

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

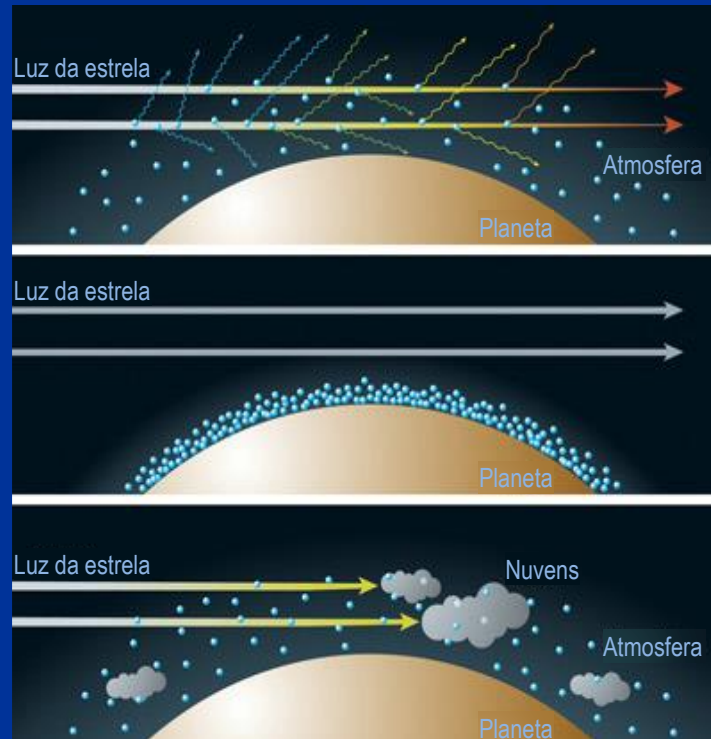
- Compreender de onde surgem os diferentes elementos da Tabela Periódica.
- Compreender as condições de habitabilidade necessárias para o desenvolvimento de vida.
- Gerir as diretrizes mínimas da vida fora da Terra.



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

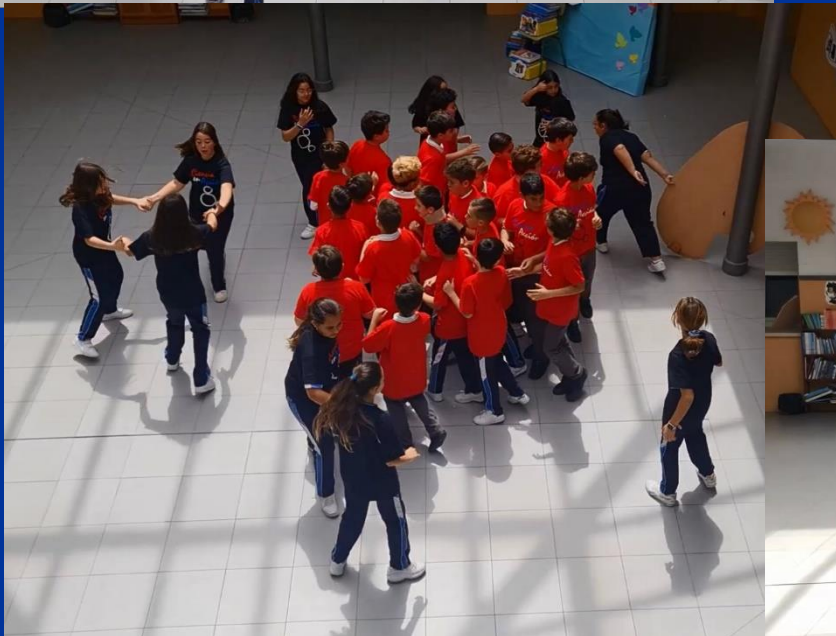
Texto do relato:

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)



Aspetos 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 ₂ 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**

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 | Cb | 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 | | |

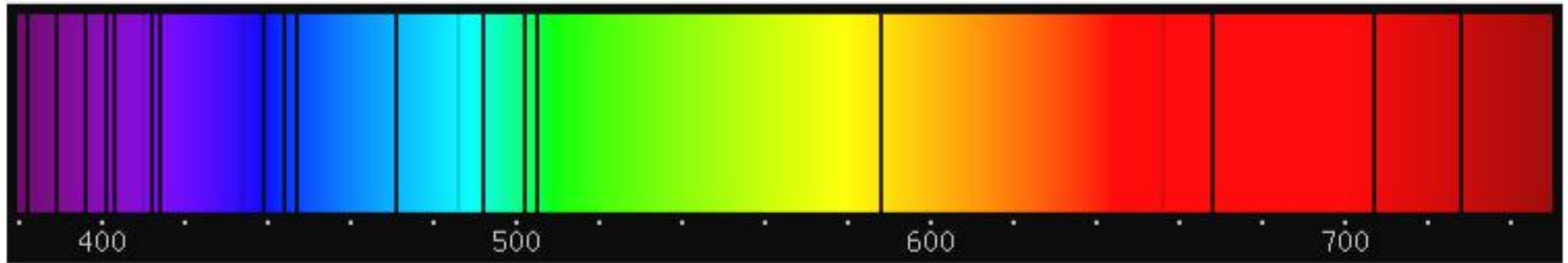
Todos os elementos abundantes (exceto o H) foram produzido dentro das estrelas.

Somos filhos das estrelas!!!!



O Sol não é de 1ª geração

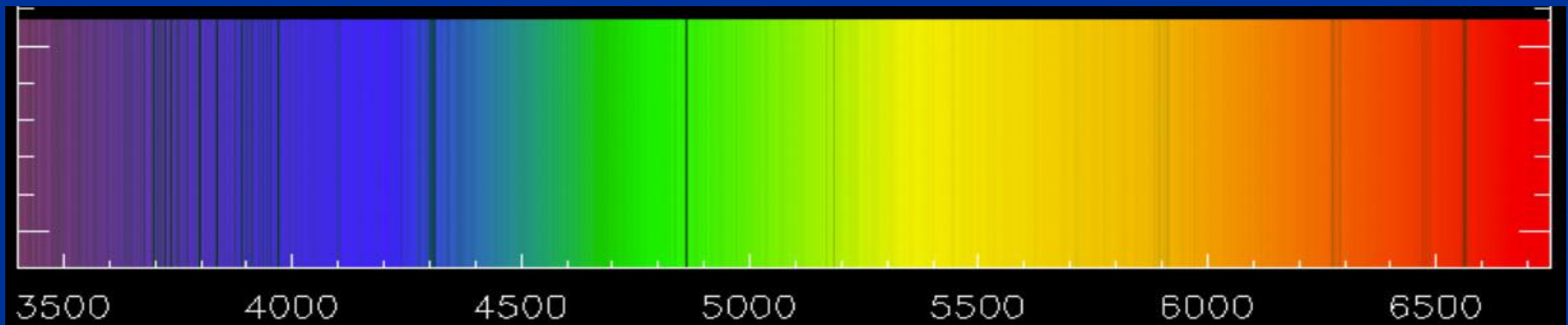
As estrelas de primeira geração viveram rápido, morreram jovens e não sobreviveram até aos nossos dias. Só apresentavam linhas de Hidrogénio, Hélio e talvez Lítio.



Espectro de 1ª geração (impressão de artista).

O Sol não é de 1ª geração

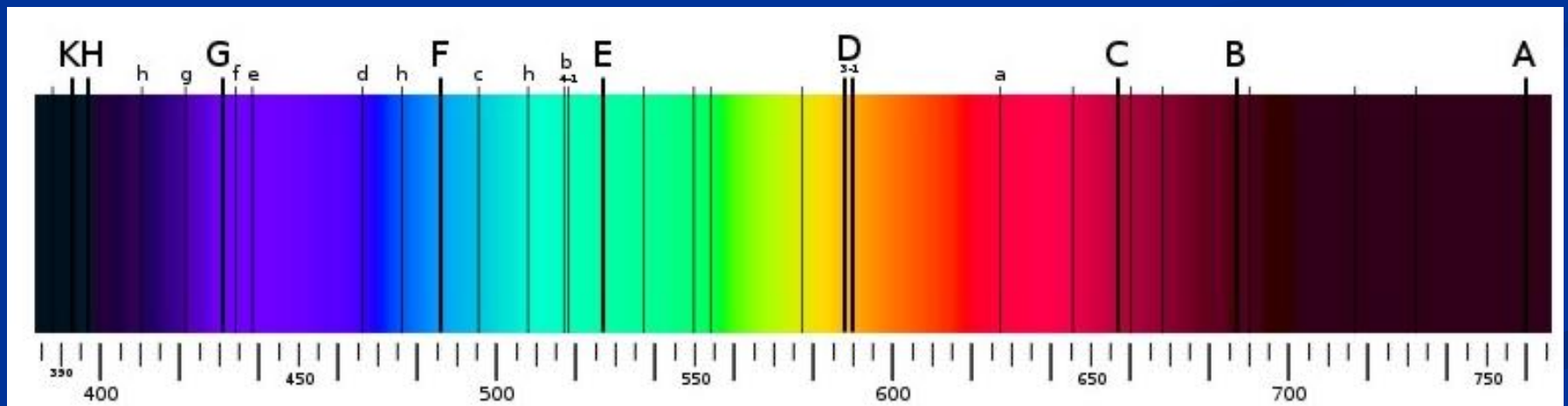
A existência de estrelas com elementos mais elaborados significa que a sua nuvem inicial continha restos da explosão de uma supernova.



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.



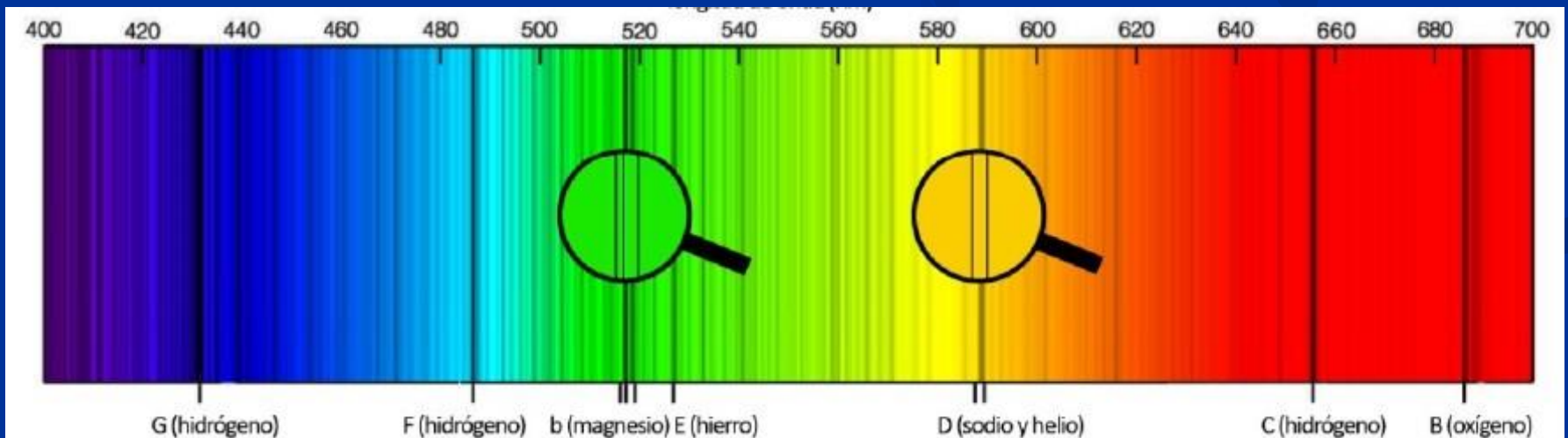
Espectro do Sol com diversas linhas espectrais e entre elas a do Sódio.



Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

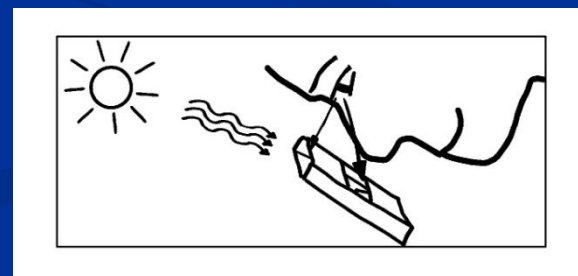
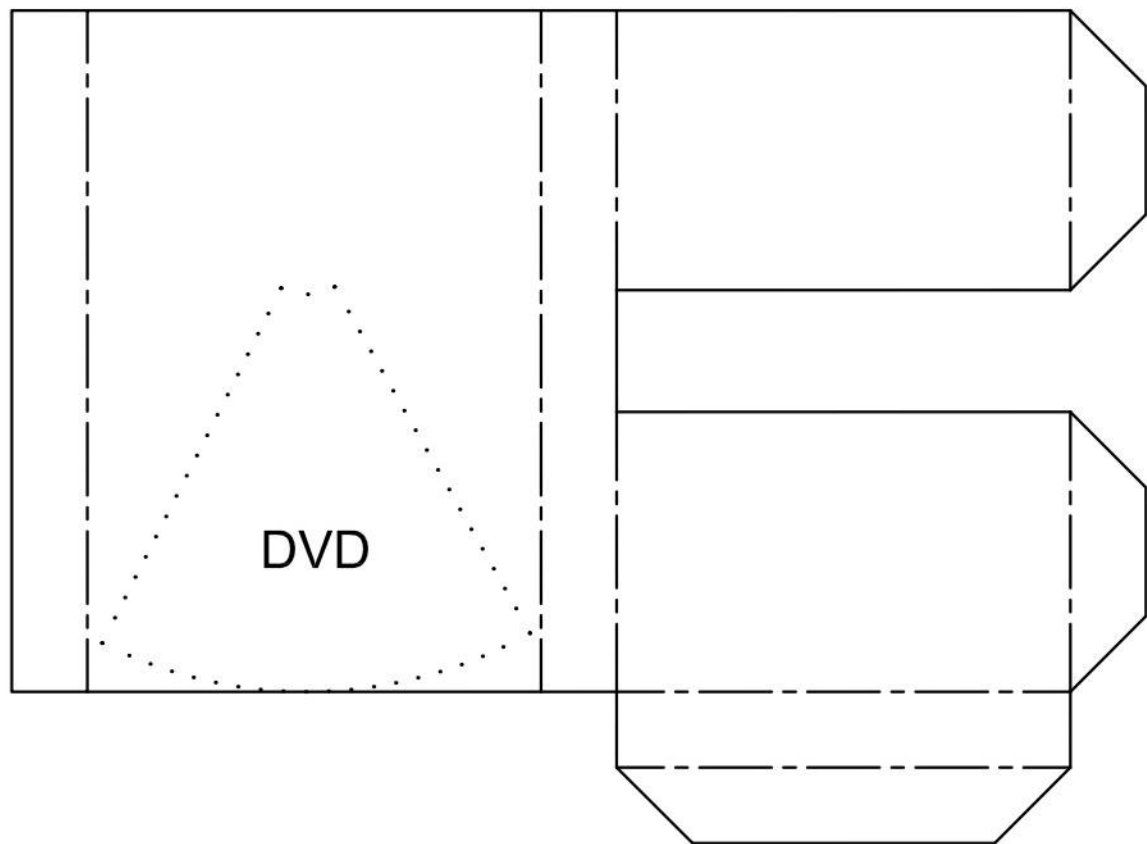
O espectro do Sol é contínuo, com linhas escuras chamadas linhas Fraunhofer, que correspondem aos elementos químicos contidos na sua atmosfera.

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)



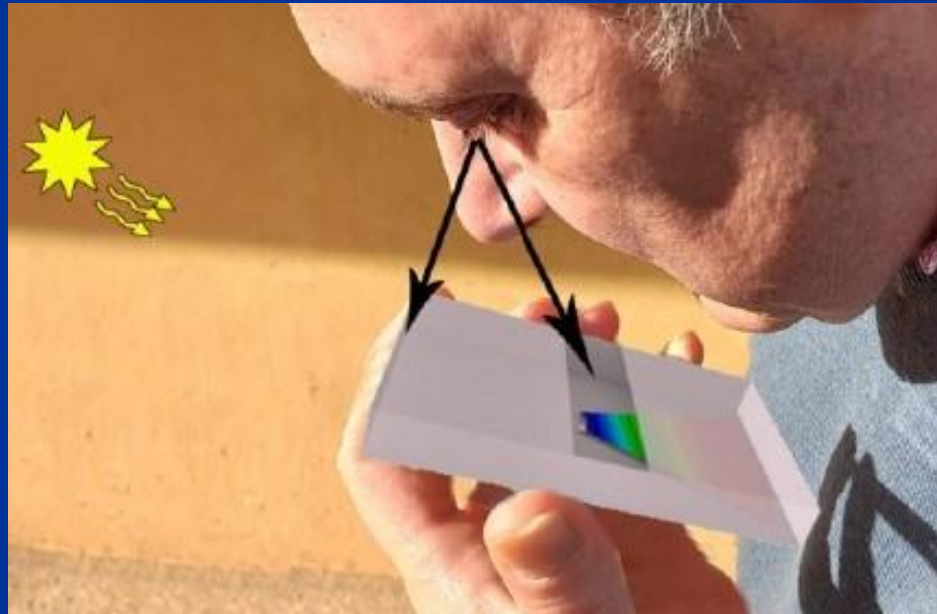
Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

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



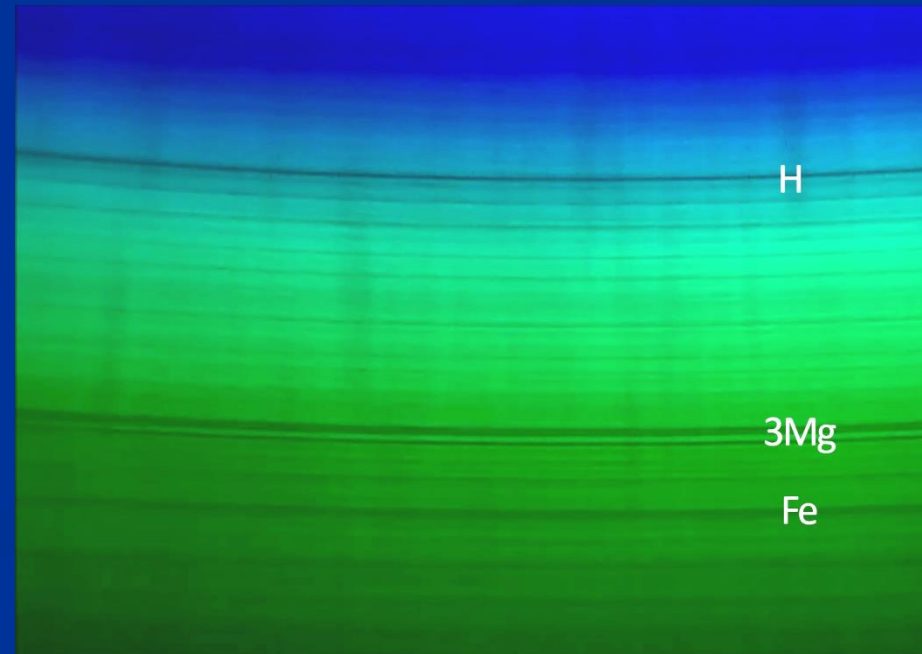
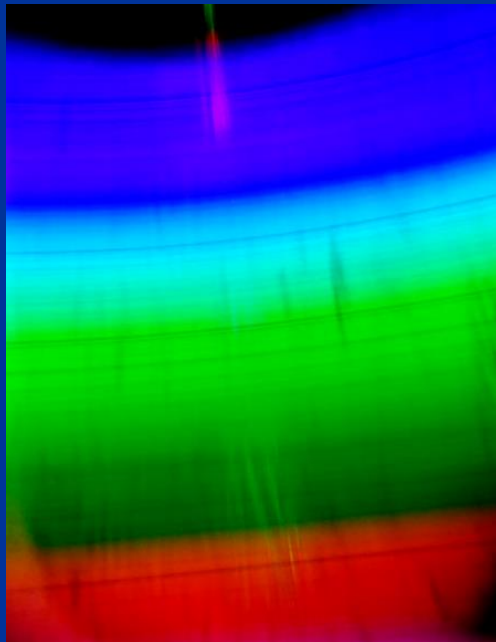
Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

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.

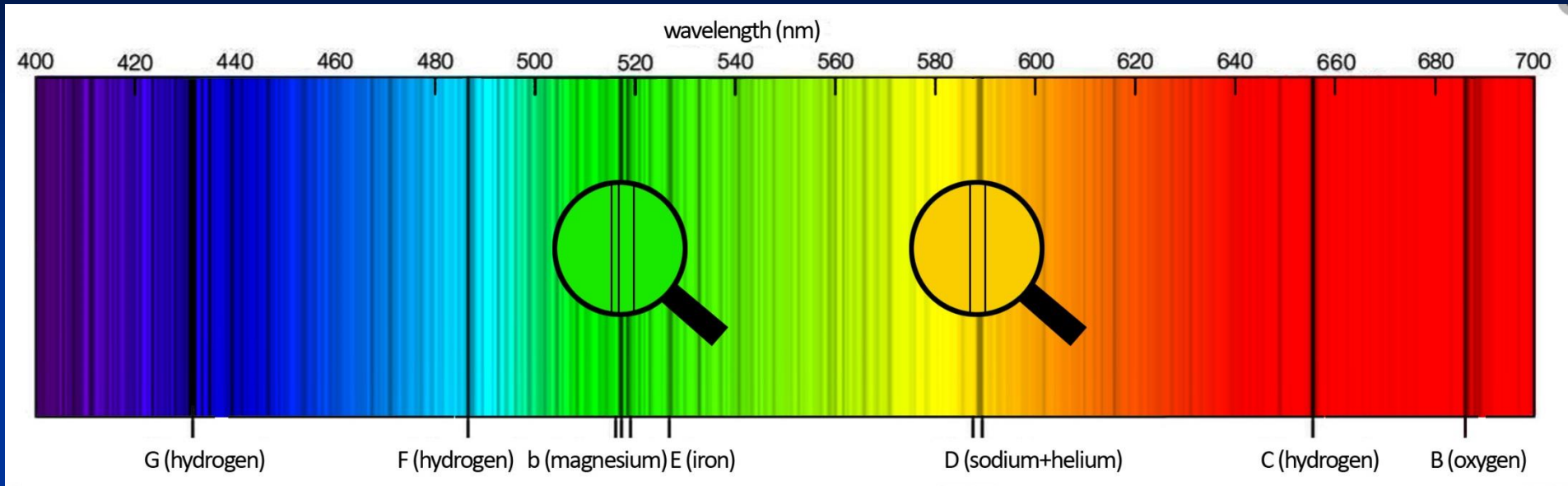


Actividade 5: Linhas Fraunhofer do Sol

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.

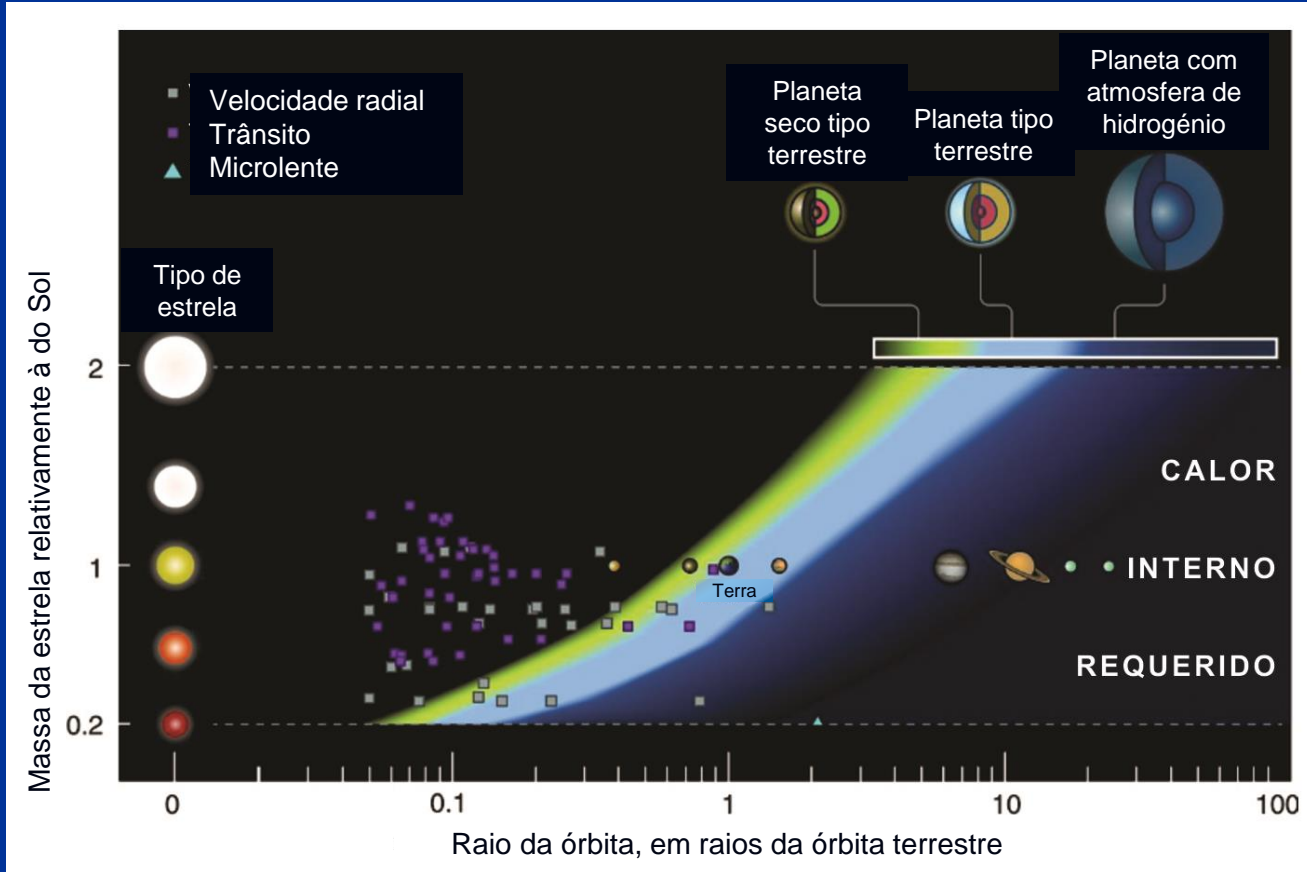
Zona de Habitabilidade

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.

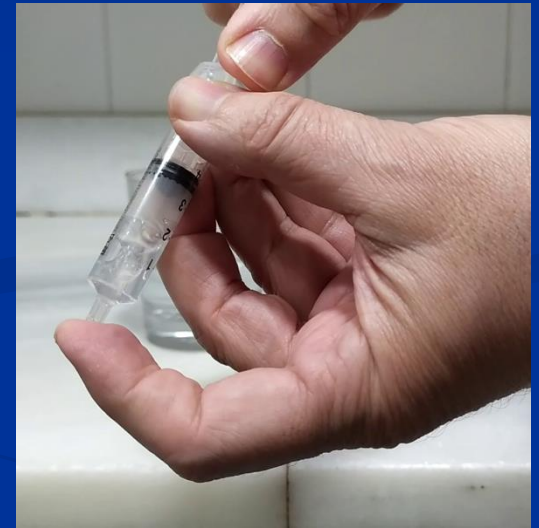


A **massa do planeta deve ser suficientemente grande** para que a sua gravidade seja capaz de reter a **atmosfera**. Esta é a principal razão pela qual Marte não é atualmente habitável, ele perdeu a maior parte da sua atmosfera e toda a água superficial, que teria nos seus primeiros mil milhões de anos.

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.

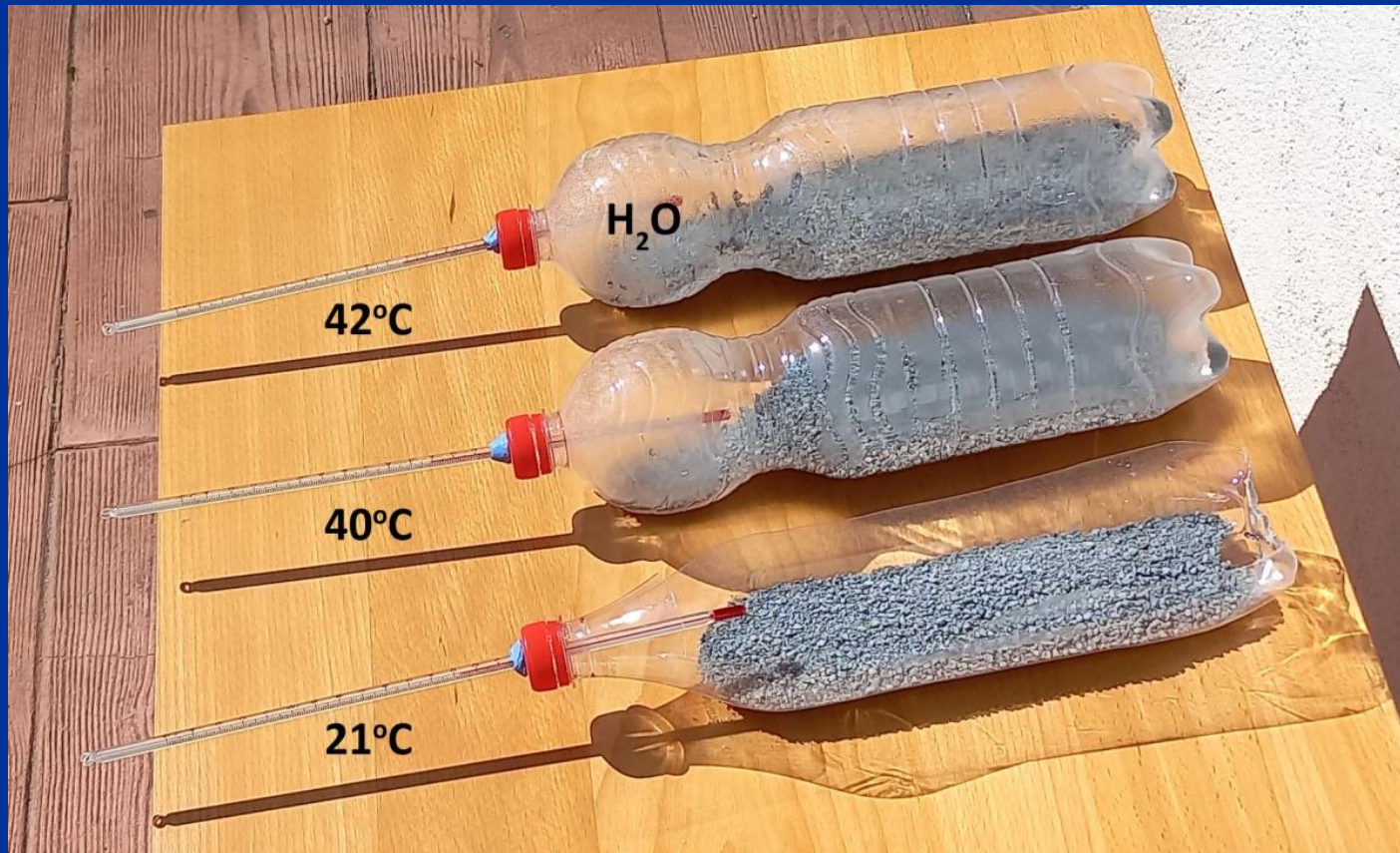
Actividade 7: Efeito de estufa

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.



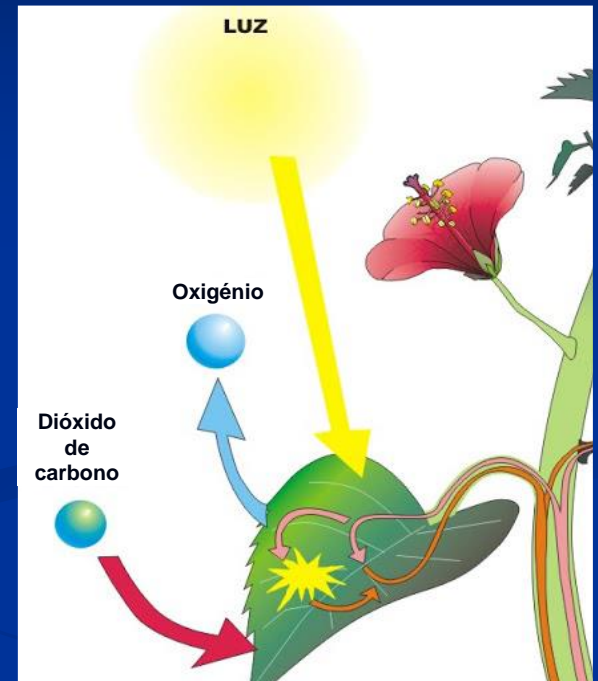
Actividade 7: Efeito de estufa

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 Oxigênio

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



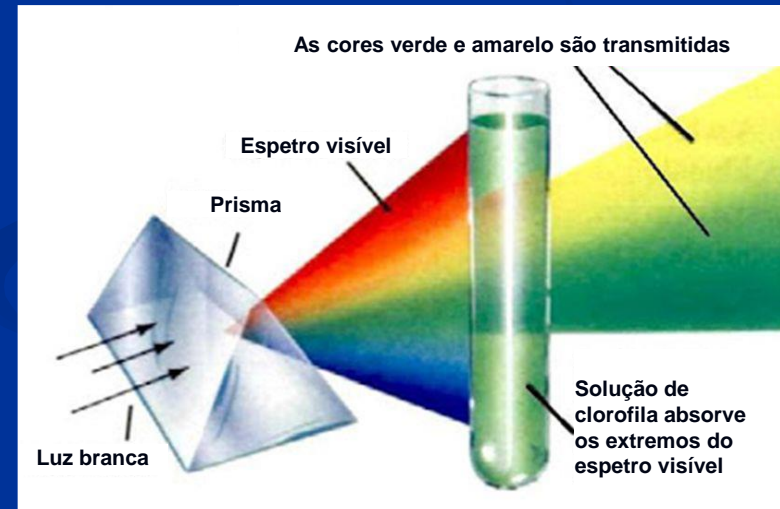
As moléculas chamadas **pigmentos fotossintéticos convertem energia luminosa em energia química.**

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

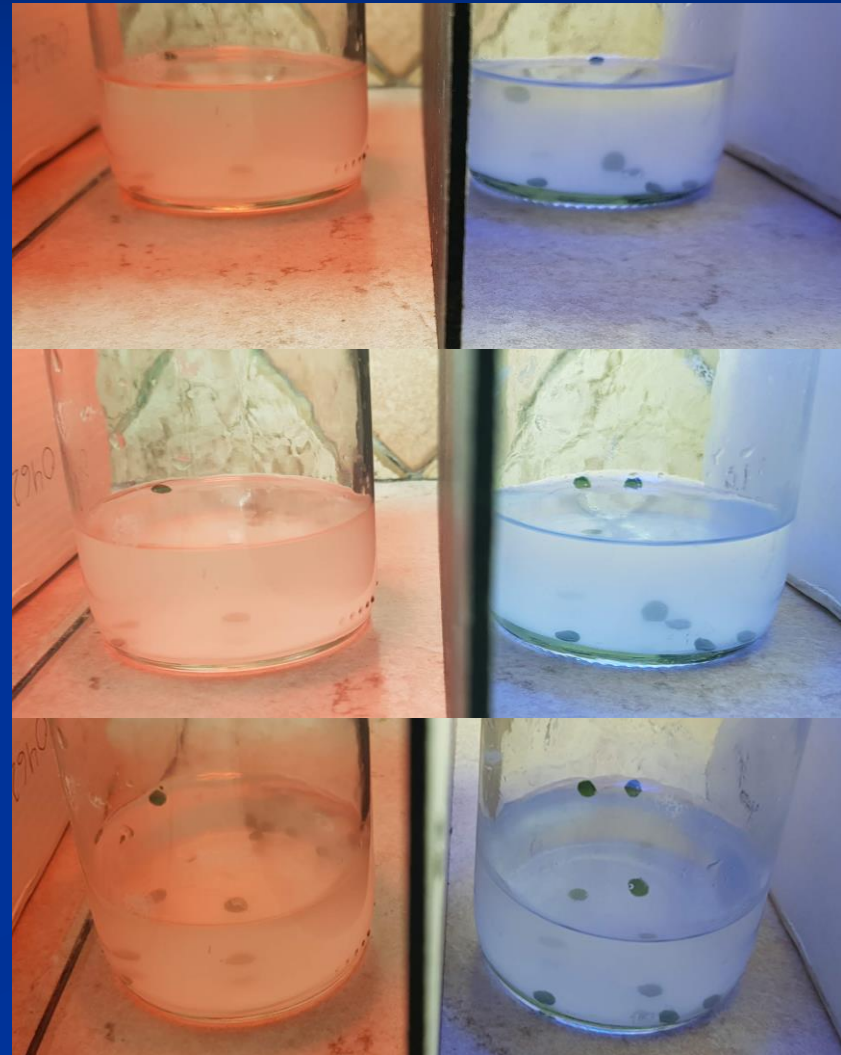
Quando acender as luzes, iniciar a contagem do tempo até que os discos flutuem.

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 extraíndo 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

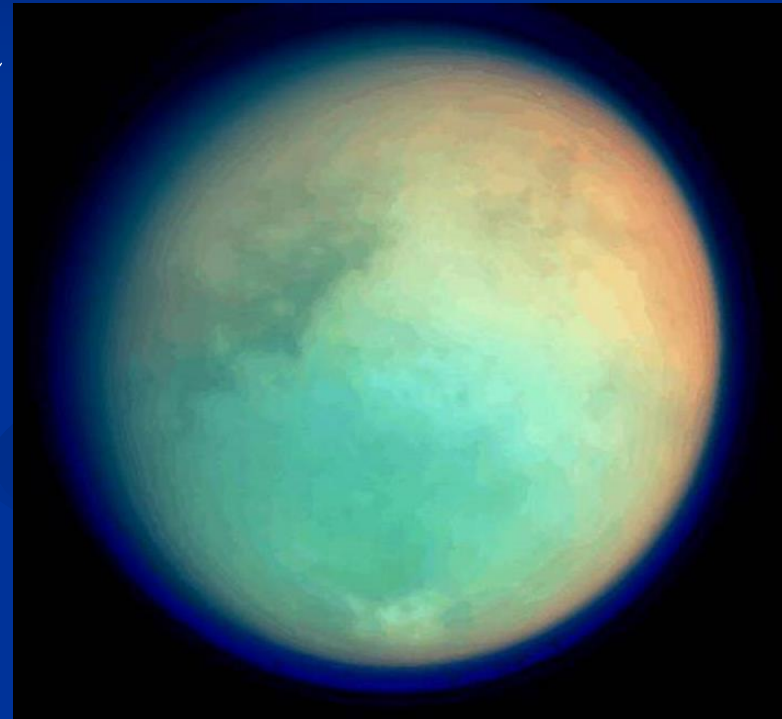
Após 15-20 minutos, você vê as bolhas de dióxido de carbono no saco inchado.

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

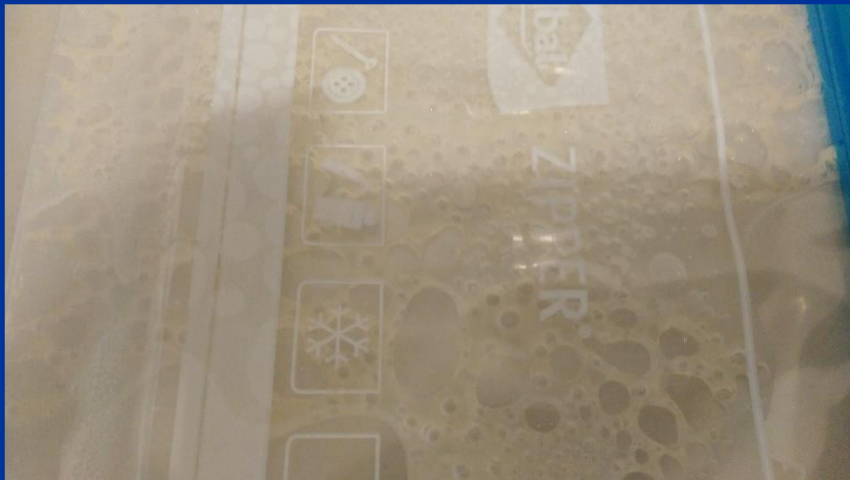


Atividade 9: Vida em condições extremas

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



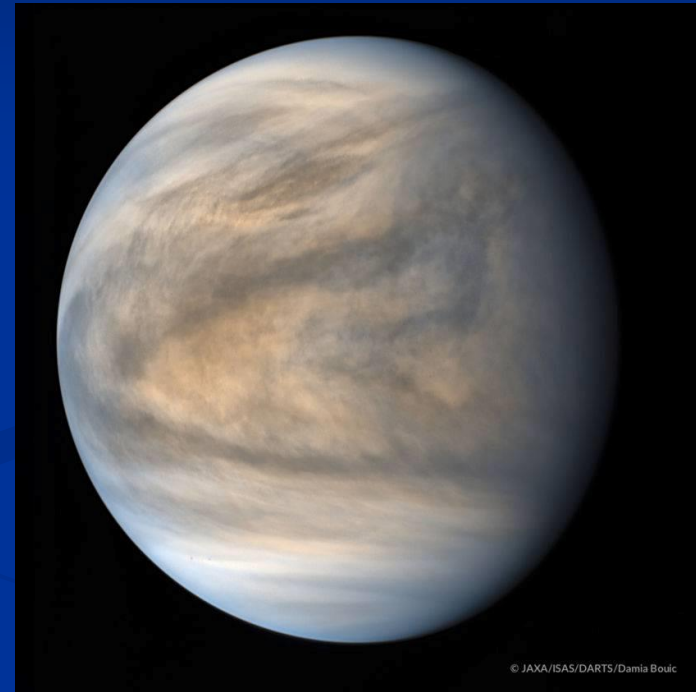
Atividade 9: Vida em condições extremas

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

Repetir dissolvendo vinagre ou limão na água de cultivo.

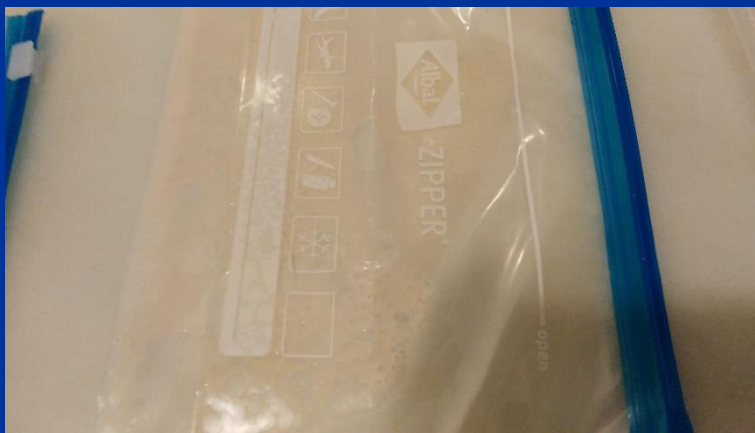
Escalas de pH **ÁCIDO**:

Vinagre: pH 2,9 e Limão: pH 2,3



© JAXA/ISAS/DARTS/Damian Bouic

Vênus, Crédito NASA.



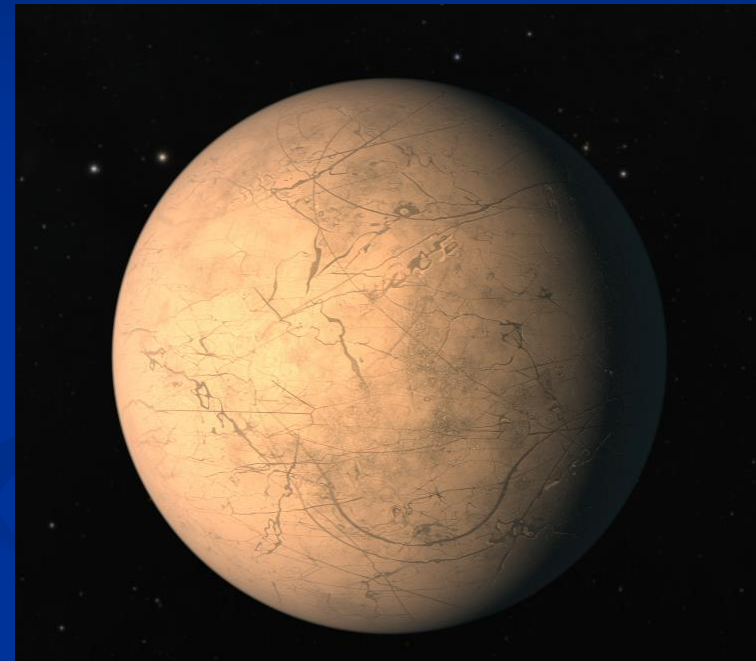
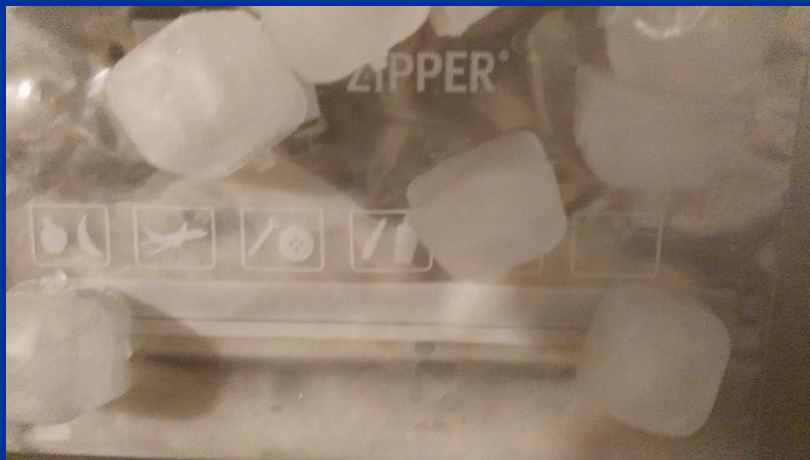
Se há borbulhas há vida



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



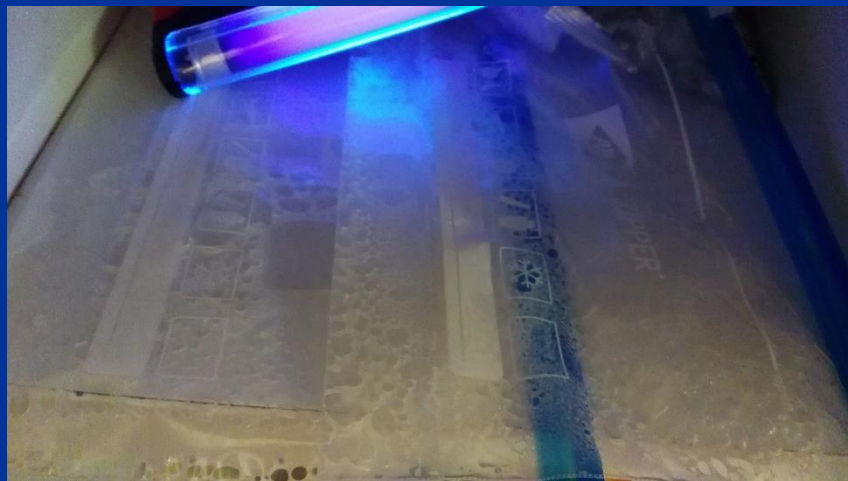
Atividade 9: Vida em condições extremas

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 |
|---------------|-----------------|-----------------------------|
| O6V | 41 000 | 450-900 |
| B5V | 15 400 | 20-40 |
| A5V | 8 200 | 2,6-5,2 |
| F5V | 6 400 | 1,3-2,5 |
| G5V | 5 800 | 0,7-1,4 |
| K5V | 4 400 | 0,3-0,5 |
| M5V | 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 3×10^9 anos, para dar tempo para que a vida evolua.

$$M_* = (10^{-10} t)^{-0,4} M_S$$

$$M_* = (10^{-10} 3\,000\,000\,000)^{-0,4} M_S$$

$$M_* = < 1,6 M_S$$

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 |
| Kepler-452 b | desconhecida | 1.59 | 1.05 | 1.04 | G2V |
| Kepler-78 b | 1.69 | 1.20 | 0.04 | 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 | 0.04 | 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 |
| 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 |

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!

