conseguiram solidificar-se nas temperaturas mais elevadas próximo do Sol, enquanto o vento solar varria os **materiais mais leves** como água, o amoníaco e o metano para longe, onde as temperaturas mais baixas permitiram a sua solidificação.

Quando os **planetésimos crescem o suficiente**, devido a colisões e fusão entre eles, ocorre a atração de outros materiais devido a seus próprios campos gravitacionais, gerando um crescimento desenfreado, o que leva a dezenas de **proto-planetas se chocarem violentamente** uns com os outros, formando finalmente os planetas.





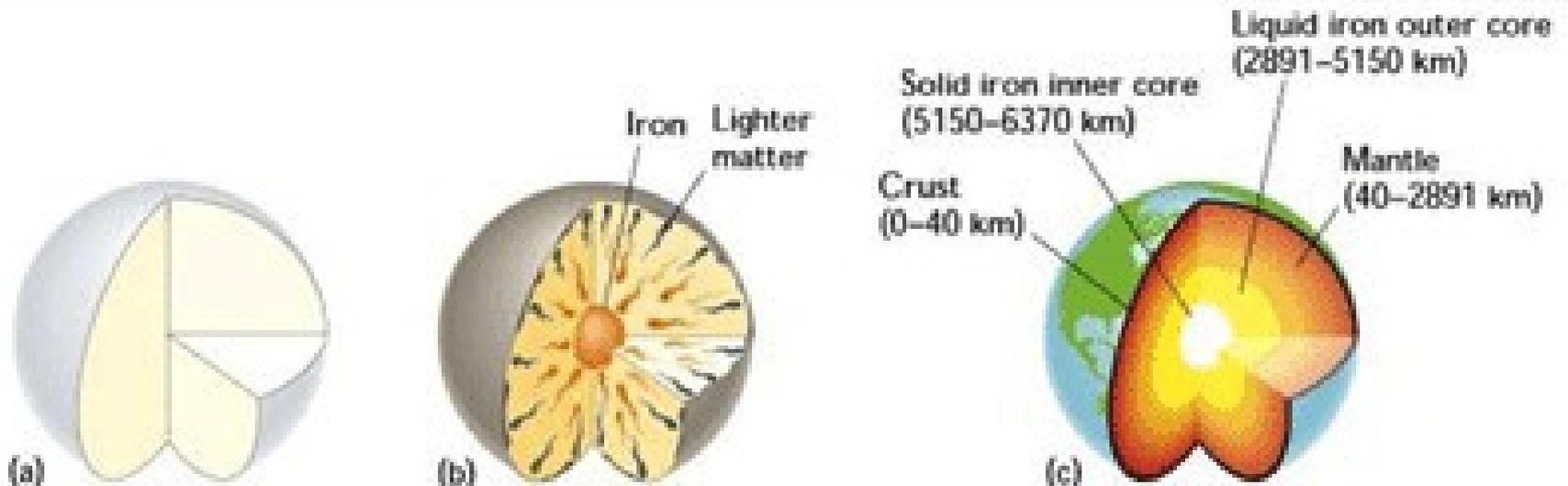
Os planetas terrestres estruturaram-se a partir de múltiplas colisões e crescimento de planetesimais ocasionados pela atração gravitacional. Os planetas gigantes exteriores aumentaram por crescimento de gás.



A **energia das colisões** entre os grandes proto-planetas juntamente com o **decaimento radioativo** dos seus materiais formativos geraram uma **grande quantidade de calor**, de tal modo que os planetas teriam sido inicialmente derretidos.

O **material mais denso** – ferro e níquel, fundidos, foram escoados para o centro de gravidade dos planetas e se transformaram nos **núcleos dos planetas**, ao passo que material menos denso compôs os **mantos**. Esta fase é conhecida como **diferenciação** e veremos mais adiante que faz parte dos "Processos Gerais" de formação e evolução dos planetas.

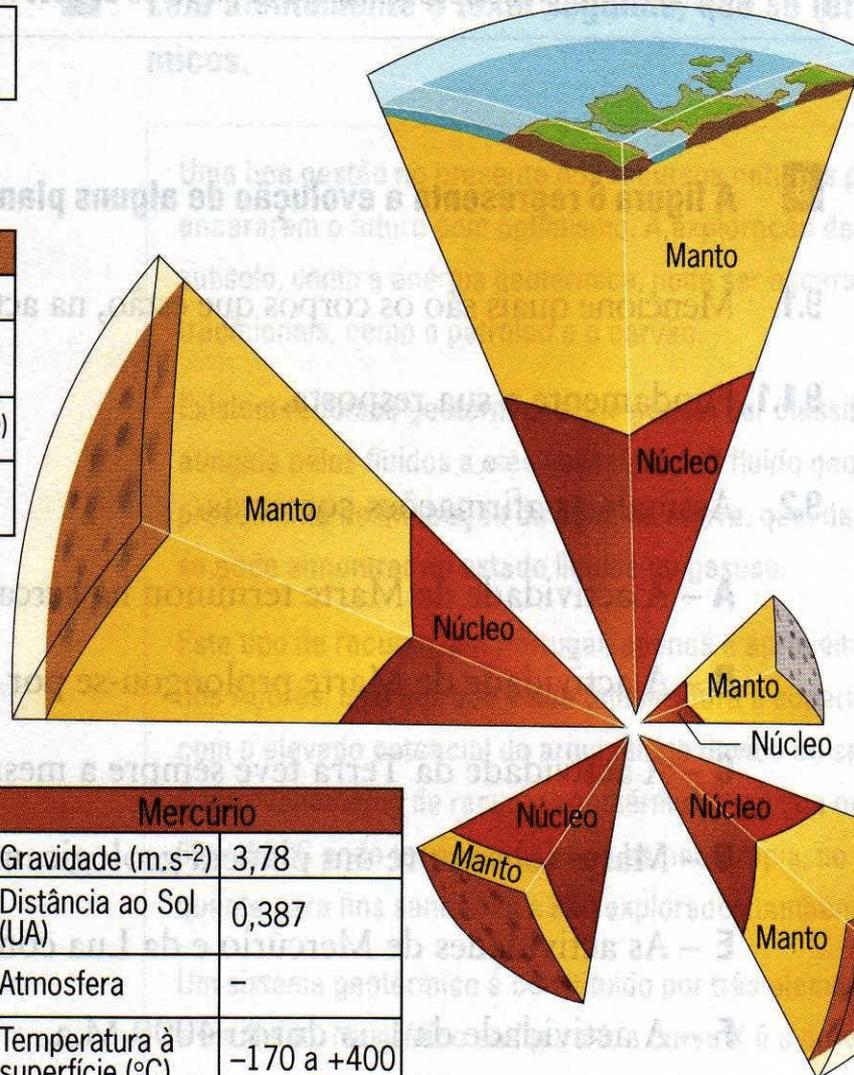
O material de **menor densidade** – basicamente silicatos – forma uma espécie de resto superficial, o **magma**, cuja solidificação ocorreu à medida que os planetas arrefeceram, originando as crostas planetárias.



Estratificação da Estrutura Interna dos Planetas Rochosos

UA – Unidade astronómica –
Distância da Terra ao Sol

Vénus	
Gravidade (m.s ⁻²)	8,60
Distância ao Sol (UA)	0,723
Atmosfera	CO ₂ (N ₂ , Ar, H ₂ O)
Temperatura à superfície (°C)	+450



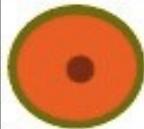
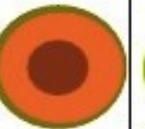
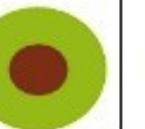
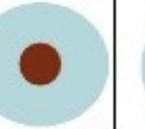
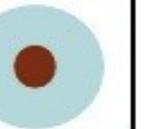
Terra	
Gravidade (m.s ⁻²)	9,78
Distância ao Sol (UA)	1,00
Atmosfera	N ₂ , O ₂ , (Ar, H ₂ O, CO ₂)
Temperatura à superfície (°C)	+14
Água líquida	+

Lua	
Gravidade (m.s ⁻²)	1,63
Distância ao Sol (UA)	≈1
Atmosfera	-
Temperatura à superfície (°C)	-170 a +150

Mercúrio	
Gravidade (m.s ⁻²)	3,78
Distância ao Sol (UA)	0,387
Atmosfera	-
Temperatura à superfície (°C)	-170 a +400

Marte	
Gravidade (m.s ⁻²)	3,72
Distância ao Sol (UA)	1,523
Atmosfera	CO ₂ (N ₂ , Ar, H ₂ O)
Temperatura à superfície (°C)	-50

Estrutura Interna dos Planetas do Sistema Solar

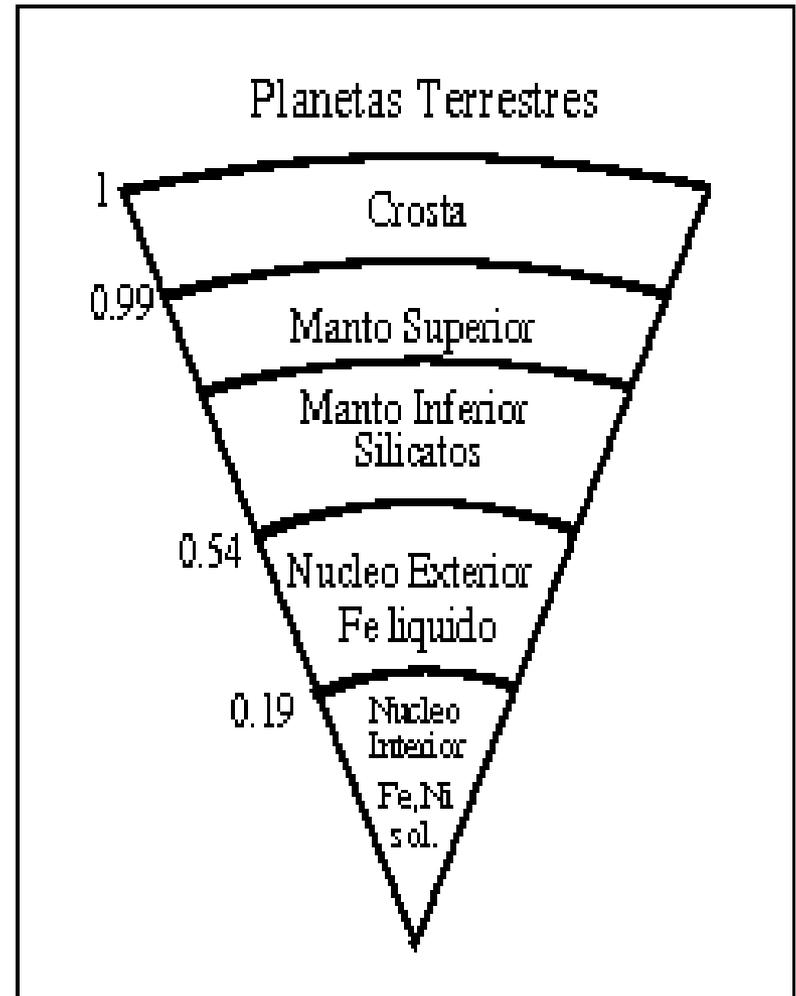
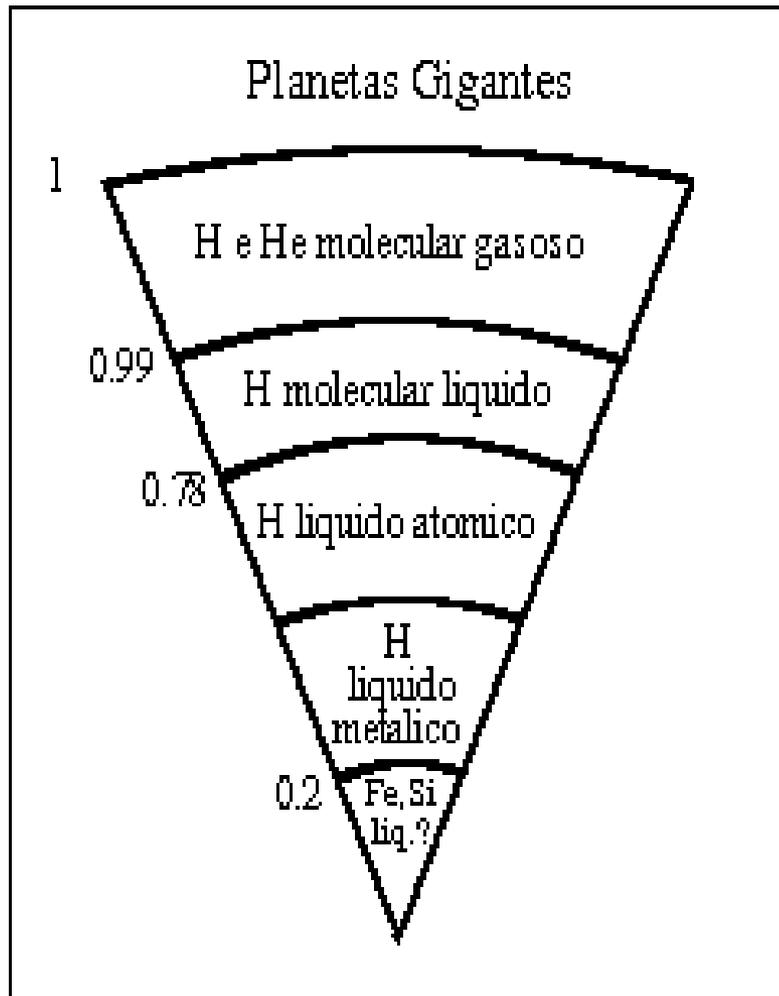
Planetas	Mercúrio	Vénus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Úrano	Neptuno
Estrutura Interna								



Tipos de Estrutura Interna

- 1º tipo- **crosta + manto + núcleo**
- 2º tipo- **crosta + manto + núcleo externo + núcleo interno**
- 3º tipo- **manto + núcleo**

Estrutura Estratificada dos Planetas



Ciência Planetária - Teoria

síntese da formação e evolução dos planetas

Todos planetas são formados pelos mesmos materiais e resultam de **mesmos processos gerais**. Entretanto, a evolução de processos e características individuais e locais dos planetas, resulta em planetas diferentes

1. Processos que Governam a Estrutura Interna

1a - Equilíbrio Hidrostático ($F_i = F_g$)

1b - Processo de Diferenciação

1c - Processo de Circulação Interna

2. Processos que Governam a Superfície

2a - Movimentos no Manto

2b - Erosão, crateras de impacto, etc...

3. Processos que Governam a Atmosfera

3a - Composição

3b - Circulação

Ciência Planetária - Teoria

1. Processos que Governam a Estrutura Interna

1a- Equilíbrio Hidrostático ($F_g = F_i$)

Cada planeta encontra-se em **equilíbrio** ou **balanço** entre a **força de gravidade** (F_g – dirigida p/ centro) e uma **força interna** (F_i – dirigida para fora) :



Nos **planetas terrestres**, a força $F_g = F_i$, atribuída a **rigidez material**

Nos **planetas gasosos**, a força $F_g = F_i$, atribuída a **pressão do fluido**

1b - Processo de Diferenciação

Fase onde os elementos pesados “escoam” para o centro do planeta. Necessita um meio fluido para ocorrer.



Nos **planetas terrestres** este processo cria estrutura em camadas: **crosta** fina, **manto** (semi-rígido), **caroço denso** (Ni + Fe) – parcialmente fluido em alguns casos

Nos **planetas gasosos** cria um **caroço pequeno e sólido, central**, abaixo das camadas fluidas ou gasosas de H e He

1c - Processo de Circulação Interna - CI

Devido a rotação, a **Circulação Interna** ocorre para qualquer planeta que tenha **zonas fluidas** em sua estrutura.

São manifestações deste processo o surgimento de Campo Magnético e Cinturões de partículas.



Nos planetas Terrestres, ocorre apenas no caroço

Nos planetas Gasosos, a circulação é complexa gerando turbulência,

2. Processos que Governam a Superfície

2a - Movimentos no Manto

Atividades tectônicas (placas crosta), vulcanismo e terremotos



Na Terra, atividades tectônicas foram responsáveis pela deriva dos continentes

Em Vênus e Marte pouco se sabe sobre montanhas e distribuição continental

2b - Erosão, crateras de impacto, etc...

3. Processos que governam a Atmosfera

3a – Composição

Balanço entre perdas (escape de gás para a atms) e ganhos (acresção de gás e processos químicos (biológicos) de vários constituintes da atmosfera durante e após a formação planetária

Na Terra a atmosfera “**ganha**” O da fotossíntese das plantas, da deterioração da matéria orgânica e a vazão vulcânica cria nitrogênio

3b – Circulação

Fatores que controlam a circulação na atmosfera

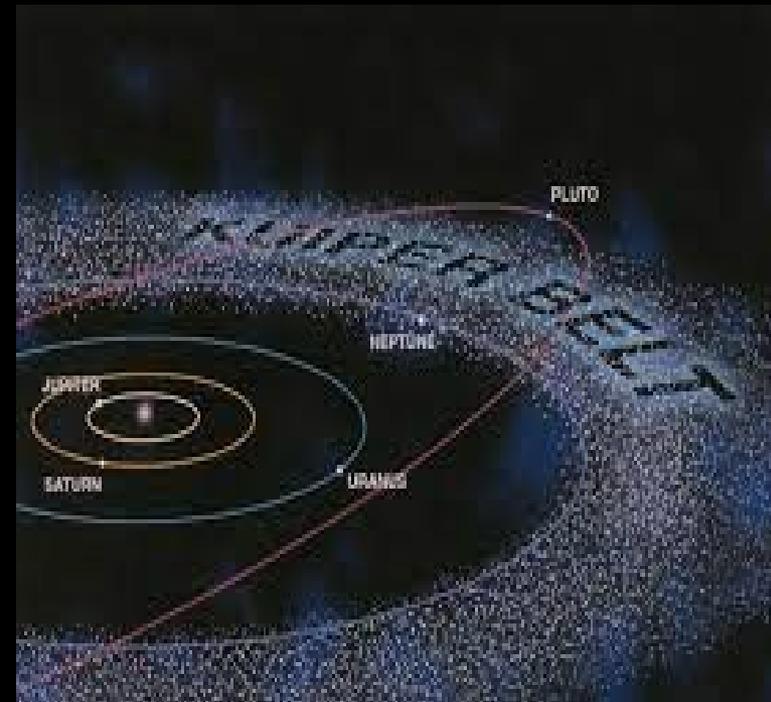
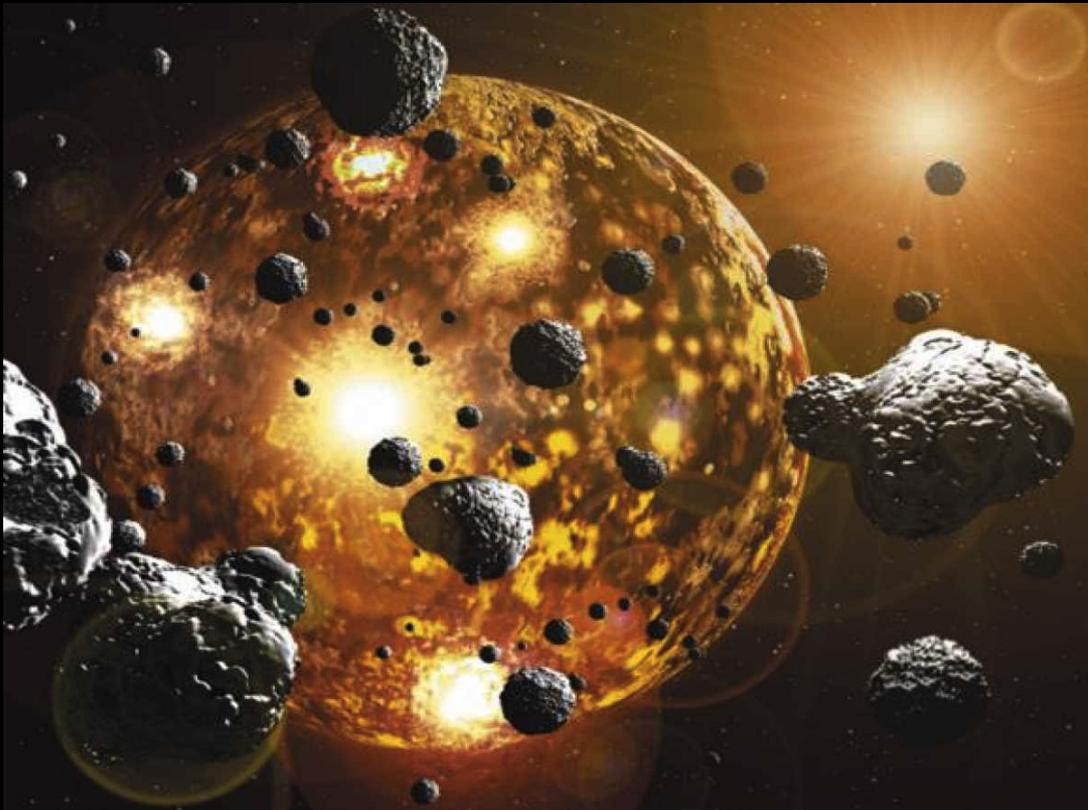
exs: convecção, rotação planetária que converte fluxos convectivos em padrões de clima, até violentas tempestades, etc...

Vamos ver agora que durante a evolução do Sistema Solar ocorreu uma **fase de desestabilização** onde **fenômenos catastróficos** foram severos e que também foram responsáveis por várias características particulares observadas em vários constituintes do Sistema Solar.

Fase de Bombardeio Pesado Tardio

Entre 3 a 4 bilhões de anos atrás, durante um período de **300.000.000 de anos**, o Sistema Solar foi bombardeado por “colisões”

Estas colisões foram geradas como consequência do **efeito dominó no ajuste de órbitas de Júpiter e Saturno**. Como consequência, fragmentos do Cinturão de Kuiper foram lançados ao centro do Sistema em direção ao Sol.



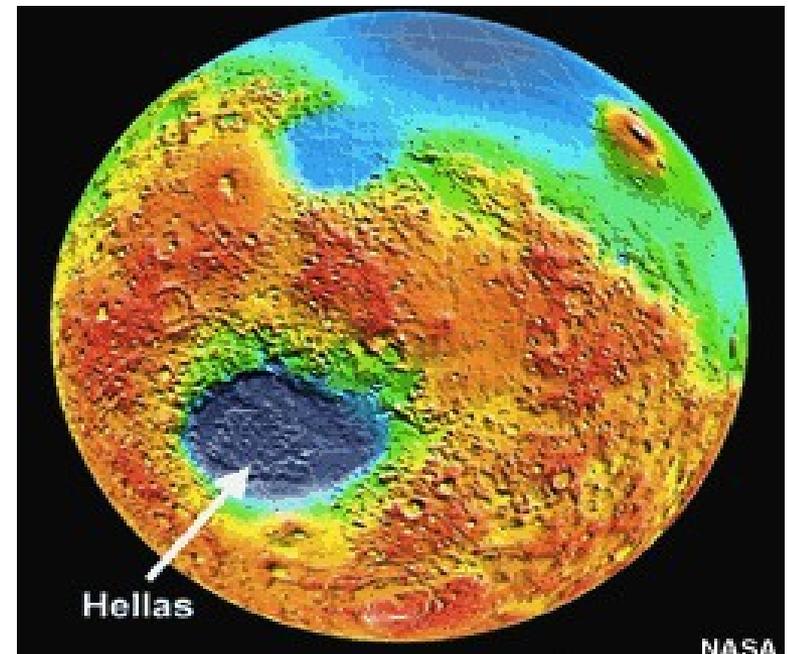
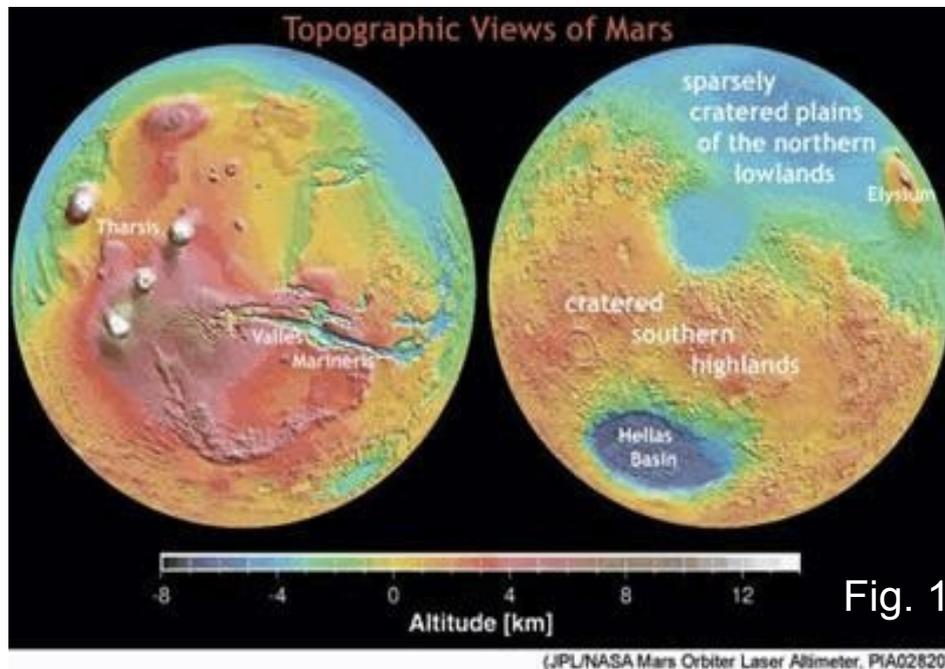
Fase de Bombardeio Pesado Tardio

...consequências...

Alguns fenômenos observados nos planetas internos sugerem que de fato ocorreu esta fase, como o caso da grande dicotomia observada na **superfície de Marte** (Fig. 1).

Na tentativa de se explicar esta dicotomia, uma teoria, entre outras, conhecida como “Teoria do Impacto Gigante” sugere que deve ter havido uma colisão de um Planetóide em Marte, a 4 bilhões de anos.

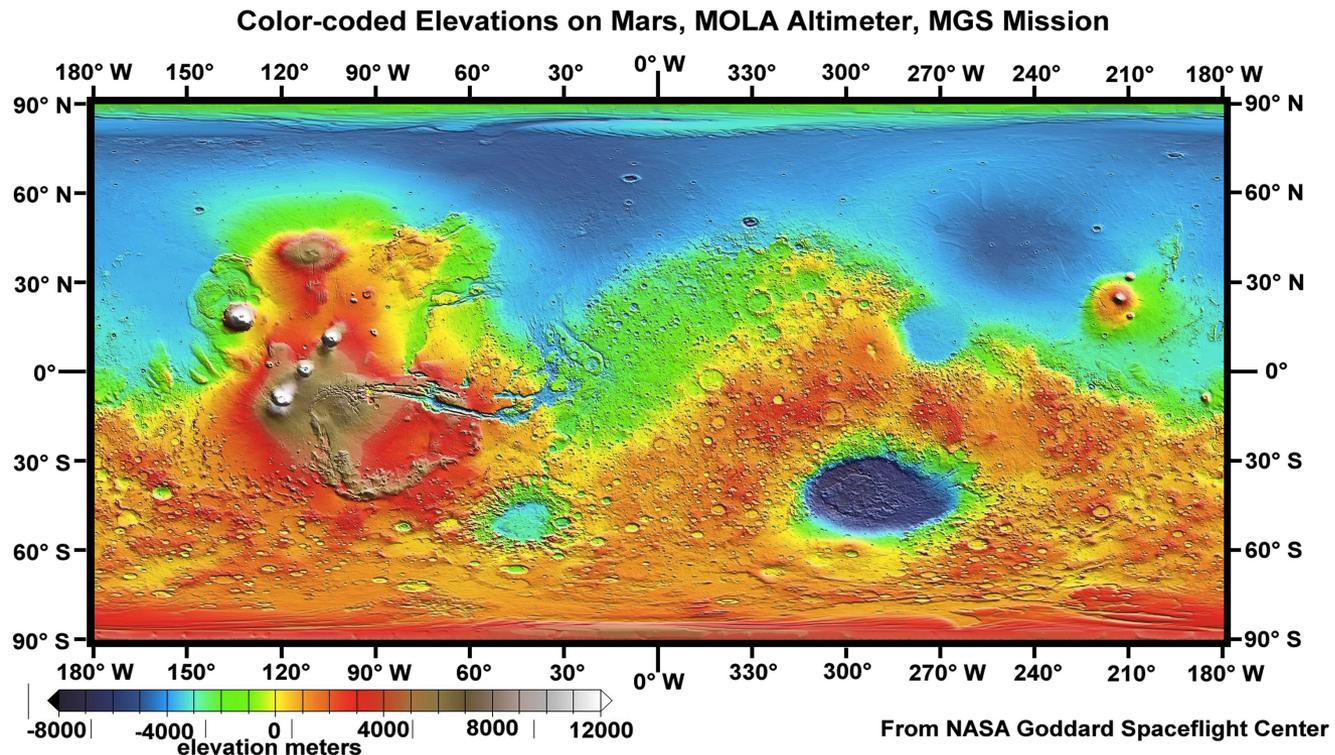
Em 1976, a sonda Viking 1, após 2000 voltas ...descobre uma planície de lavas próxima a Hellas



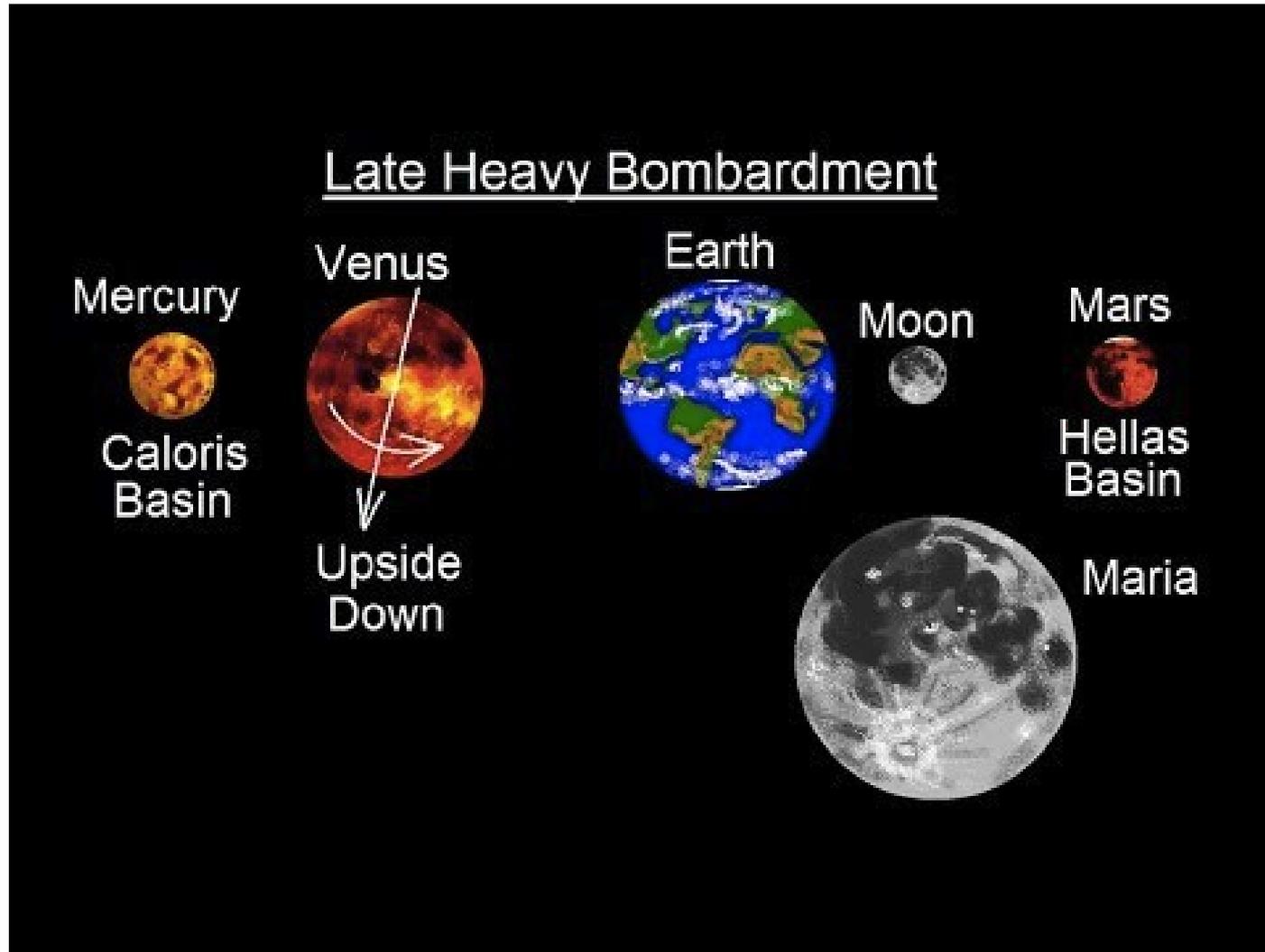
Fase de Bombardeio Pesado Tardio - 2

Do ponto de vista teórico, simulações do fenômeno foram realizadas e previram que para explicar a dicotomia observada seria necessário haver um impacto de um objeto que estaria a velocidade de $V \sim 2000$ km/h, a uma inclinação de 45° criando uma enorme cratera “elíptica”

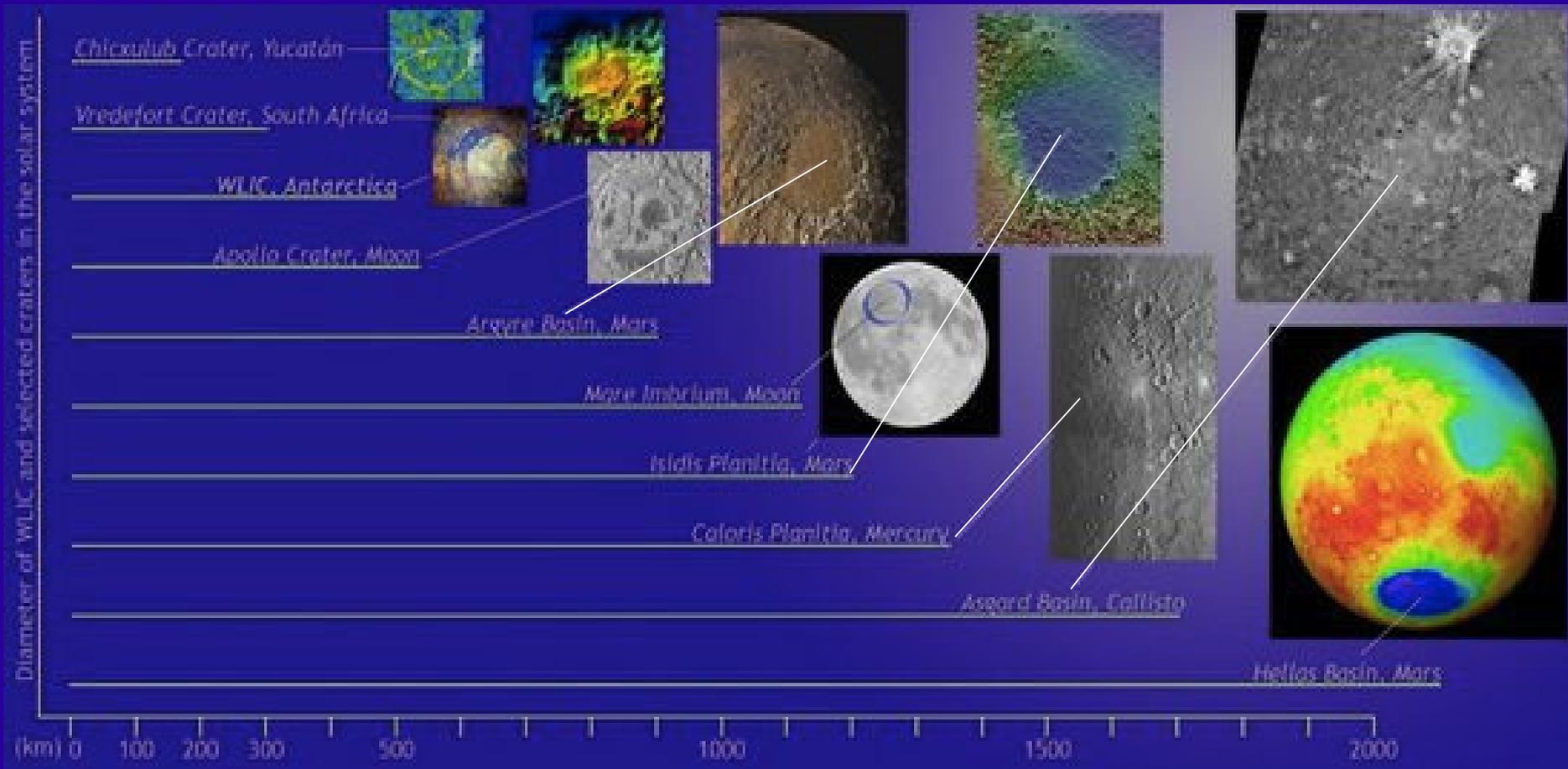
De fato, foi encontrada uma cratera com 1900 km de diâmetro abaixo do rio de lavas, reforçando a “Teoria do Grande Impacto”



Outros exemplos de consequência do bombardeio

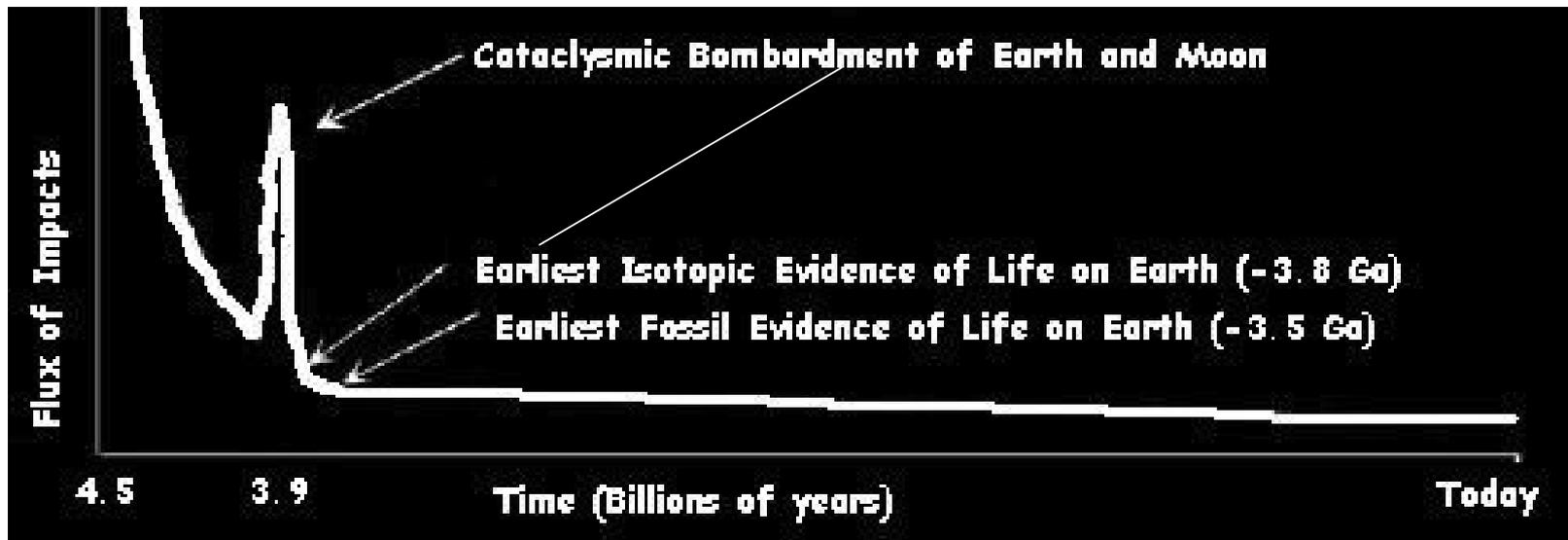


Consequências locais do bombardeio em vários astros do S.S Interno



Sementes da Vida

Material primordial para a vida na Terra pode estar relacionado com **hipótese** da PANSPERMIA, ou seja, trazida por COMETAS e ASTERÓIDES.



Uma nova área do conhecimento que está abordando esta questão do ponto de vista científico é a **Astrobiologia**, e que tem um caráter **multidisciplinar** (química, biologia, física, matemática, entre outras)

O que é vida?

Definição oficial da NASA

Sistema químico auto-sustentável e capaz de sofrer evolução darwiniana

Definição muito genérica....

Não se tem até o momento uma Teoria Geral

Todas as formas de vida que conhecemos aqui na Terra sempre apresentam a presença de **células**, definidas como unidades mínimas que possuem 3 características básicas: **compartimentização** (membrana), **metabolismo** (atividade ou “maquinaria” de reprodução) e **informação** (material genético).

Duas grandes abordagens tentam desenvolver uma explicação para a origem da vida: Teorias Top-down (1) e Botton-up (2)

1- Top-Down

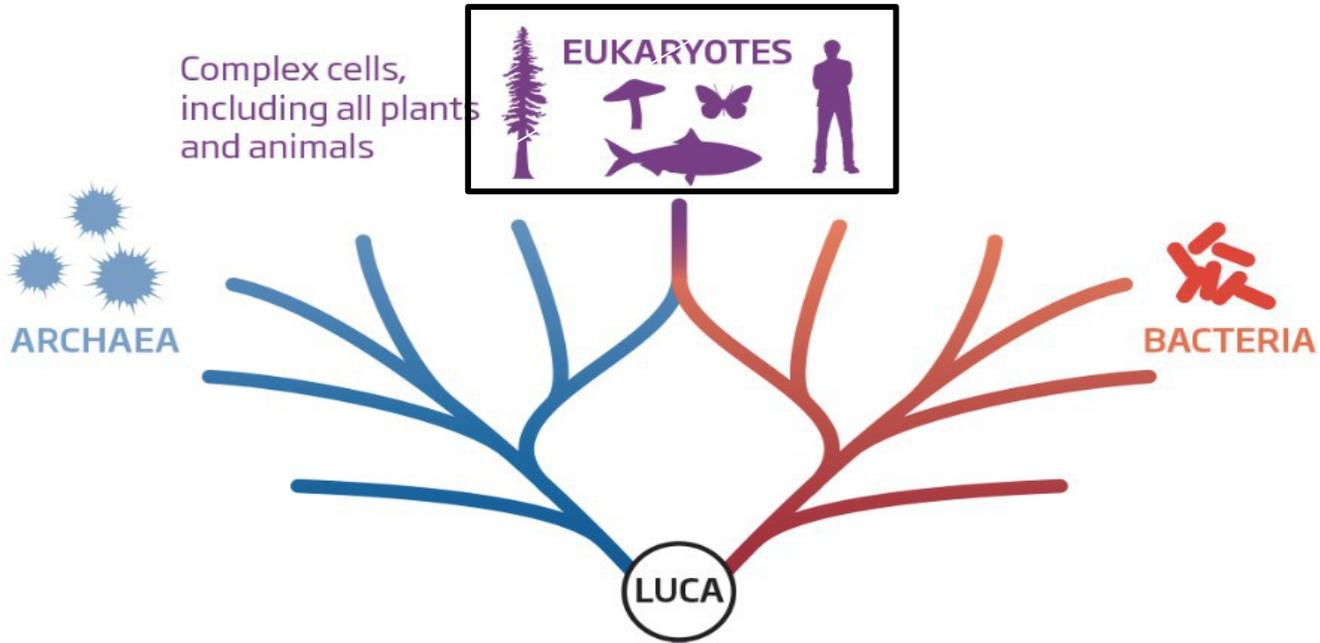
Origem das Espécies de Darwin – Árvore da Vida

LUCA - Meet your maker

nios

verticais que derivaram dele

Understanding what the last universal common ancestor of all life on Earth, LUCA, was like and where it lived



Existem versões mais complexas e atuais desta árvore que levam em conta as transformações horizontais, como corais da vida, círculo da vida, entre outros

2- Botton-up

Sopa Primitiva

Considera a mistura de elementos químicos simples que somada a exposição de energia geraria espontaneamente moléculas

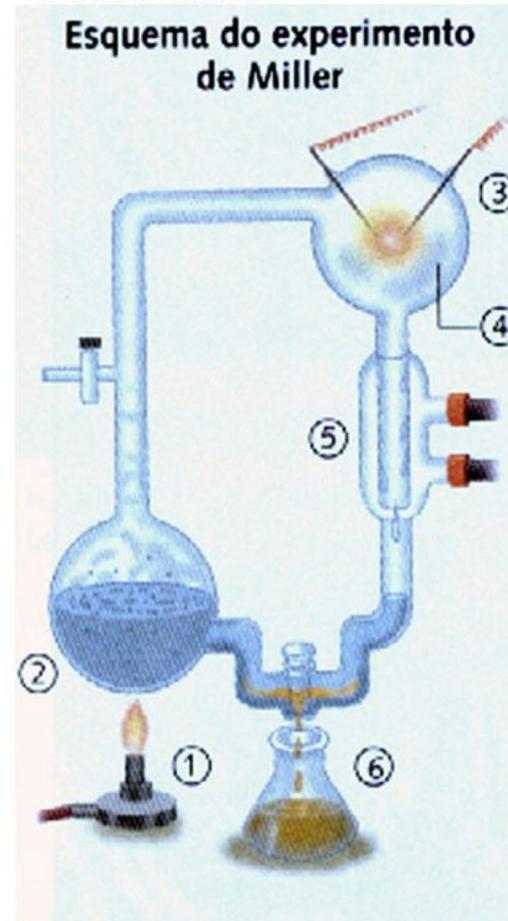
Experimentos poderiam ser realizados em laboratório – Experimento de Stanley-Miller

Materializaram e criaram modelo para processo de origem da vida e 50 anos depois sintetizaram a sequencia genética (DNA) no artigo a seguir....



O EXPERIMENTO DE STANLEY MILLER

Stanley Miller reproduziu as condições primitivas da terra em laboratório, comprovando parte da Teoria dos Coacervados.



1- Aquecimento da água

2 - A água fervendo elimina vapor que circula no aparelho.

3- Descargas elétricas simulam os raios presentes na atmosfera primitiva.

4 – Mistura de gases que supostamente estariam na atmosfera primitiva.

5 – Local onde ocorreu a condensação do vapor de água e dos gases.

6 – Frascos onde amostras da mistura são retiradas para análise.

“Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome”

2 JULY 2010 VOL 329 SCIENCE www.sciencemag.org

Daniel G. Gibson¹, John I. Glass¹, et. al.

Abstract

We report the design, synthesis, and assembly of the 1.08-mega-base pair *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0 genome starting from digitized genome sequence information and its transplantation into a *M. capricolum* recipient cell to create new *M. mycoides* cells that are controlled only by the synthetic chromosome. The only DNA in the cells is the designed synthetic DNA sequence, including “watermark” sequences and other designed gene deletions and polymorphisms, and mutations acquired during the building process. The new cells have expected phenotypic properties and are capable of continuous self-replication.

Análises bioquímicas de tudo que existe na Terra se constituem de moléculas que contêm essencialmente:

Água -> solvente

Ácidos nucleicos -> armazenam informações

Aminoácidos -> proteínas

Lipídeos -> membranas celulares

Carboidratos -> ...quase tudo

Todas elas compostas pelos conhecidos **CHONPS** (**carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, enxofre**) e outros elementos complementares como **Cl, Na, K, F, Ca, Mg, Fe, etc...**

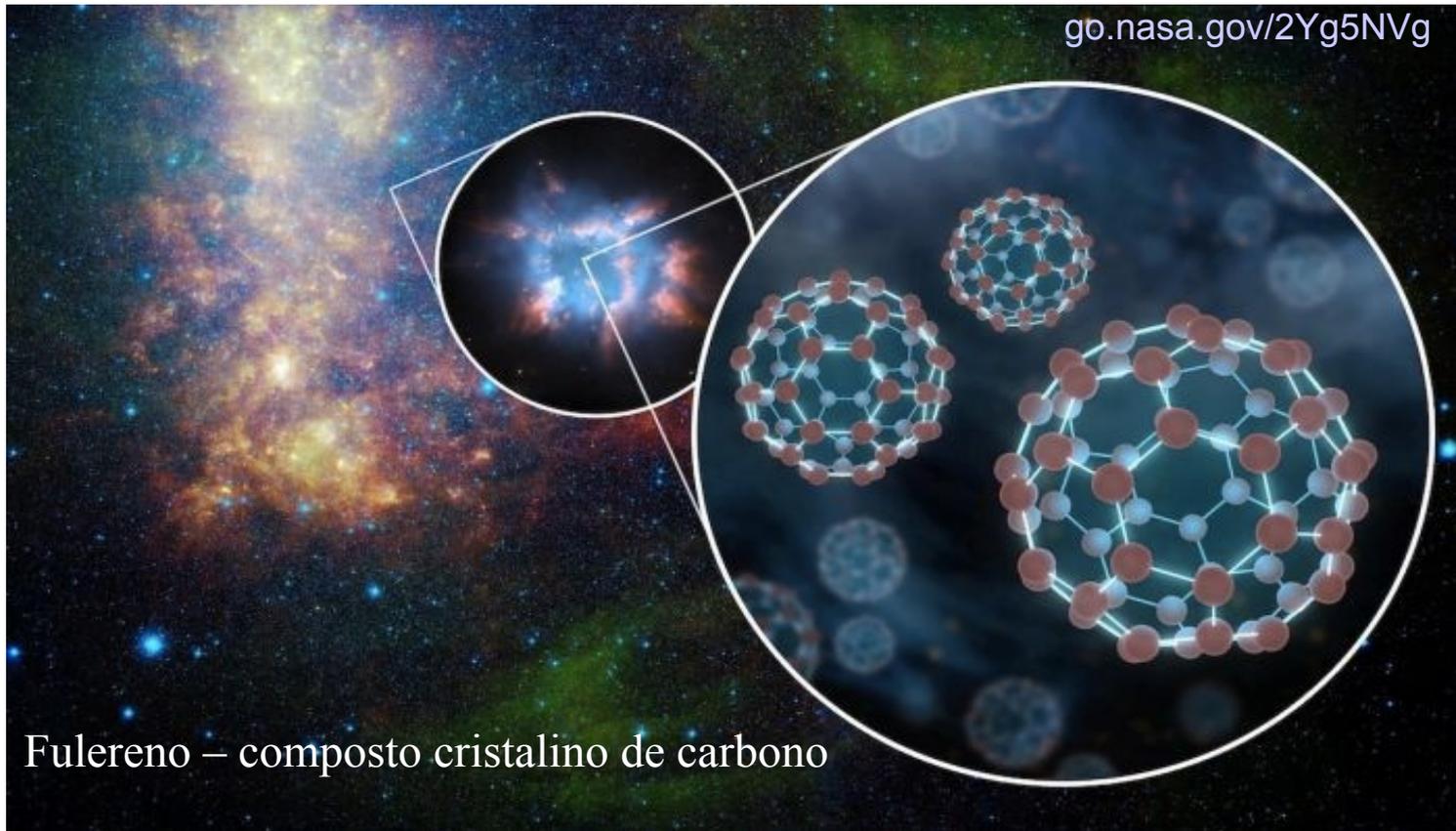
De onde estes elementos químicos vieram?

Sabemos hoje através de dados obtidos em vários e diferentes telescópios espaciais, envolvendo técnicas de espectroscopia, que reações químicas ocorrem em vários lugares do Universo gerando espontaneamente moléculas, **a maioria orgânica.**

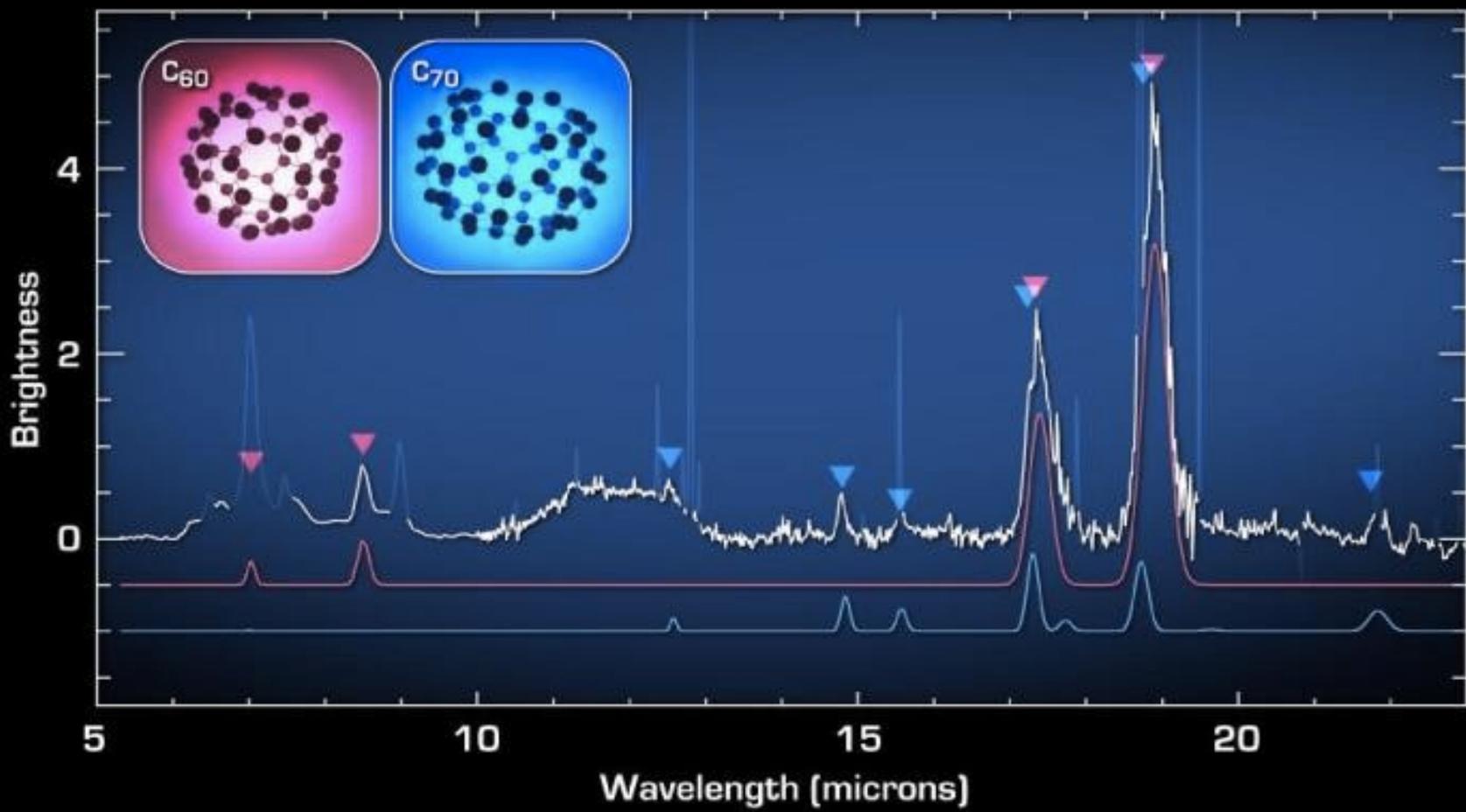
Um exemplo de reação química relevante que acontece na superfície de grãos de poeira que foram recobertos por camada de gelo do gás primordial, ali condensado, é a produção de hidrogênio molecular (H_2), o elemento mais comum

O Fulereo (C₆₀) já havia sido observado no espaço anteriormente, mas a observação pelo Telescópio Espacial Hubble marca a primeira vez em que o C₆₀ eletricamente carregado é observado no Meio Interestelar.

A carga elétrica ocorre quando um elétron é eliminado pela luz UV das estrelas, o que cria uma carga positiva.



Na Terra, essas moléculas raramente podem ser encontradas em rochas e minerais ou aparecem em fuligem criada a partir de alta combustão.



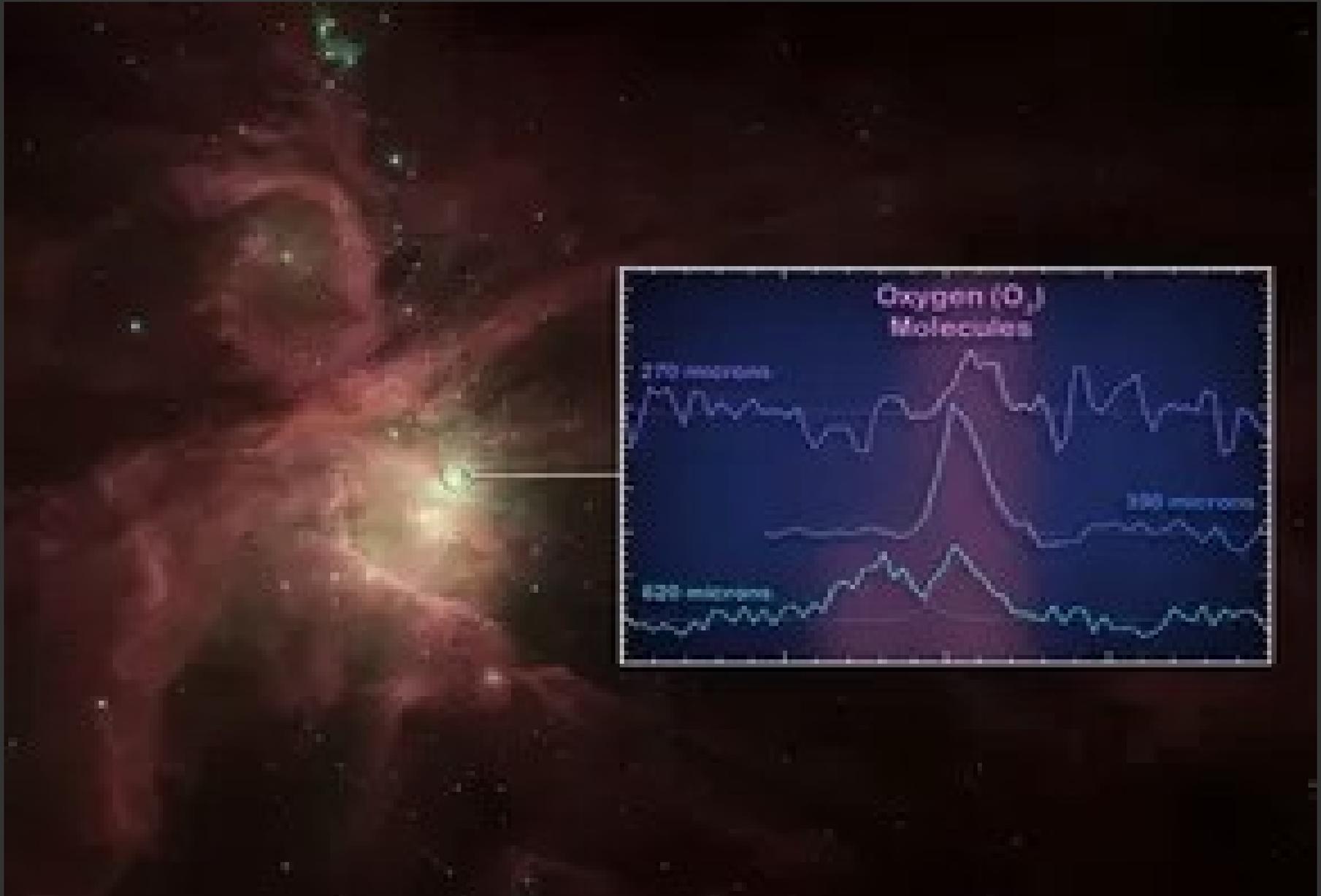
Buckyballs In A Young Planetary Nebula

NASA / JPL-Caltech / J. Cami [Univ. of Western Ontario/SETI Institute]

Spitzer Space Telescope • IRS

ssc2010-06a

Telescópio Herschel também detecta moléculas no Espaço- Oxigênio



Num cenário mais amplo, que envolve a questão de onde estas moléculas observadas apareceram, ou seja, o básico do básico, é que a **Astrofísica** pode contribuir. Como? Podemos sintetizar as seguintes informações respaldadas por um conjunto de evidências registradas e construídas nos Anais da Ciência:

Evento Big Bang produz os elementos primordiais -> **H e He** (veremos na aula de **cosmologia**)



Estes elementos se espalham pelo Universo e, em nuvens densas, se condensam

Pressão em nuvens moleculares é tão grande que os átomos se fundem, liberam energia e a temperatura local aumenta muito.....e nascem as estrelas

Evolução das estrelas, que é regida por sucessivos regimes de equilíbrio e desequilíbrio entre a força gravitacional e a pressão de radiação - gerada nas reações termonucleares, produzindo elementos químicos cada vez mais pesados (H -> He -> O -> C -> Fe, etc)



Eventos catastróficos associados aos estágios finais de evolução de algumas estrelas

...o que nos leva a seguinte constatação...

Todos os elementos químicos que constam da Tabela Periódica se originam nas reações termonucleares que ocorrem nas estrelas ou nas explosões delas...

1	H hidrogênio 1,008																	2	He hélio 4,0026					
2	Li lítio 6,94	Be berílio 9,0122																	B boro 10,81	C carbono 12,011	N nitrogênio 14,007	O oxigênio 15,999	F flúor 18,998	Ne neônio 20,180
3	Na sódio 22,990	Mg magnésio 24,305																	Al alumínio 26,982	Si silício 28,085	P fósforo 30,974	S enxofre 32,06	Cl cloro 35,45	Ar argônio 39,948
4	K potássio 39,098	Ca cálcio 40,078(4)	Sc escândio 44,956	Ti titânio 47,867	V vanádio 50,942	Cr cromio 51,996	Mn manganês 54,938	Fe ferro 55,845(2)	Co cobalto 58,933	Ni níquel 58,693	Cu cobre 63,546(3)	Zn zinco 65,38(2)	Ga gálio 69,723	Ge germânio 72,630(8)	As arsênio 74,922	Se selênio 78,971(8)	Br bromo 79,904	Kr criptônio 83,798(2)						
5	Rb rubídio 85,468	Sr estrôncio 87,62	Y ítrio 88,906	Zr zircônio 91,224(2)	Nb nióbio 92,906	Mo molibdênio 95,95	Tc tecnécio [98]	Ru rutênio 101,07(2)	Rh ródio 102,91	Pd paládio 106,42	Ag prata 107,87	Cd cádmio 112,41	In índio 114,82	Sn estanho 118,71	Sb antimônio 121,76	Te telúrio 127,60(3)	I iodo 126,90	Xe xenônio 131,29						
6	Cs césio 132,91	Ba bário 137,33	57 - 71	Hf háfnio 178,49(2)	Ta tântalo 180,95	W tungstênio 183,84	Re rênio 186,21	Os ósmio 190,23(3)	Ir irídio 192,22	Pt platina 195,08	Au ouro 196,97	Hg mercúrio 200,59	Tl tálio 204,38	Pb chumbo 207,2	Bi bismuto 208,98	Po polônio [209]	At astato [210]	Rn radônio [222]						
7	Fr frâncio [223]	Ra rádio [226]	89-103	Rf rutherfordório [267]	Db dúbnio [268]	Sg seaborgio [269]	Bh bóhrio [270]	Hs hássio [269]	Mt meitnério [278]	Ds darmstádio [281]	Rg roentgenio [281]	Cn copernício [285]	Nh nihônio [286]	Fl fleróvio [289]	Mc moscóvio [288]	Lv livermório [293]	Ts tenessino [294]	Og oganessônio [294]						
				La lantânio 138,91	Ce cério 140,12	Pr praseodímio 140,91	Nd neodímio 144,24	Pm promécio [145]	Sm samário 150,36(2)	Eu europóio 151,96	Gd gadolínio 157,25(3)	Tb térbio 158,93	Dy disprósio 162,50	Ho hólmio 164,93	Er érbio 167,26	Tm túlio 168,93	Yb itérbio 173,05	Lu lutécio 174,97						

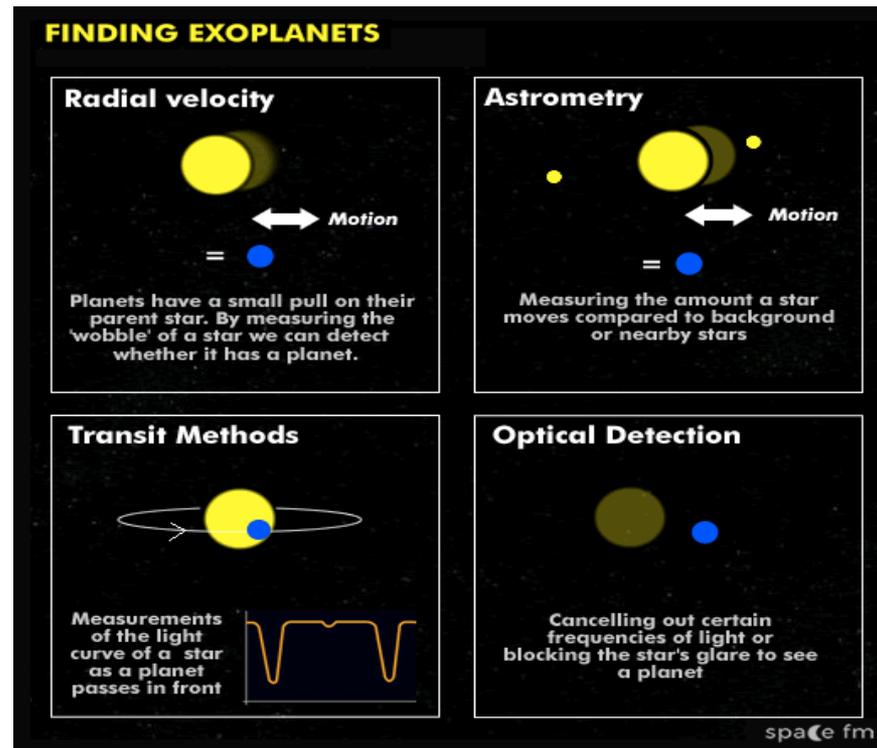
3 — número atômico
Li — símbolo químico
 lítio — nome
 [6,938 - 6,997] — peso atômico
 (ou número de massa do isótopo mais estável)

O que caracteriza um elemento químico é número de prótons encontrados no núcleo de um átomo. As reações termonucleares alteram o número de prótons de um átomo transformando-o em um elemento químico mais pesado, gerando quase todos os elementos químicos que constam da Tabela Periódica.

EXOPLANETAS

Recentemente, devido a técnicas sofisticadas de observação, tem sido possível observar planetas que se encontram orbitando outras estrelas, que não nosso Sol. São denominados **planetas extrasolares ou exoplanetas**

Até o momento existem da ordem de 5000 identificados, que foram observados por uma das seguintes técnicas de detecção: astrometria, velocidade radial, trânsito e detecção óptica (fotometria).



EXOPLANETAS

Muitos dos sistemas analisados até então, apesar de terem limitação quanto aos métodos de observações, parecem ser completamente diferentes do nosso Sistema Solar.

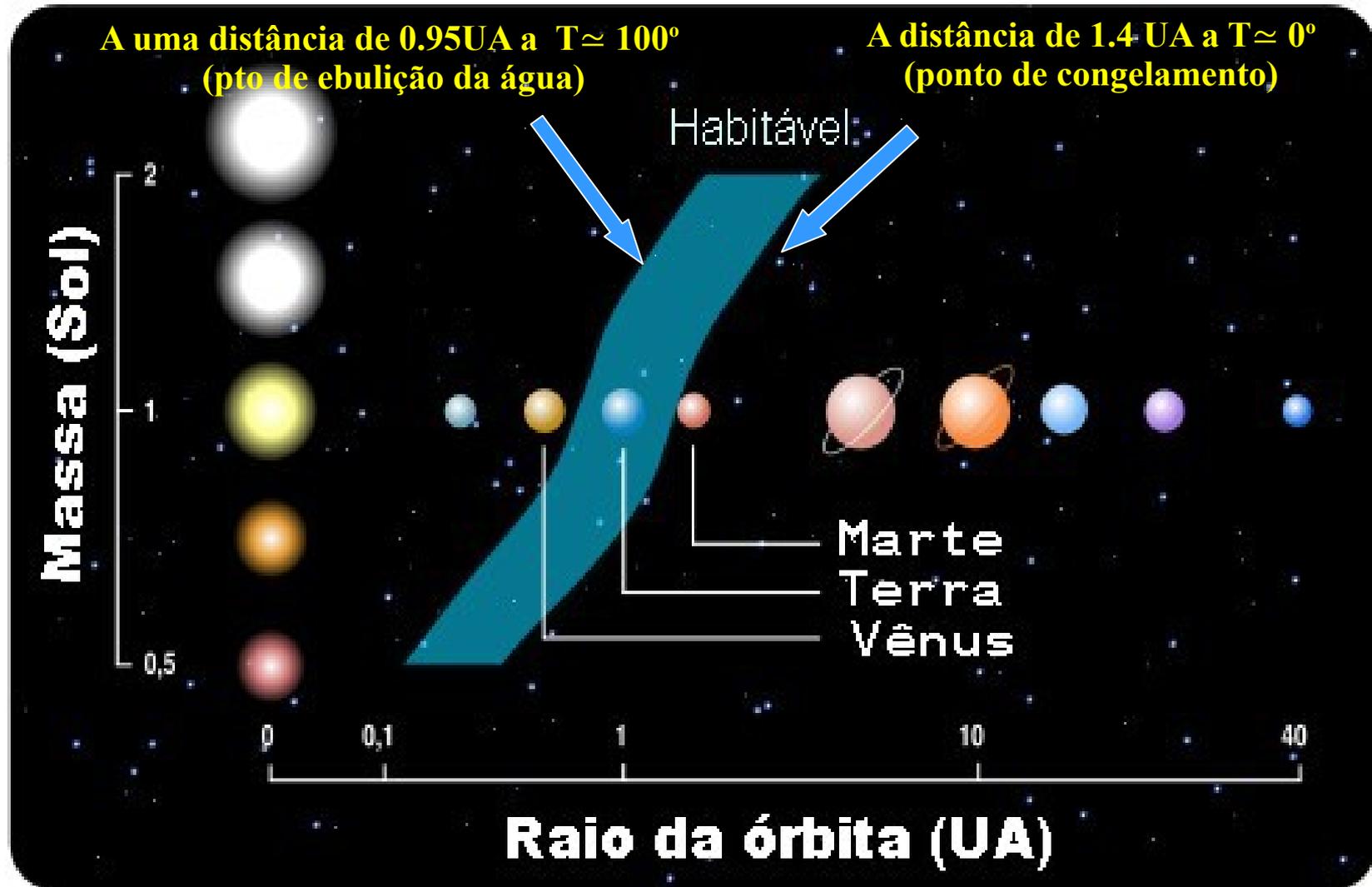
Alguns destes sistemas apresentam planetas gigantes e gasosos bem próximos as estrelas do Sistema, com órbitas menores e mais excêntricas. Teriam sido formados recentemente, não tendo tempo ainda de expulsar o gás do planeta? Teriam sido planetas que foram “deslocados” por efeitos gravitacionais do Sistema a que pertencem devido a instabilidades?

A estrutura apresentada por alguns destes Sistemas não poderia ser explicada pela Teoria do Colapso da Nebulosa Solar, como o nosso Sistema Solar.

A questão da **habitabilidade depende da presença de água na forma líquida**, e portanto, da energia recebida da estrela. Define-se então o que chamamos de Zona de Habitabilidade, que se traduz em uma **faixa de valores de temperatura (T), onde pode existir água na forma líquida.**

Zona de Habitabilidade

...depende da presença de água na forma líquida, e portanto, da energia recebida da estrela, que se traduz em uma **faixa de valores de temperatura (T)**.



Uma das condições para a existência de vida (microbiana) em um planeta é o desequilíbrio químico atmosférico (como vimos quando examinamos planetas internos - caso de Marte e de algumas luas), caracterizado pela presença simultânea, e em quantidades diferentes, de gases reagentes como oxigênio, hidrogênio e metano na atmosfera planetária.

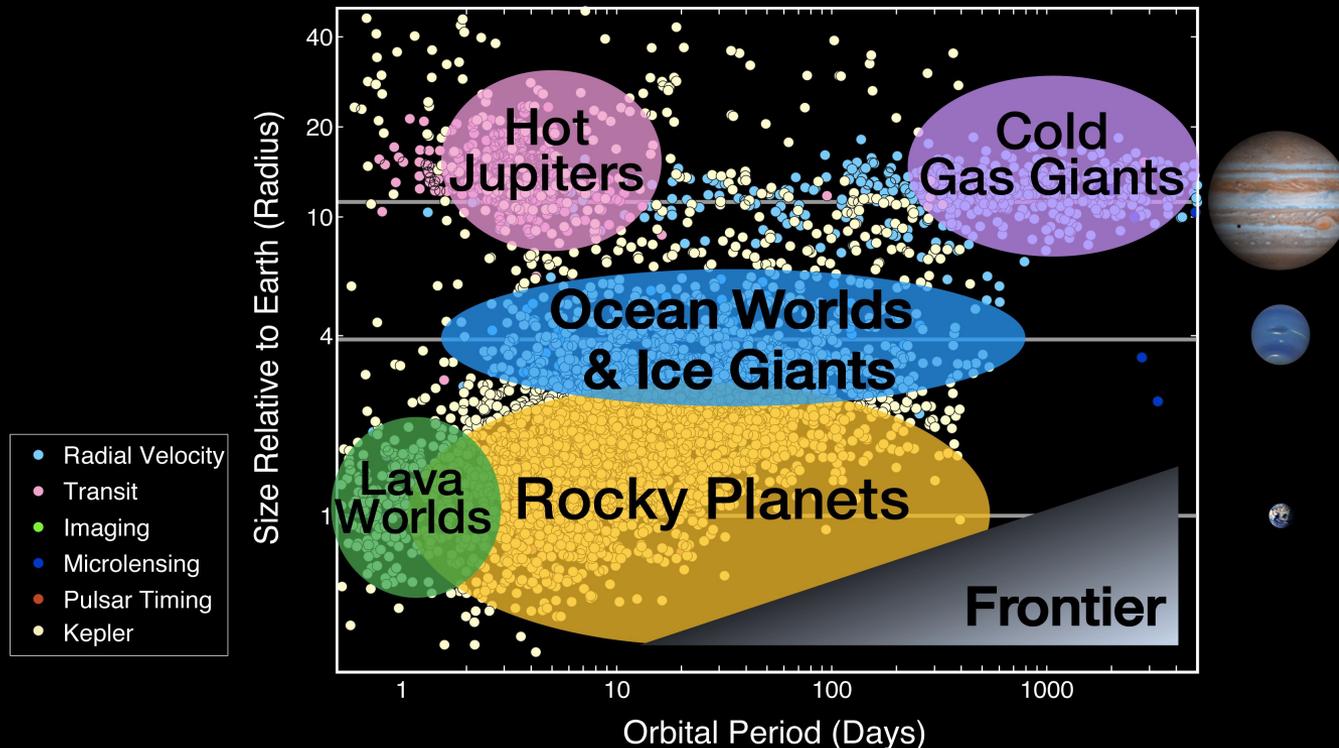
“Estudar esse estado de desequilíbrio químico atmosférico é importante em razão do potencial papel que ele pode desempenhar na detecção de vida em outros planetas”

Mais de ≈ 5000 planetas extra-solares já foram descobertos. “É preciso reduzir a seleção de planetas [possivelmente] habitáveis para aqueles que apresentam alto desequilíbrio químico não relacionado a qualquer outro processo, como a fotossíntese, mas à vida” (Simoncini).

Para maiores informações sobre Zona de Habitabilidade Galáctica para Vida Simples e para Vida Complexa ver tese do IAG:

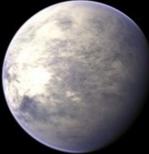
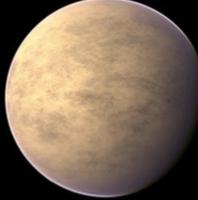
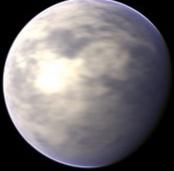
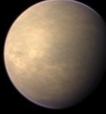
http://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_fernando_s_mello_corrigida.pdf

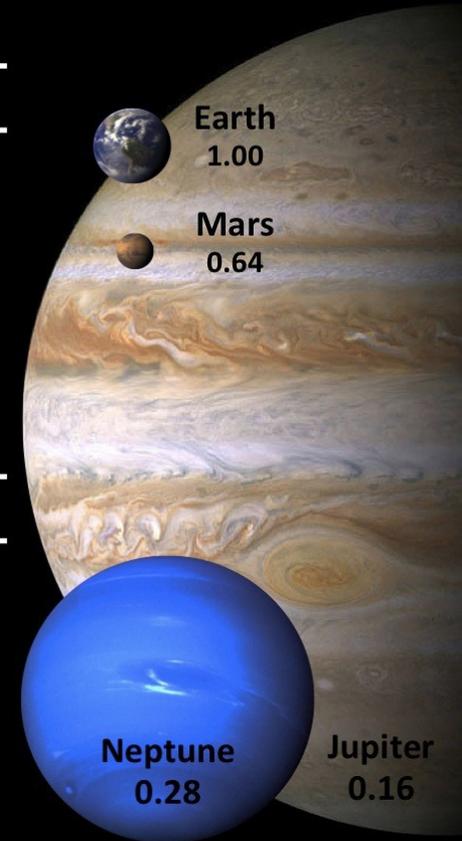
Até o momento foram identificados vários exoplanetas, e o gráfico abaixo mostra a distribuição da população



Seleção dos Exoplanetas Potencialmente Habitáveis

Ranked in Order of Similarity to Earth

#1	#2	#3	#4	#5	#6
					
Gliese 667C c ** 0.83	Kepler-62 e 0.83	Tau Ceti e* 0.77	Gliese 581 g* 0.76	Gliese 667C f 0.76	HD 40307 g 0.73
#7	#8	#9	#10	#11	#12
					
Kepler-61 b 0.73	Gliese 163 c 0.73	Kepler-22 b 0.71	Kepler-62 f 0.67	Gliese 667C e 0.60	Gliese 581 d 0.53



*planet candidates

Number below the names is the Earth Similarity Index (ESI)

CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) December 5, 2013

** (ESI: 0->1; R, D, Ve, Ts e geoquímica)

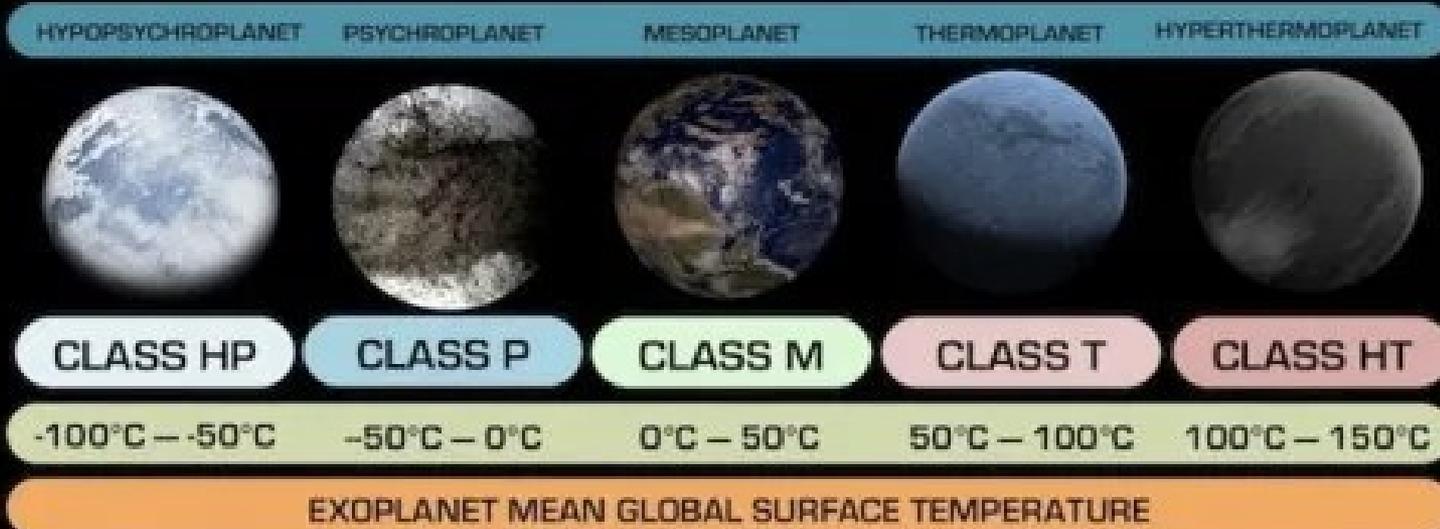
HABITABLE EXOPLANET CLASSIFICATION

PLANETARY HABITABILITY LABORATORY

ASTROBIOLOGY SCIENCE

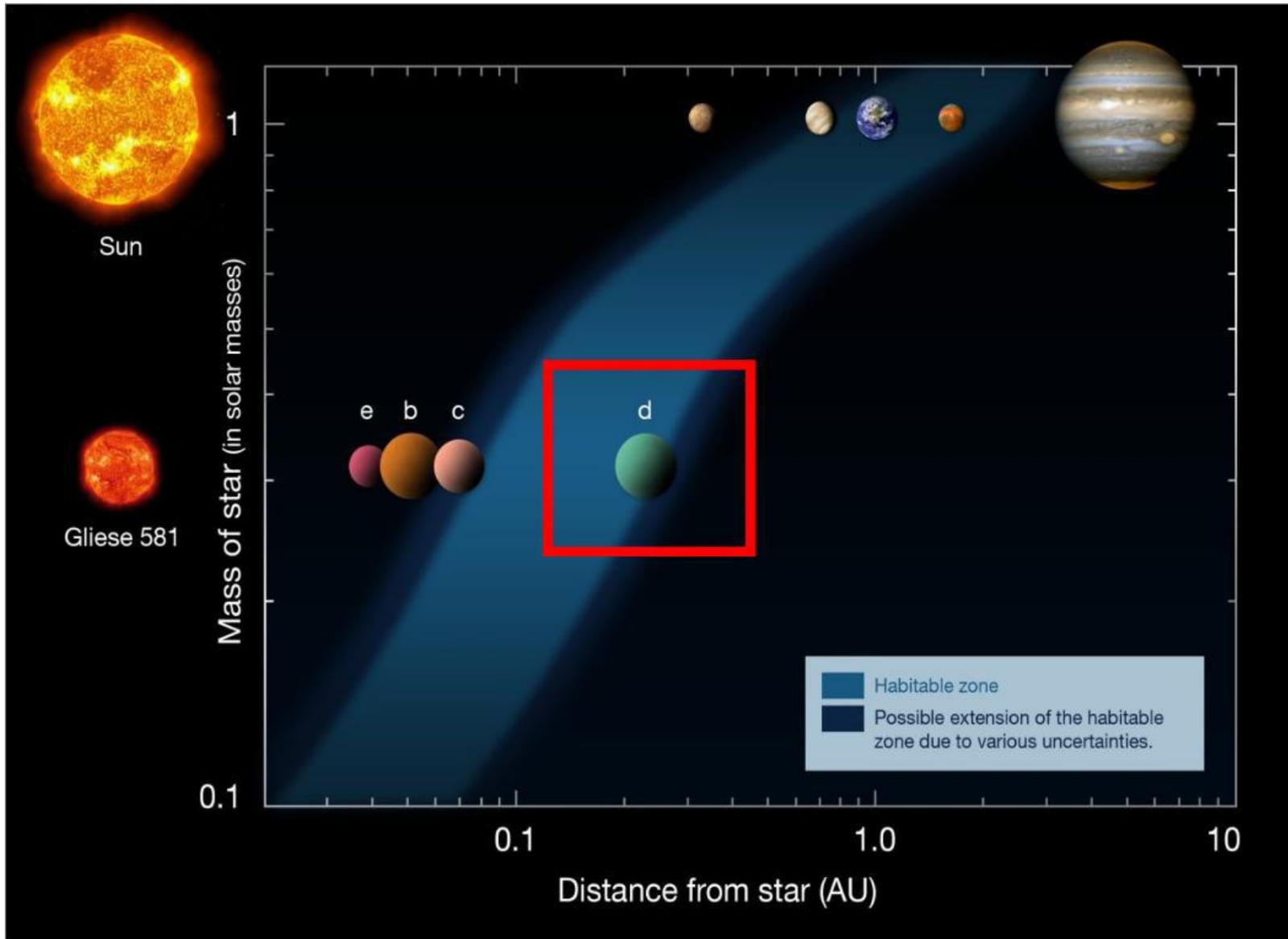
HABITABLE EXOPLANETS ARE CLASSIFIED IN FIVE MAIN CLASSES

- 01 EXOPLANETS ARE DIVIDED ACCORDING TO MEAN GLOBAL SURFACE TEMPERATURE.
- 02 ALL ARE WITHIN THE HABITABLE ZONE AND HAVE A RADIUS BETWEEN 0.5 TO 2.0 EARTH RADII.
- 03 CLASS M EXOPLANETS MIGHT SUPPORT COMPLEX LIFE.
- 04 CLASS P AND T EXOPLANETS ARE ONLY HABITABLE TO EXTREMOPHILES.
- 05 CLASS HP AND HT EXOPLANETS ARE IN THE LIMITS OF TERRESTRIAL LIFE.



Zona Habitável para estrela Gliese 581

...veja os planetas Gliese 581 c e Gliese 581 d



Comparação de Gliese-c com a Terra

Outra Terra, a 20,4 anos-luz de distância



EXOPLANETA K2-18b

Descoberto em 2015 pela Sonda Kepler da NASA, da ordem de oito vezes maior que Terra, está a 111 anos luz de distância e localiza-se em uma zona de habitabilidade daquele Sol, K2-18, que é uma estrela Anã-Vermelha.

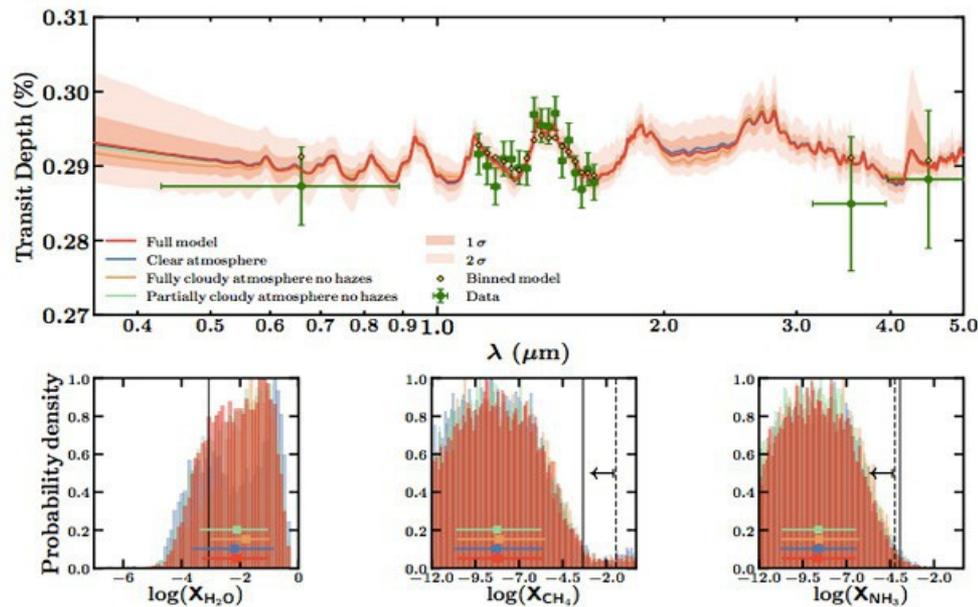
Tem uma similaridade com a Terra estimada em 0.7 e a importância deste exoplaneta é que a atmosfera possui vapor de água.



EXOPLANETA - K2-18b

Dados coletados pelo Telescópio Espacial Hubble já haviam revelado presença de **vapor de água**. Entretanto, uma equipe da Universidade de Cambridge (Madhusudhan, Nikku - The Astrophysical Journal Letters, 891, L7 (2020) usou a massa, o raio e os dados atmosféricos do K2-18b e determinou que **é possível** que o planeta hospede **água líquida** em condições habitáveis sob sua atmosfera rica em hidrogênio.

Os níveis de outros produtos químicos, como metano (CH_4) e amônia (NH_3), estavam abaixo do esperado. ...



O Telescópio Espacial James Webb aprofundou estes estudos...



K2-18 b, um exoplaneta 8,6 vezes mais massivo que a Terra, revelou a presença de moléculas contendo carbono, incluindo metano e dióxido de carbono.

Um novo olhar em busca de alvos

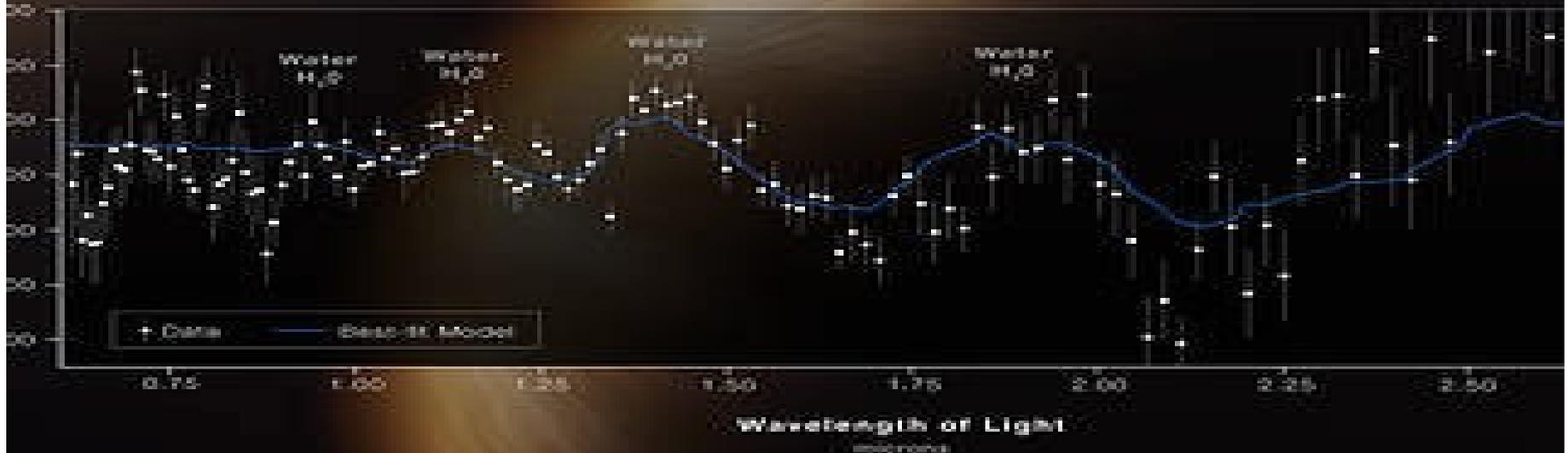
Novos estudos mostram que planetas do tipo **mininetuno** com cerca de 1,6 a 4 vezes o diâmetro da Terra resultam em uma atmosfera densa e rica em hidrogênio e, possivelmente, um oceano líquido logo abaixo.

Nesses oceanos, assim como aconteceu na Terra, é possível encontrar **bioassinaturas** em suas atmosferas como cloreto de metila e sulfeto de dimetila, que podem sinalizar a presença de vida primitiva. O estudo também indica que o potencial para condições habitáveis **não está necessariamente restrito a exoplanetas rochosos** semelhantes à Terra.

Exoplanetas tipo mininetuno são muito mais numerosos do que os rochosos e ao contrário do que se pensava anteriormente, onde a pressão nesses mundos seria muito forte para sustentar a vida, estudos recentes apontam uma série de condições sob as quais esse tipo de exoplaneta poderia ser habitável.

PLANET WASP-96 b ATMOSPHERIC COMPOSITION

NIRISS | Single-Observe



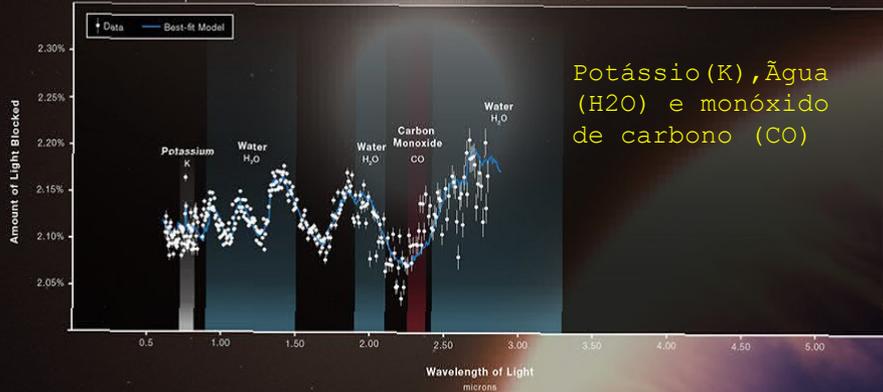
Atmosfera de um exoplaneta mostra assinaturas de água

HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-39 b

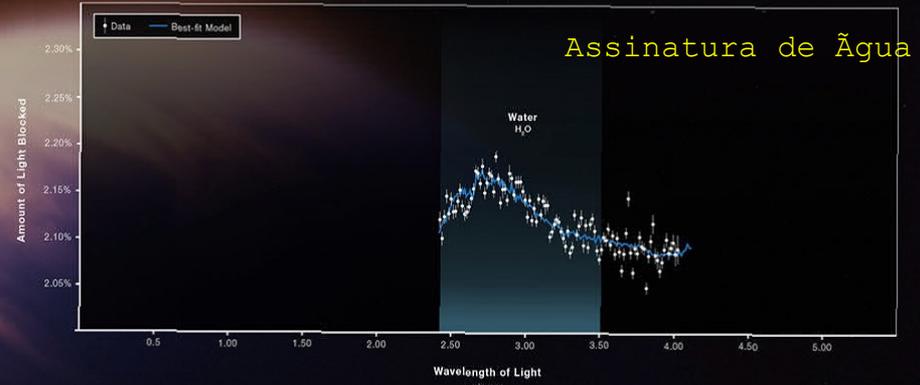
ATMOSPHERE COMPOSITION

Planeta quase tão massivo como Saturno, mas numa órbita mais estreita que Mercúri. Orbita uma estrela a cerca de 700 anos-luz de distância.

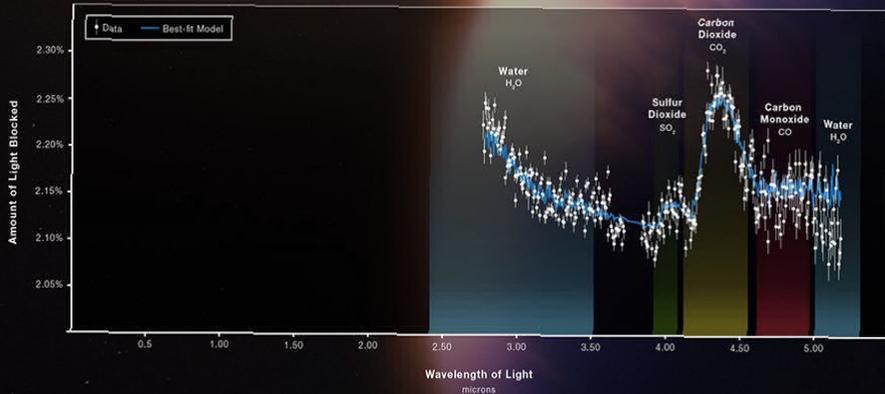
NIRISS | Single Object Slitless Spectroscopy



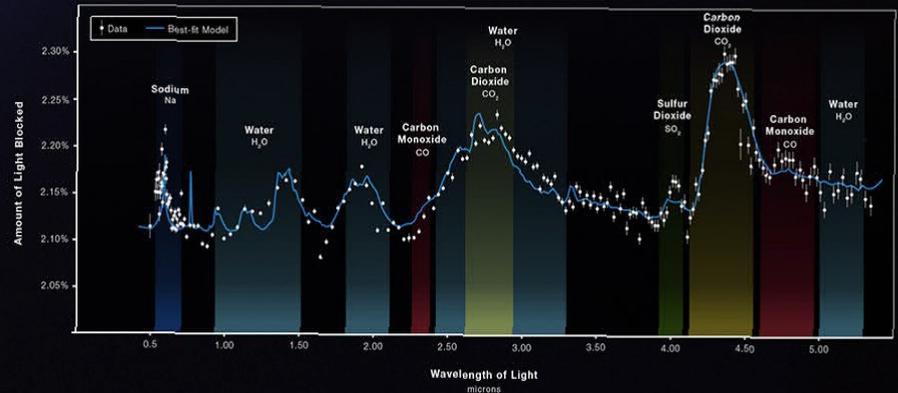
NIRCam F322W2



NIRSpec G395H

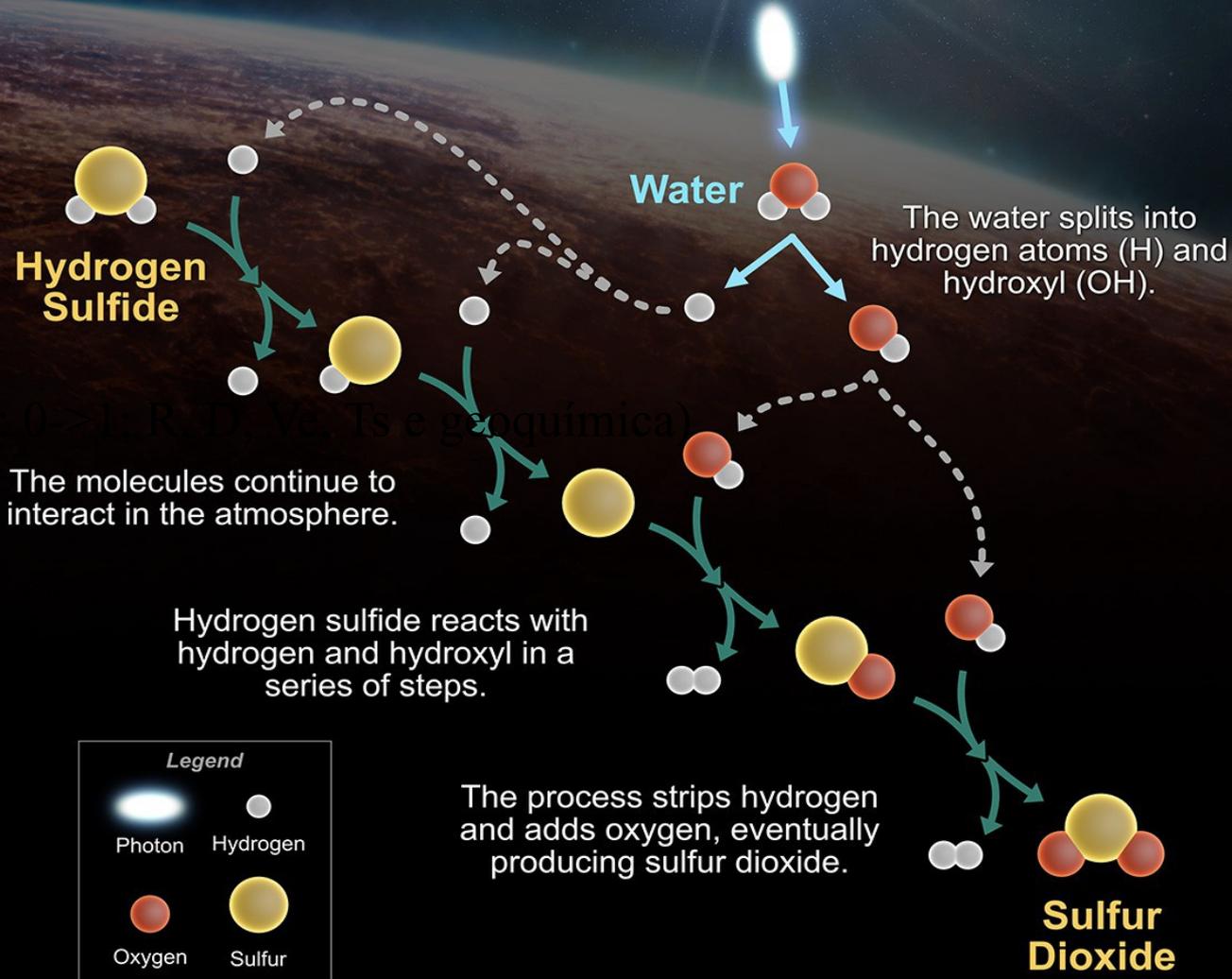


NIRSpec PRISM



Chemical Reactions Caused by Starlight

Photons from WASP-39 b's nearby star interact with abundant water molecules (H_2O) in the exoplanet's atmosphere.

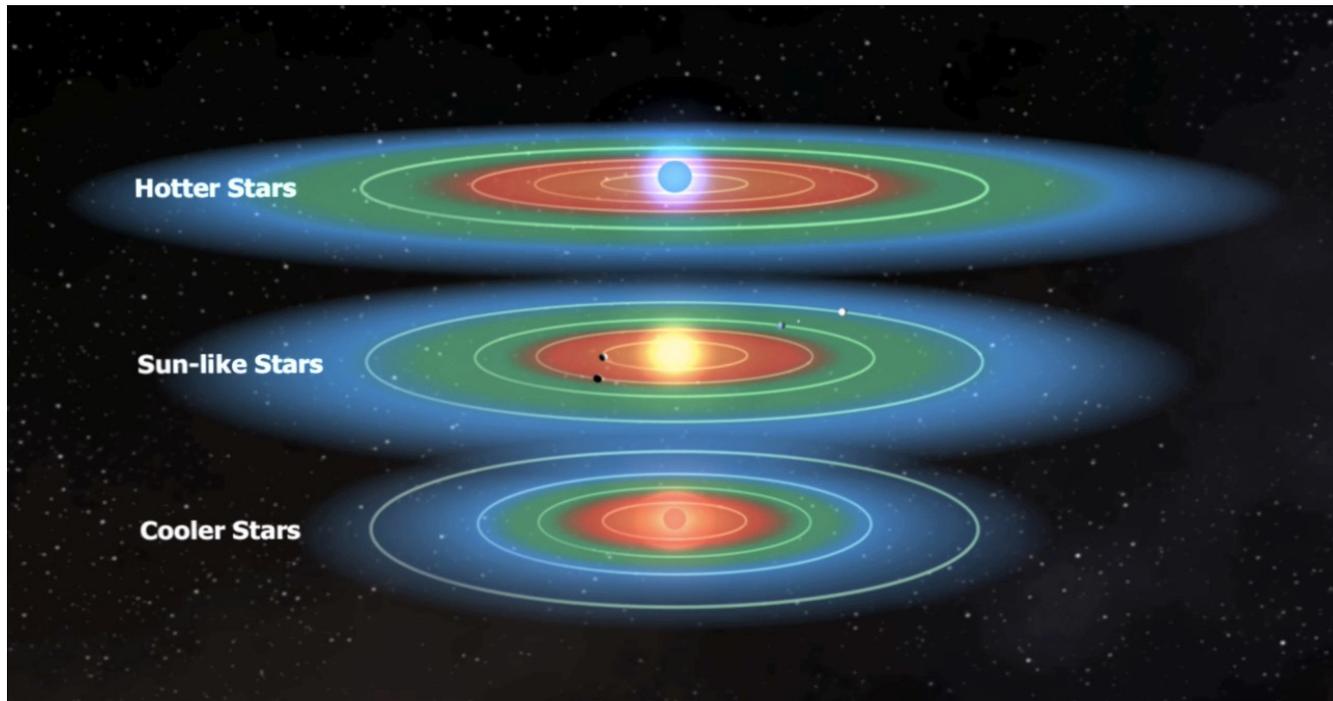


EXOPLANETA – K2-18b

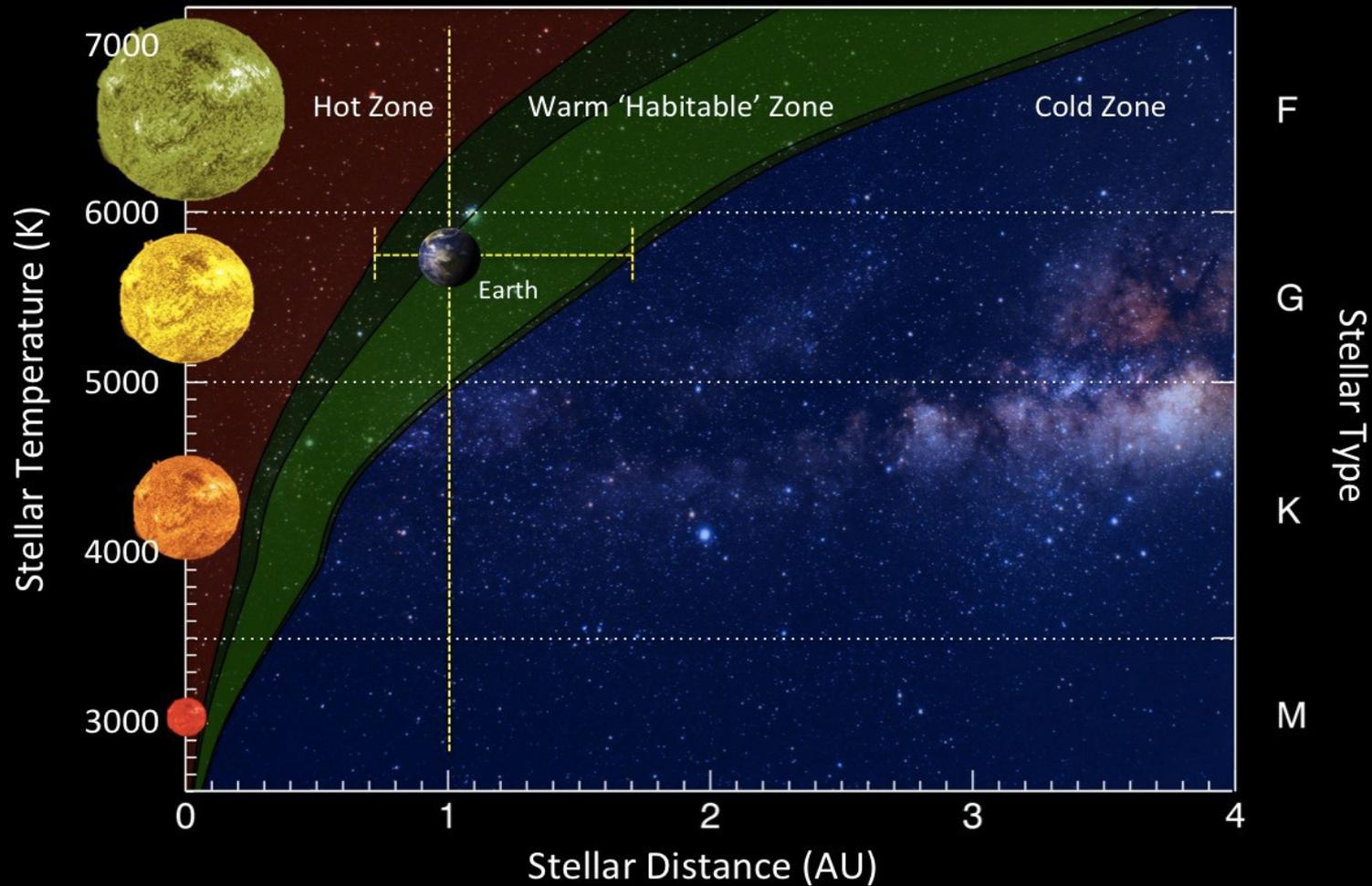
Mininetuno – um novo olhar em busca de alvos

Estes estudos também apontam correlação entre a dimensão da zona habitável, tipo de estrela e proximidade, comparada com a prevista para os planetas rochosos. "O aquecimento do efeito estufa, devido ao hidrogênio molecular (H_2), é tal que o planeta pode estar muito longe da estrela e ainda ter condições habitáveis quentes na superfície" - comenta um dos autores.

A figura abaixo mostra a correlação citada acima. Estrelas mais quentes vão ter esta zona maior e mais distante da estrela, enquanto que as estrelas mais frias esta zona fica mais próxima e menos extensa.



Habitable Zone of Main Sequence Stars



Na próxima aula vamos ver como as observações foram indicando a forma, estrutura e constituintes da Via-Láctea....