

# Elementos de Astrobiologia

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Alexandre Costa,  
Florian Seitz, Ana Villaescusa, Madelaine Rojas**

*União Astronómica Internacional, Technical University of Catalonia,  
Espanha, ITeDA and National Technological University, Argentina,  
Agrupamento de Escolas João de Deus, Portugal, Heidelberg Astronomy  
House, Alemanha, Diverciencia, Algeciras, Espanha, SENACYT, Panamá*



# Objetivos

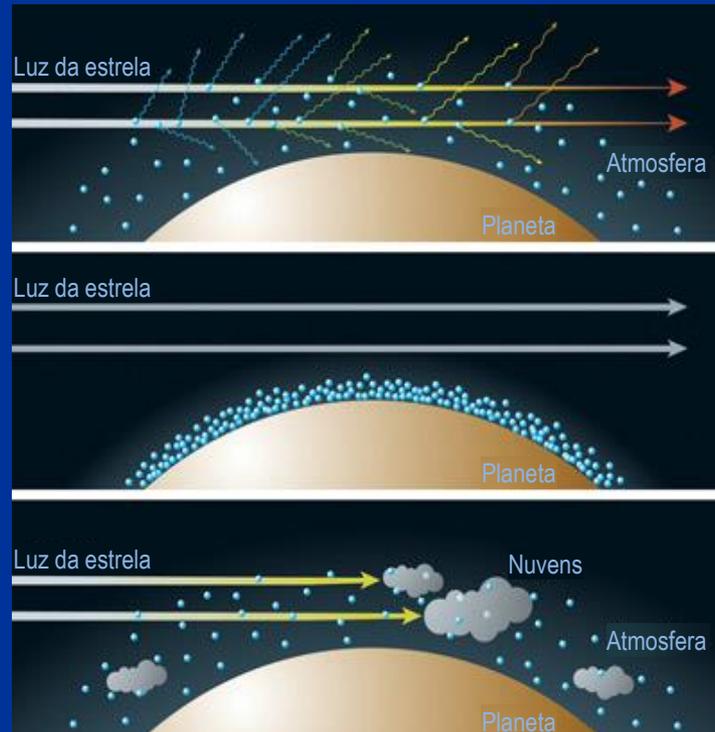
- Compreender de onde surgem os diferentes elementos da Tabela Periódica.
- Compreender as condições de habitabilidade necessárias para o desenvolvimento de vida.
- Gerir as diretrizes mínimas da vida fora da Terra.



# Formação de sistemas planetários

Durante a formação de uma estrela constitui-se também o seu sistema planetário com os restos de material próximo da estrela.

Usa-se a espectroscopia para conhecer a composição da estrela e também para conhecer a atmosfera dos exoplanetas.



# Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira

Divide-se o grupo em dois: raparigas (gás) e rapazes (poeira) p.e.

(Se houver uma diferença substancial na quantidade de participantes de um grupo ou outro, recomenda-se que o grupo que representa o gás seja o mais numeroso, e que num sistema planetário em formação a massa de gás é 100 vezes a massa de poeira).

Os participantes, à medida que vão escutando o relato vão fazendo uma dinâmica de atuação sobre o que escutam, por exemplo:



# Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira

## Texto do relato:

**Havia uma vez uma nuvem de muito gás e um pouco menos de poeira.**

**Então, o gás começa a juntar-se no centro da nuvem e em seu redor a poeira.**

## Atuação dos participantes:

Todos estão misturados numa nuvem. Há maior quantidade de participantes que representam o gás. Na nuvem, todos os participantes dão as mãos, de forma aleatória, formando como que uma rede.

Começam a separar-se. Os participantes que representam o gás acumulam-se no centro e os que representam a poeira agarram as mãos em redor dos outros.



# Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira

## Texto do relato:

**Havia muito movimento, as partículas de gás atraíam gás e as partículas de poeira atraíam poeira.**

**No centro forma-se um núcleo opaco e denso rodeado por um disco de poeira e gás.**

## Atuação dos participantes:

Começam a rodar, mover, chocar, vibrar, saltar. Alguns saem disparados como resultado de tanto movimento e outros “resgatam”, pegam, “abraçam” aquelas partículas juntando-se por identificação (gás com gás e poeira com poeira).

Os do centro (gás) agrupam e os participantes em seu redor, que representam a poeira, dão as mãos numa espécie de círculo.

Esclarecimento: nem todo o gás está no centro, há gás disperso fora do círculo.



# Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira



# Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira

## Texto do relato:

**Este núcleo é o que finalmente dará origem ao Sol ou à estrela anfitriã de um sistema extrassolar.**

**Alguns planetas pequenos formam-se por união de grãos de poeira, cada vez maiores, depois rochas, até que se formam planetas terrestres.**

## Atuação dos participantes:

O Sol, ou a estrela anfitriã, começa a brilhar pelo que os seus raios devem sair disparados em todas as direções.

Esclarecimento: quando o Sol, ou a estrela anfitriã, começa a brilhar o gás “solto” começa a afastar-se.

Começam a agrupar-se participantes que representam a poeira que formará os planetas terrestres.

Esclarecimento: nem toda a poeira fica nos planetas terrestres, deve haver alguma poeira nas regiões mais afastadas.



# Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira

## Texto do relato:

**Os planetas gigantes formam-se longe do calor do Sol, ou da estrela anfitriã, onde o gás pôde reunir-se sem inconvenientes.**

## Atuação dos participantes:

O resto, os planetas gigantes, começam a formar-se: muito gás e alguma poeira. Esclarecimento: a diminuição da temperatura, provocada pela maior distância ao Sol, ou à estrela anfitriã, foi a causa das principais diferenças entre os planetas rochosos internos e os gigantes externos.

# Atividade 1: Formação de um sistema planetário a partir de gás e poeira



# Actividade 2: Espectro de emissões

A espectroscopia permite-nos conhecer alguma informação sobre a composição química dos exoplanetas e as suas atmosferas. Podemos visualizar o espectro de uma lâmpada com um DVD (vemos as linhas dos gases que esta contém no seu interior)



# Aspectos químicos da evolução estelar

- Elementos produzidos nos primeiros minutos depois do *Big Bang*
- Elementos produzidos no interior das estrelas
- Elementos produzidos nas explosões de supernovas
- Elementos produzidos em laboratório pelo Homem

1 H																	2 He									
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne									
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar									
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									
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									
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
87 Fr	88 Ra											104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
		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										
		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											



# Atividade 3: Classificação Tabela Periódica

Colocar cada objeto em cada cesto (azul, amarelo e vermelho)

Anel: Ouro Au	Broca revestida com: Titânio Ti	Gás de um balão de criança: Hélio He	Esfregão de panelas: Níquel Ni
Bateria: Lítio Li	Velas de ignição: Platina Pt	Fio elétrico de cobre: Cobre Cu	Solução de iodo: Iodo I
Garrafa de água H <sub>2</sub> O: Hidrogénio H	Panela velha: Alumínio Al	Mina de lápis preto: Carbono C	Enxofre para agricultura: Enxofre S
Lata de refrigerante: Alumínio Al	Relógio de pulso: Titânio Ti	Medalha: Prata Ag	Canos velhos: Chumbo Pb
Lâmina de zinco: Zinco Zn	Prego velho enferrujado: Ferro Fe	Termómetro: Gálio Ga	Caixa de fósforos: Fósforo P

Elementos produzidos nos primeiros minutos após o *Big Bang* (azul)

Elementos produzidos dentro das estrelas (amarelo)

Elementos produzidos nas explosões de supernovas (vermelho)





# Atividade 4: Filhos das estrelas

No corpo humano,

Elementos abundantes: **oxigênio**, **carbono**, **hidrogênio**, **nitrogênio**, **cálcio**, **fósforo**, **potássio**, **enxofre**, **sódio**, **cloro**, **ferro** e **magnésio**

Oligoelementos: **flúor**, **zinco**, **cobre**, **silício**, **vanádio**, **manganésio**, **iodo**, **níquel**, **molibdenio**, **cromo** e **cobalto**

Elementos essenciais: **lítio**, **cádmio**, **arsénio** e **estanho**

Legenda:

- Elementos produzidos nos primeiros minutos depois do *Big Bang*
- Elementos produzidos no interior das estrelas
- Elementos produzidos nas explosões de supernovas
- Elementos produzidos em laboratório pelo Homem

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

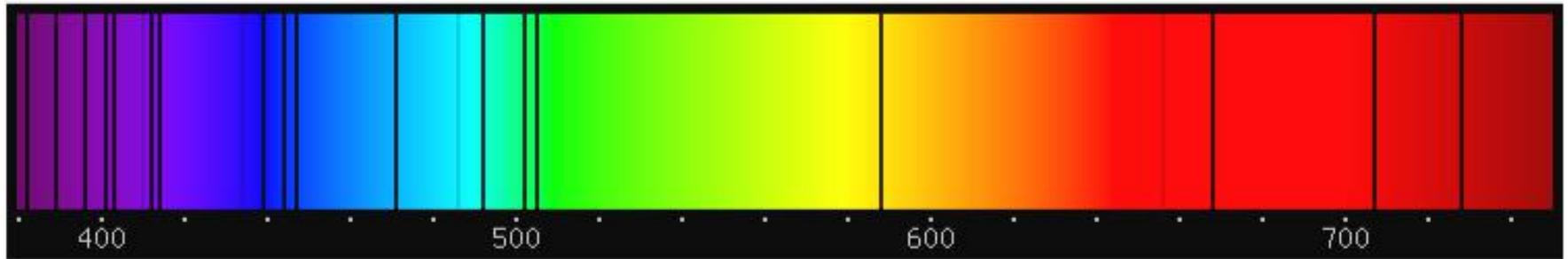
Todos os elementos abundantes (exceto o H) foram produzido dentro das estrelas.

## Somos filhos das estrelas!!!!



# O Sol não é de 1ª geração

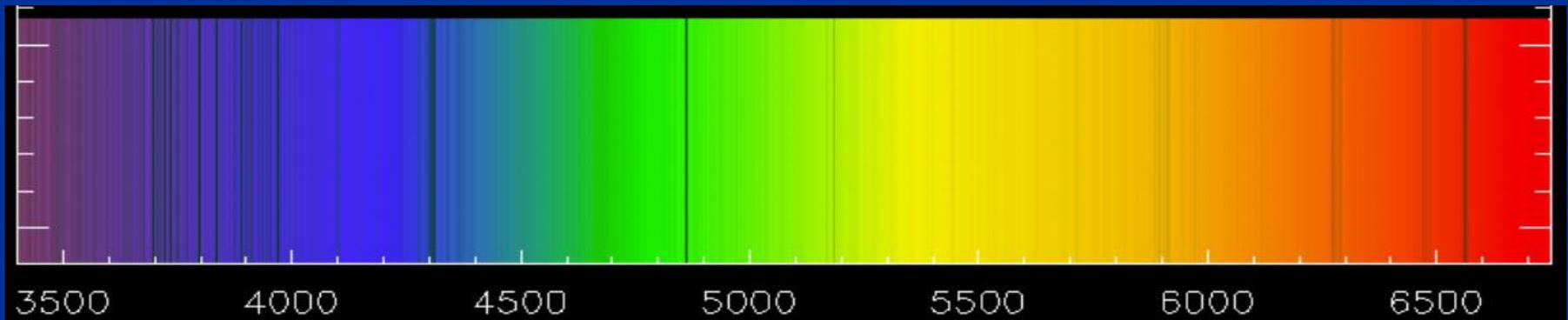
As estrelas de primeira geração viveram rápido, morreram jovens e não sobreviveram até aos nossos dias. Só apresentavam linhas de Hidrogénio, Hélio e talvez Lítio.



Espectro de 1ª geração (impressão de artista).

# O Sol não é de 1ª geração

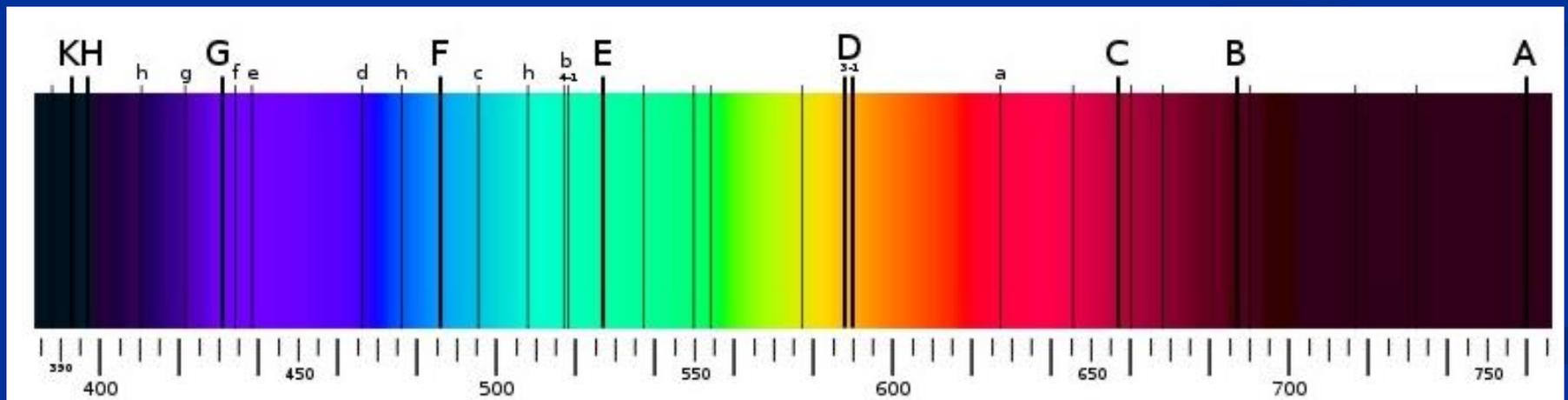
A existência de estrelas com elementos mais elaborados significa que a sua nuvem inicial continha restos da explosão de uma supernova.



Espectro de 2ª geração SMSS J031300.36-670839.3 com linhas de Hidrogénio e Carbono.

# O Sol não é de 1ª geração

No Sistema Solar são detetadas uma multiplicidade de elementos que surgem depois de uma explosão de supernova, pelo que, possivelmente, o Sol terá sido formado a partir de uma nuvem inicial que correspondia aos restos de pelo menos duas explosões de supernovas, ou seja, é uma estrela de 3ª geração.



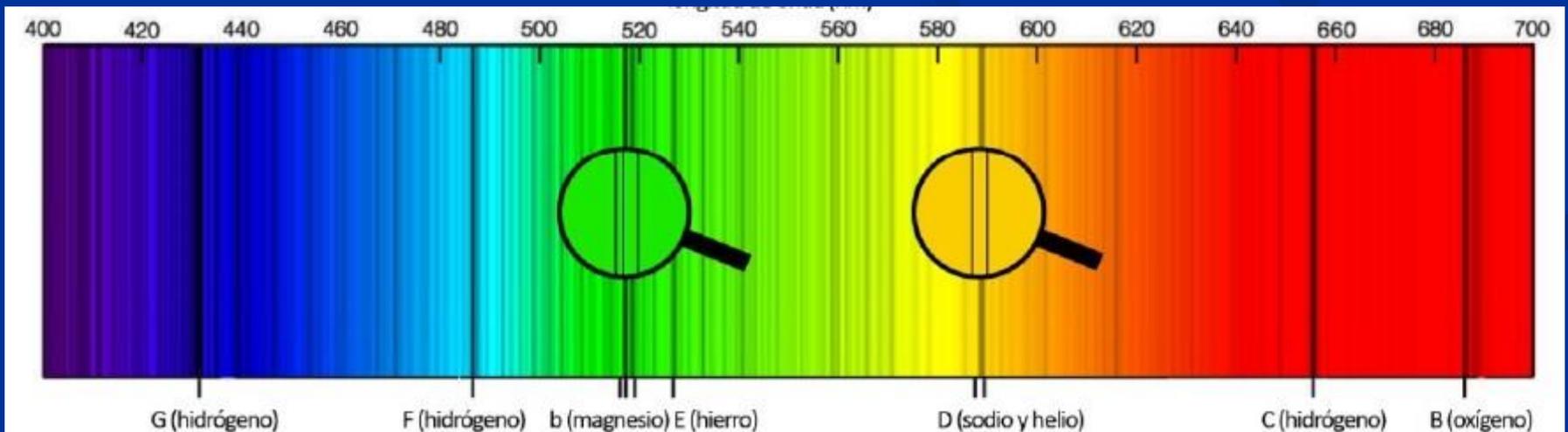
Espectro do Sol com diversas linhas espectrais e entre elas a do Sódio.



# Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

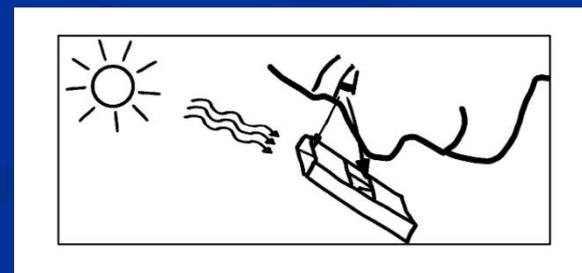
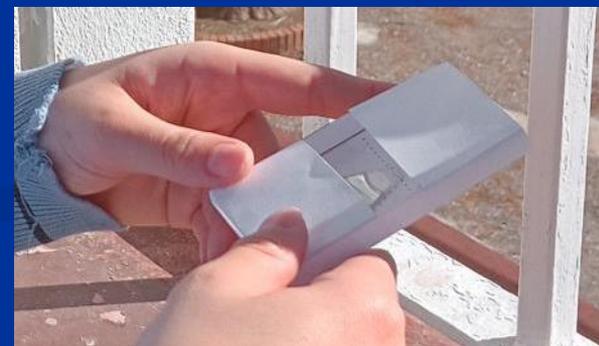
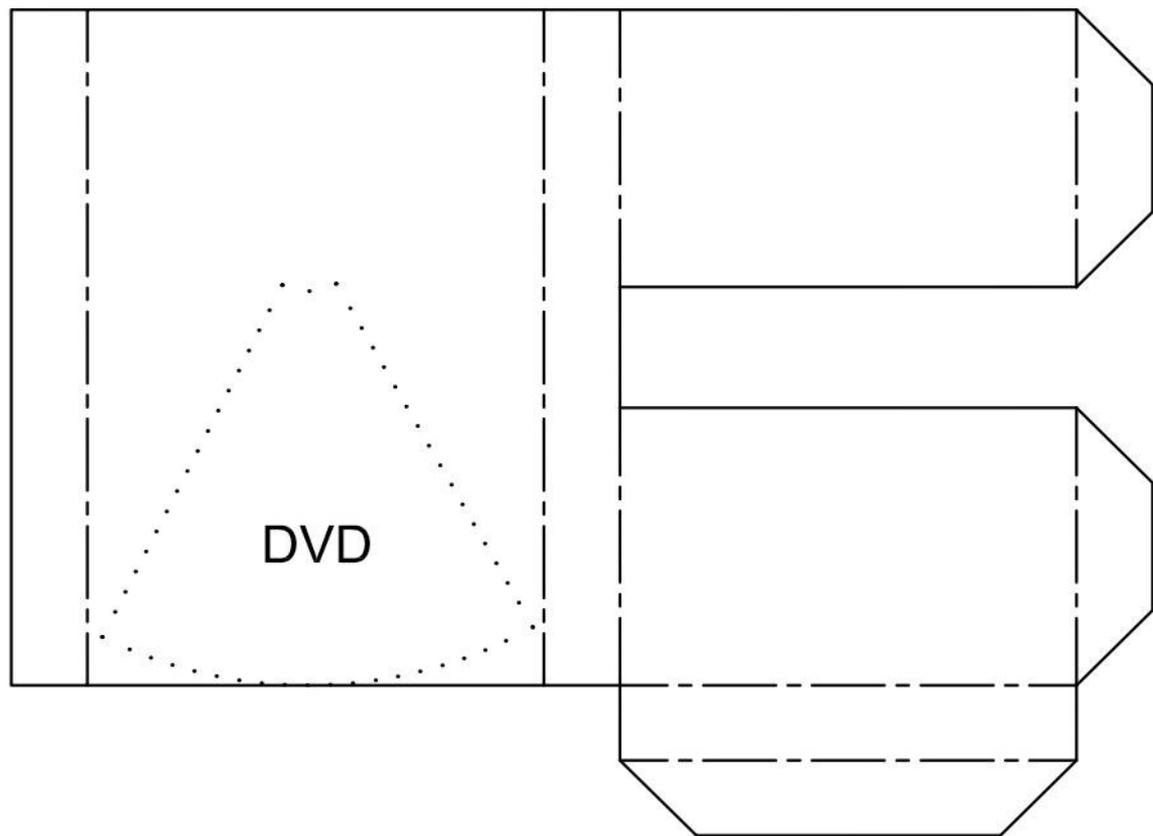
O espectro do Sol é contínuo, com linhas escuras chamadas linhas Fraunhofer, que correspondem aos elementos químicos contidos na sua atmosfera.

Elas podem ser vistas a olho nu no reflexo da luz solar num DVD. Muitas linhas Fe são observadas, o Mg triplet (em verde), o Na doublet (em amarelo)



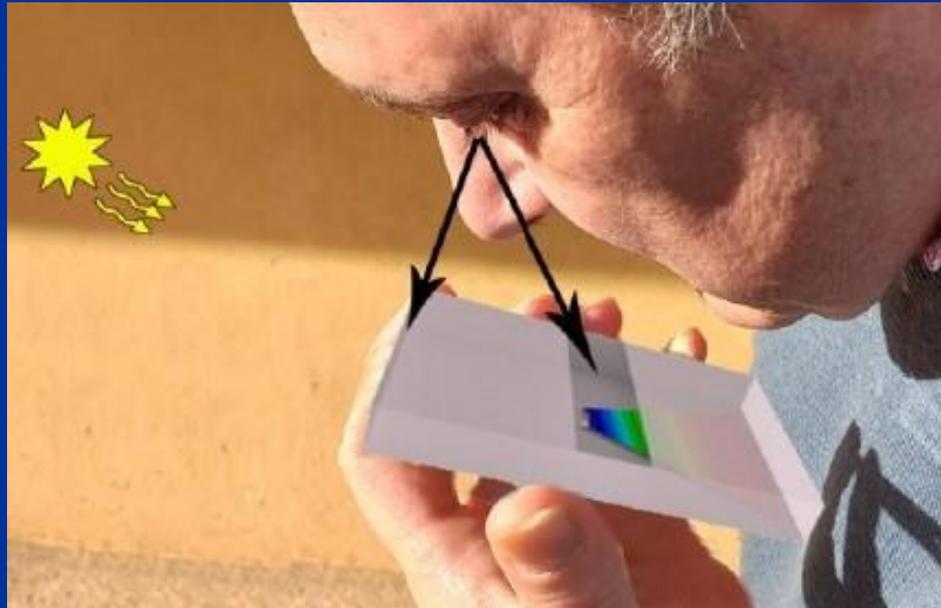
# Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

Recortar o molde. Monte a caixa, dobrando pelas linhas ponteadas e coloque no seu interior, 1/8 do DVD.



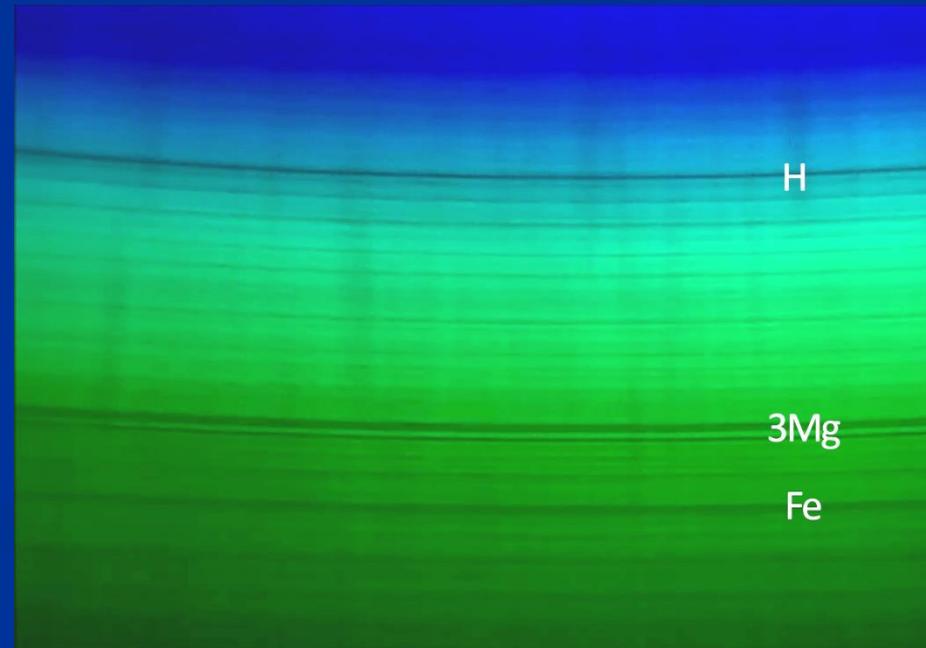
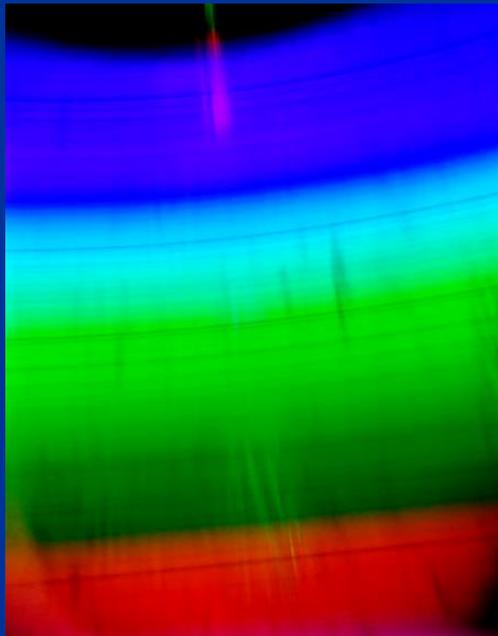
# Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

Coloque a caixa em frente à sua cara, com o seu bordo superior à altura dos seus olhos (como se vê na foto). Olhando para o pedaço de DVD no interior da caixa, mova-se lentamente, até ver nele o reflexo radial multicolor e brilhante do Sol.

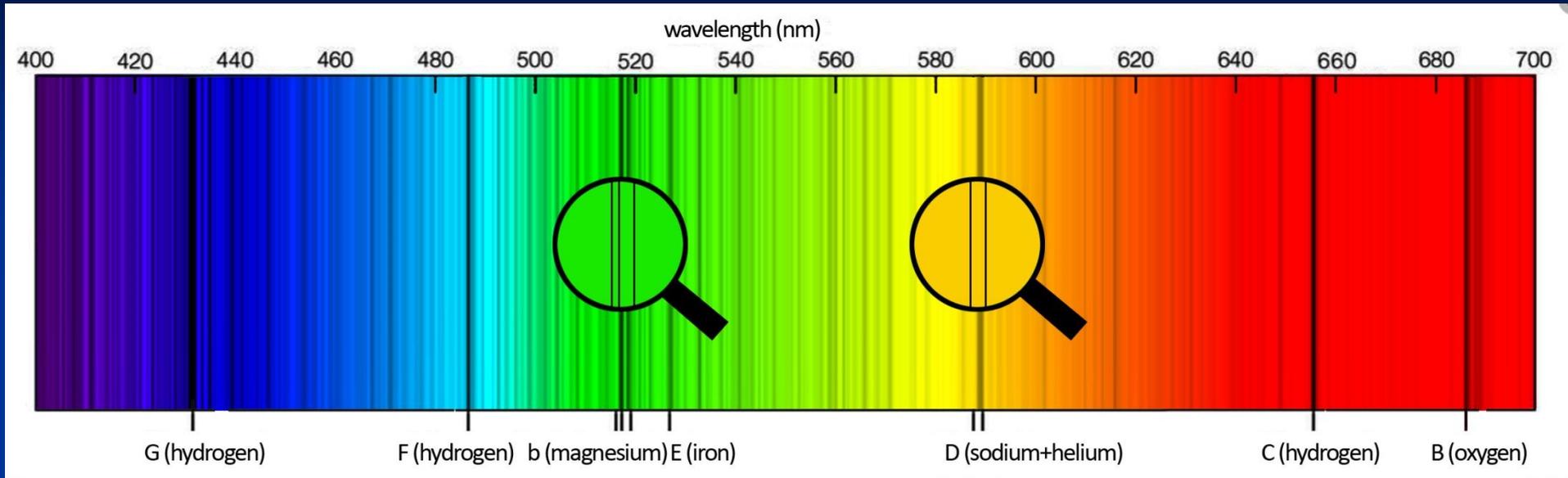


# Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

Aproxime a sua cara da caixa, olhando sempre para o reflexo que se tornará, gradualmente, mais largo. Quando o seu olho estiver quase a tocar na janela, verá linhas pretas finas e nítidas, sobre o fundo colorido. Estas são as linhas espectrais dos elementos químicos que existem no Sol.



# Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol



Veem-se muitas linhas, umas mais intensas do que outras. A principal, a azul, provém do Hidrogénio; no verde veem-se muito bem três riscas muito próximas: correspondem ao tripleto do Magnésio. A outra linha, mais afastada, provém do Ferro. Na zona amarela vê-se uma risca dupla, correspondente ao Hélio e ao Sódio. Na parte vermelha vê-se uma risca intensa, proveniente do Hidrogénio.

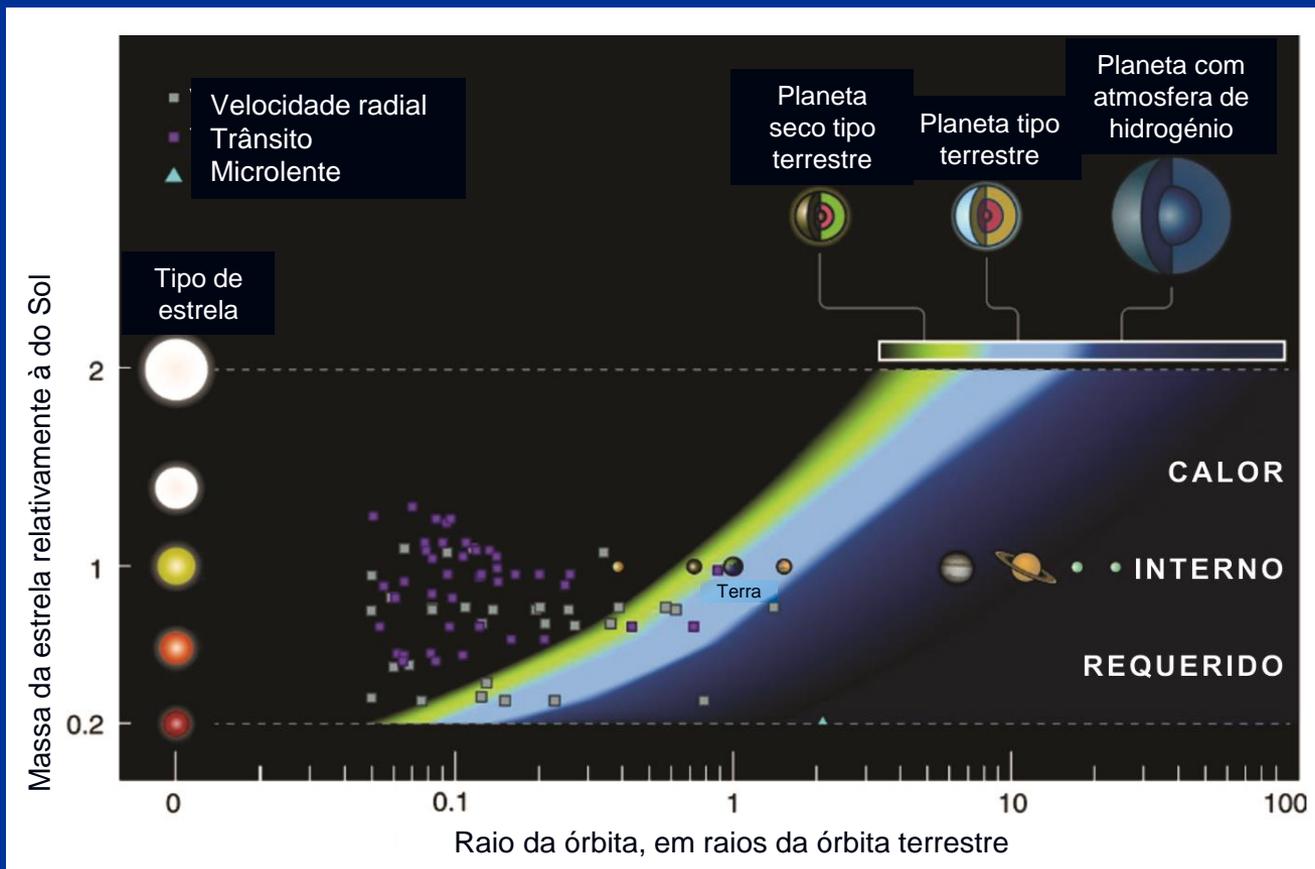
# Zona de Habitabilidade

Zona de habitabilidade é a região em redor de uma estrela na qual o fluxo de radiação sobre a superfície de um planeta rochoso permitiria a presença de água líquida (assumindo a vida baseada no carbono o critério central é a presença de água líquida).

Só acontece em corpos de massa compreendida entre 0,5 e 10  $M_t$  e com uma pressão atmosférica superior a 6,1 mbar, correspondente ao ponto triplo da água a uma temperatura de 273,16 K (quando coexiste água nas formas de gelo, líquido e vapor).

# Zona de Habitabilidade

A zona de habitabilidade **depende da massa da estrela**. Se a massa aumentar então a sua temperatura e brilho aumentam e em consequência a zona de habitabilidade é cada vez mais distante.



# Outras condições para Habitabilidade

A **distância orbital** do planeta que o situe na zona habitável é uma **condição necessária**, mas não suficiente para que um planeta acolha vida. Exemplo: Vénus e Marte.

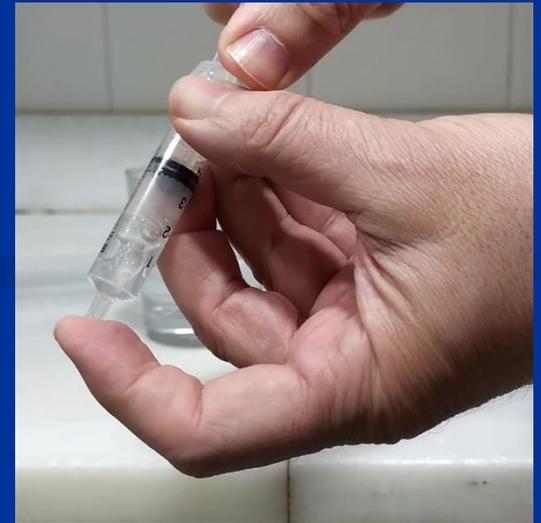


A **massa do planeta deve ser suficientemente grande** para que a sua gravidade seja capaz de reter a **atmosfera**. Esta é a principal razão pela qual Marte não é atualmente habitável, ele perdeu a maior parte da sua atmosfera e toda a água superficial, que teria nos seus primeiros mil milhões de anos.

# Actividade 6: Água líquida em Marte?

A pressão atmosférica sobre Marte é baixa (0,7% da da Terra). Apesar da baixa pressão, formam-se nuvens de água em Marte, nos pólos do planeta. Porque não há água líquida na superfície?

Coloca-se 1mL de água quente quase a ferver dentro da seringa.



Puxa-se o êmbolo para baixar a pressão e a água começa a ferver e transforma-se em vapor e gradualmente desaparece. Para simular a pressão marciana, teríamos que ter um êmbolo que pudéssemos até 9 metros.

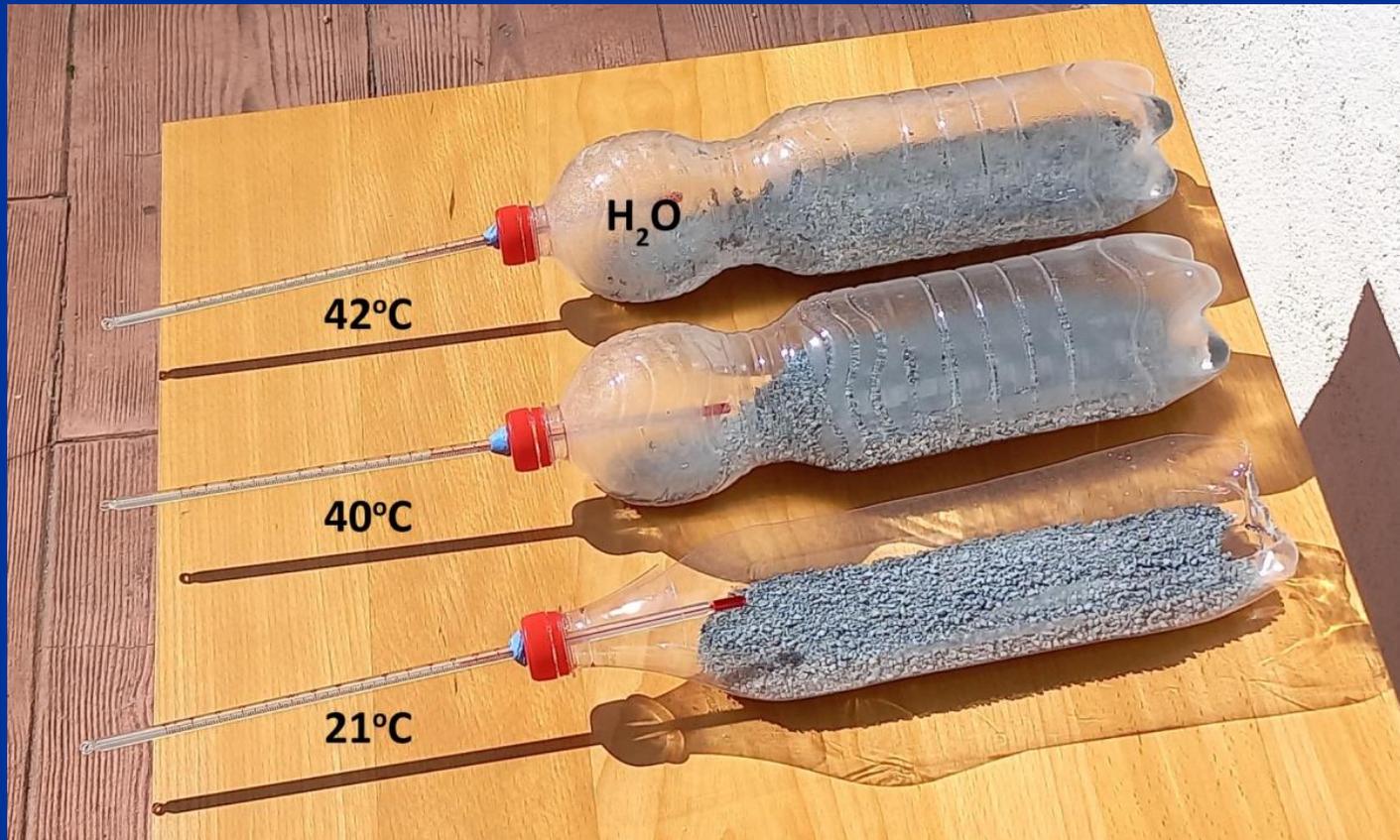
# Actividade 7: Efeito de estufa

Colocamos terra escura dentro de 2 garrafas de plástico vazias, e num terceiro corte longitudinal ao meio. Inserimos um termómetro na rolha de cada garrafa. A garrafa cortada simula o planeta sem nuvens, a primeira garrafa inteira simula o planeta com nuvens, e na última, colocamos algumas gotas de água dentro dela, para simular uma atmosfera com vapor de água.



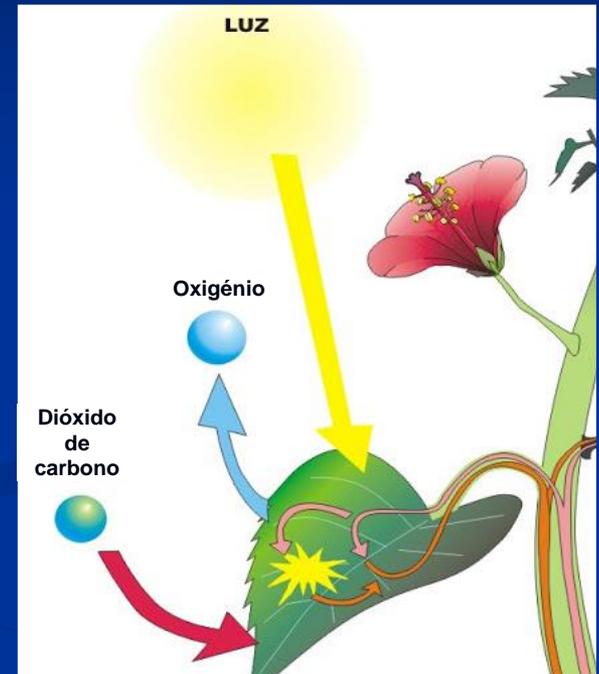
# Actividade 7: Efeito de estufa

Colocamos as garrafas ao sol e medimos a temperatura dentro de cada 5 minutos. Escrevemos as medições para determinar como o efeito de estufa influencia.



# Fotossíntese: produção de Oxigénio

A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas e algumas bactérias utilizam a luz solar para **produzir glucose, hidratos de carbono e oxigénio** a partir de dióxido de carbono e água.



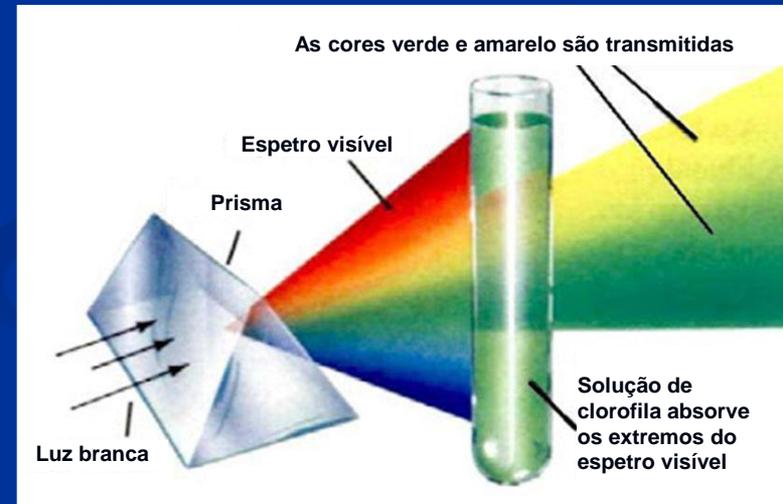
As moléculas chamadas **pigmentos fotossintéticos convertem energia luminosa em energia química.**

# Fotossínteses:

porque é que as folhas são verdes?

A luz que é absorvida pode ser utilizada pela planta em diferentes reações químicas, enquanto que os comprimentos de ondas refletidos determinam a cor com que o pigmento será observado.

Um dos pigmentos fotossintéticos são as clorofilas que tem, tipicamente, dois tipos de absorção no espectro visível, um na região azul (400-500 nm), e outro na zona vermelha (600-700 nm).



No entanto, refletem a parte do espectro que corresponde à cor verde (500-600 nm).

# Fotossíntese: produção de Oxigénio

Os pigmentos agrupam-se e transferem, eventualmente, os seus eletrões que foram excitados pela luz. **A água é dadora de eletrões** que vão “saltando” de uma molécula para outra e o **resultado final é a produção de oxigénio quando se quebram as moléculas de água**. Esta é a fase fotoquímica (clara) da fotossíntese.

Na fase química (escura) produzem-se hidratos de carbono ou açúcares, mas sem necessidade de luz.



# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese



Usar 2 frascos de vidro transparente e papel de celofane azul e vermelho para colocar sobre os frascos, no final.

# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese



Com a ajuda de um furador, corta discos de folhas uniformes (espinafres ou acelgas, evitando os nervos). Colocar 10 discos em cada frasco.

# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese



Preparar uma solução de bicarbonato de sódio 2 g / 1 litro de água. Colocar 20 ml dessa solução em cada frasco.

Impregnar os discos de folhas com a solução de bicarbonato.

Inserir os discos dentro de uma seringa descartável de 10 ml e aspirar a solução de bicarbonato até que os discos fiquem em suspensão.

# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese

Eliminar o máximo de ar que tenha entrado, deixando apenas os discos em suspensão no bicarbonato.

Fechar o extremo da seringa com um dedo e puxar fortemente o êmbolo, procurando fazer vácuo, fazendo com que nos espaços internos do tecido vegetal se substitua o ar pela solução de bicarbonato que será uma fonte de carbono disponível, próxima das estruturas fotossintéticas da folha.



# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese

Colocar os discos de folha em cada frasco. Cobrir um frasco com papel de celofane vermelho e o outro com o papel de celofane azul.

Colocar sobre cada frasco (já cobertos com o papel celofane) um foco de luz individual (não menos que 70 W). Os focos devem ser colocados à mesma distância dos frascos.

É melhor usar lâmpadas de LED porque as outras perdem energia sob a forma de calor.



# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese

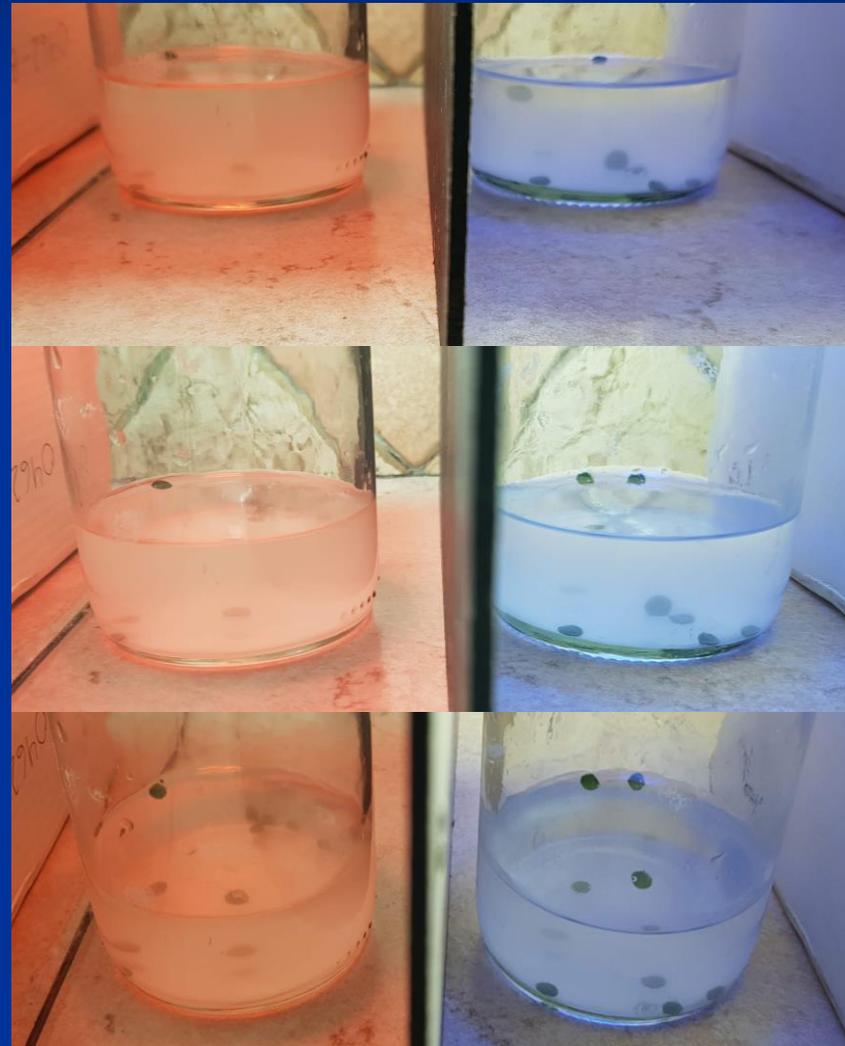
Quando acender as luzes, iniciar a contagem do tempo até que os discos flutuem.

É uma medida indireta da taxa de fotossíntese.



# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese

Esperar uns 5 minutos e os discos começam a subir (dependendo da potência das lâmpadas e da distância a que estão dos frascos).



# Atividade 8: Produção de oxigênio por fotossíntese

Os discos começam a flutuar à medida que libertam oxigênio sob a forma de bolhas, que ajudam à ascensão.

Os tempos são diferentes, em função da cor da luz: resulta mais rapidamente para a luz azul (é a componente de alta energia da radiação eletromagnética, sendo a mais eficiente no processo).



# Atividade 9: Vida em condições extremas

As leveduras (fungos) transformam açúcar (glucose) em álcool etílico, ou etanol, e dióxido de carbono.

A fermentação é um processo de baixo rendimento energético, enquanto que a respiração é muito mais rentável e mais recente, do ponto de vista evolutivo.



# Atividade 9: Vida em condições extremas

Se for detetada a presença de dióxido de carbono saberemos que houve fermentação, provando a possibilidade de vida.

Em todas as situações da nossa experiência partimos de uma cultura em que a água está presente.



# Atividade 9: Vida em condições extremas

Usaremos:

1 colher de **levedura** (para fazer pão), **que é um microrganismo vivo fácil de conseguir,**

1 copo de água morna (um pouco mais de meio copo, entre os 22 °C e os 27 °C),

1 colher de açúcar para que os microrganismos possam consumir.

O mesmo procedimento na experiência de controlo e nas outras experiências desenvolvidas em condições extremas.



# Atividade 9: Vida em condições extremas

## Experiência de controlo:

Num copo de vidro dissolve-se a levadura e o açúcar na água normal. Coloca-se a mistura obtida numa bolsa plástica hermética extraindo todo o ar do interior antes de a fechar.

Importante não deixar nenhum ar dentro da bolsa.



# Atividade 9: Vida em condições extremas

## Experiência de controle

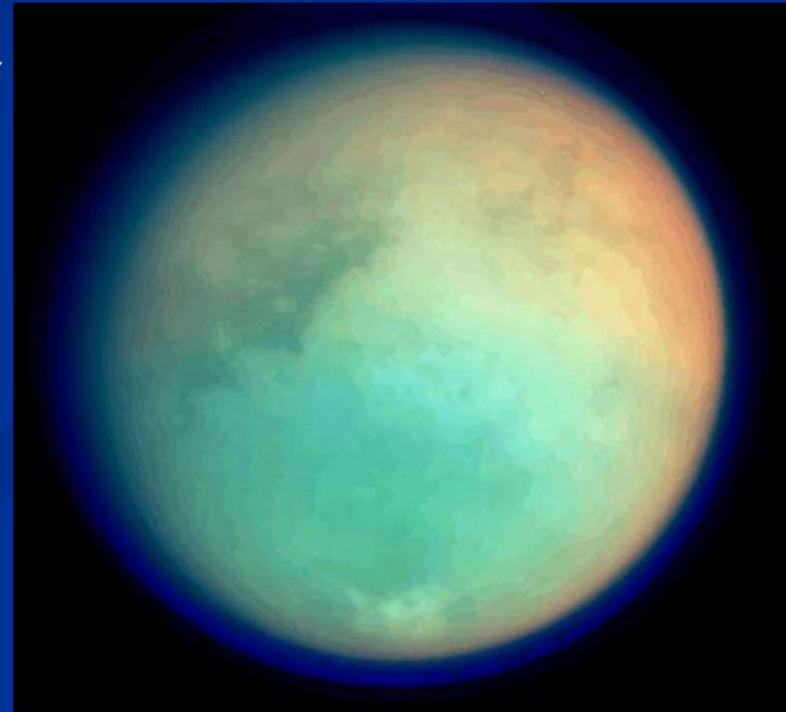
Após 15-20 minutos, você vê as bolhas de dióxido de carbono no saco inchado.

A presença de bolhas de dióxido de carbono mostra que os microrganismos estão vivos.

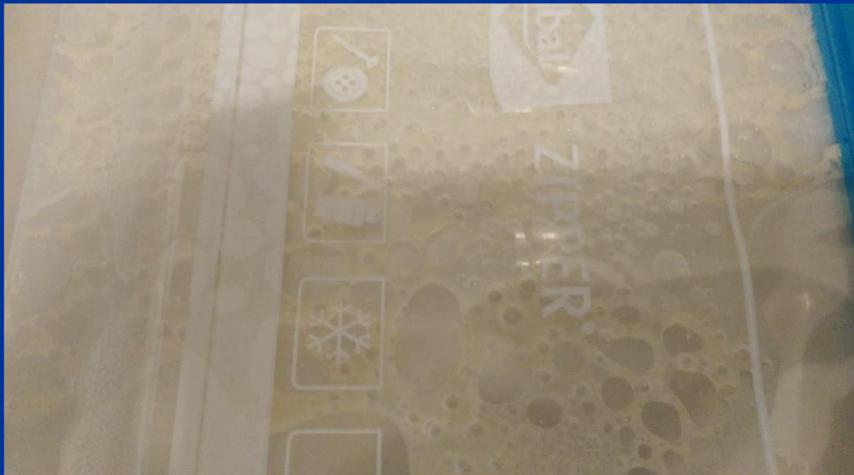


# Atividade 9: Vida em condições extremas

Num “planeta alcalino”  
(p.e. NEPTUNO ou Titã, ambos  
com amoníaco): Repetir a experiência  
com bicarbonato de sódio ou amoníaco  
Escalas de pH **ALCALINO**:  
Bicarbonato de sódio: pH 8,4  
Amoníaco caseiro: pH 11



Titã, Crédito NASA



Se há borbulhas há vida



# Atividade 9: Vida em condições extremas

Num “planeta salino”  
p.e. MARTE ou Ganimedes).

Repetir a experiência dissolvendo cloreto  
de sódio (sal comum) na água.



Ganimedes, Crédito NASA.

Se há borbulhas há vida



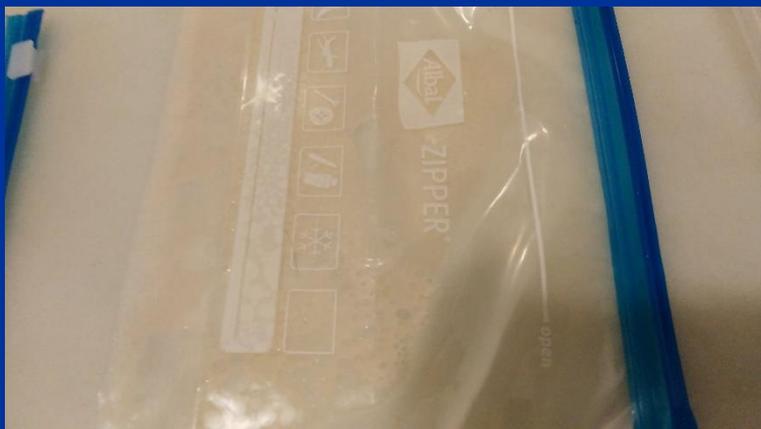
# Atividade 9: Vida em condições extremas

Num “planeta ácido”  
(p.e. VÊNUS que tem chuva de ácido sulfúrico)

Repetir dissolvendo vinagre ou limão na água de cultivo.

Escalas de pH **ÁCIDO**:

Vinagre: pH 2,9 e Limão: pH 2,3



© JAXA/ISAS/DARTS/Damian Bouic

Vênus, Crédito NASA.

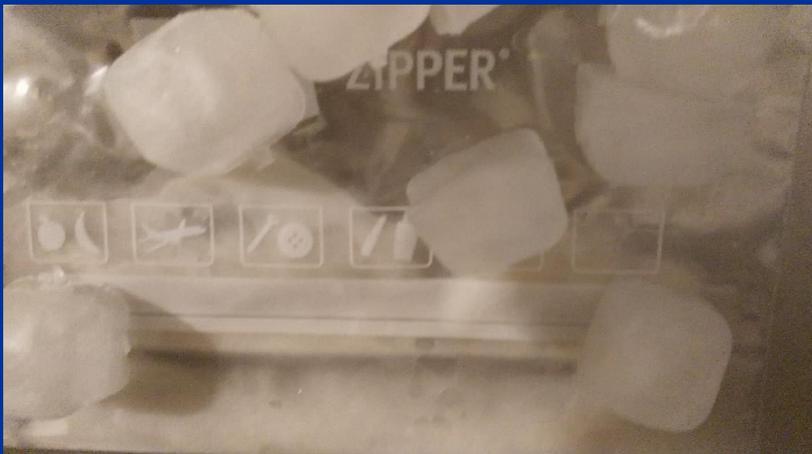
Se há borbulhas há vida



# Atividade 9: Vida em condições extremas

Num “planeta gelado”  
(p.e. Europa ou Trappist-1 h)

Colocar a bolsa num recipiente cheio de gelo ou utilizar um congelador.



Trappist-1 h, impressão de artista.

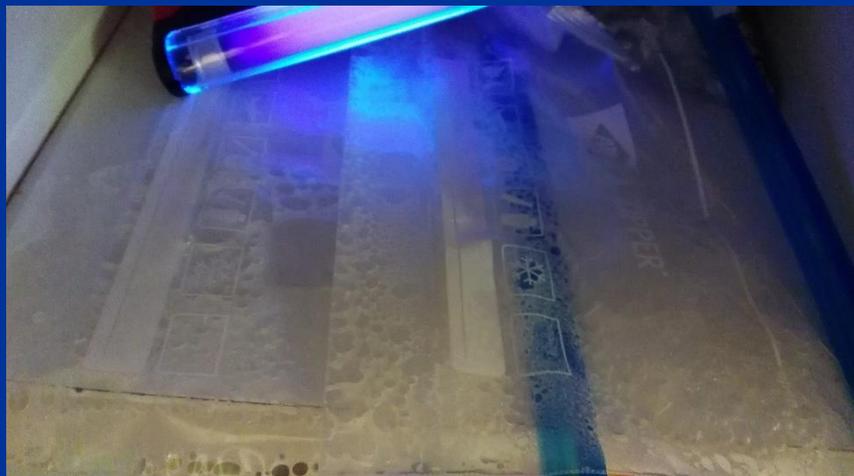
Se não há borbulhas não há vida



# Atividade 9: Vida em condições extremas

Num “planeta com UV”  
(p.e. MARTE)

Realizar a experiência com a bolsa  
debaixo de luz UV.



Marte, Crédito iStock.

Se não há borbulhas não há vida



# Atividade 10: Procurando uma segunda Terra

A Terra é o único planeta conhecido com vida. Procuremos um exoplaneta em condições semelhantes.

Mas quais são os parâmetros importantes?

- Raio e Massa.
- Zona habitável.
- Massa da estrela anfitriã.



## Raio e Massa (exoplaneta)

Tem que se considerar o raio e a massa do planeta para calcular uma densidade adequada.

### Utilizando os critérios da Missão Kepler:

- os planetas do tamanho da Terra devem ter um raio inferior a 2 raios terrestres:  $R < 2 R_t$
- 10 massas da Terra é considerado o limite superior para planetas de tamanho superterrestre:  $M < 10 M_t$

# Zona de Habitabilidade

As estrelas da sequência principal têm uma relação direta entre brilho e temperatura. Quanto maior for a temperatura superficial, mais brilhante é a estrela e mais longe está a zona de habitabilidade.

Tipo Espetral	Temperatura / K	Zona de Habitabilidade / ua
<b>O6V</b>	41 000	450-900
<b>B5V</b>	15 400	20-40
<b>A5V</b>	8 200	2,6-5,2
<b>F5V</b>	6 400	1,3-2,5
<b>G5V</b>	5 800	0,7-1,4
<b>K5V</b>	4 400	0,3-0,5
<b>M5V</b>	3 200	0,07-0,15



# Massa da Estrela Anfitriã

A evolução e vida de uma estrela depende da sua massa. A energia que uma estrela pode obter da fusão de hidrogénio é proporcional à sua massa. Obtém-se o tempo da sequência principal dividindo esta energia pela luminosidade da estrela.

Usando o Sol como referência, a vida de uma estrela na sequência principal é

$$\frac{t_*}{t_S} = \frac{\frac{M_*}{M_S}}{\frac{L_*}{L_S}}$$

Para a sequência principal, a luminosidade é proporcional à massa de acordo com  $L \propto M^{3,5}$

$$\frac{t_*}{t_S} = \frac{\frac{M_*}{M_S}}{\frac{M_*^{3,5}}{M_S^{3,5}}} = \left(\frac{M_*}{M_S}\right)^{-2,5} = \left(\frac{M_S}{M_*}\right)^{2,5}$$

# Massa da Estrela Anfitriã

Como a vida útil do Sol é  $t_S \sim 10^{10}$  anos, a vida útil de uma estrela é:

$$t_* \sim 10^{10} \times \left( \frac{M_S}{M_*} \right)^{2,5} \text{ anos}$$

Calculemos o limite superior para a massa da estrela para que o tempo de permanência na sequência principal seja pelo menos de  $3 \times 10^9$  anos, para dar tempo para que a vida evolua.

$$\begin{aligned} M_* &= (10^{-10} t)^{-0,4} M_S \\ M_* &= (10^{-10} 3\,000\,000\,000)^{-0,4} M_S \\ M_* &= < 1,6 M_S \end{aligned}$$

# Candidatos a Segunda Terra

Nome do exoplaneta	Massa do exoplaneta Mt	Raio do exoplaneta Rt	Distância à estrela ua	Massa da estrela Ms	Tipo espectral da estrela temp sup.
Beta Pic b	4100	18.5	11.8	1.73	A6V
HD 209458 b	219.00	15.10	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	14.20	68.0	1.56	A5V
Kepler-452 b	desconhecida	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	desconhecido	0.09	0.29	M3.5V
Tau Cet c	3.11	desconhecido	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	16.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.01	0.08	M8
TW Hya d <small>(por confirmar)</small>	4	desconhecido	24	0.7	K8V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
Kepler-138c	1.97	1.20	0.09	0.57	M1V
Kepler-62f	2.80	1.41	0.72	0.69	K2V
Proxima Centauri b	1.30	1.10	0.05	0.12	M5V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V

# Candidatos a Segunda Terra

Nome do exoplaneta	Massa do exoplaneta Mt	Raio do exoplaneta Rt	Distância à estrela ua	Massa da estrela Ms	Tipo espectral da estrela temp sup.
Beta Pic b	4100	18.5	11.8	1.73	A6V
HD 209458 b	219.00	15.10	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	14.20	68.0	1.56	A5V
<b>Kepler-452 b</b>	desconhecida	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.04	0.81	G
<b>Luyten b</b>	2.19	desconhecido	0.09	0.29	M3.5V
Tau Cet c	3.11	desconhecido	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	16.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.04	0.08	M8
TW Hya d <small>(por confirmar)</small>	4	desconhecido	24	0.7	K8V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
<b>Kepler-138c</b>	1.97	1.20	0.09	0.57	M1V
Kepler-62f	2.80	1.41	0.72	0.69	K2V
Proxima Centauri b	1.30	1.10	0.05	0.12	M5V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V

# Conclusões

- Conhecer o conceito de zona de habitabilidade.
- Introduzir os conceitos de astrobiologia.
- Mostrar de que maneira é possível gerar oxigénio e obter dióxido de carbono.
- Como localizar uma segunda Terra.



Muito obrigado  
pela sua atenção!

