

ANNIBAL HETEM JR.  
JANE GREGORIO-HETEM  
MARLON TENORIO  
APRESENTAM

# ROCK STAR E A ORIGEM DO METAL

UMA HISTÓRIA SOBRE OS  
ÁTOMOS E AS ESTRELAS



Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Gregorio-Hetem, Jane

Rockstar e a origem do metal: uma história sobre os átomos e as estrelas / Jane Gregorio-Hetem, Annibal Hetem Junior; colaboradores Guilherme Marson, Lívia Aceto; Projeto gráfico e ilustrações de Marlon Tenório. -- São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, 2012.

20 p. Il. (Coleção a Química e os Astros, v. 1)

Publicação on-line

ISBN 978-85-85047-14-6

1. Astronomia 2. Química 3. Elementos químicos I. Hetem Junior, Annibal II. Marson, Guilherme; col. III. Aceto, Lívia; col. IV. Tenório, Marlon; projeto gráfico e ilustrações V. Título.

CDD 520

# Apresentação



**M**otivados pelo crescente interesse em estreitar os laços entre comunidade científica e público em geral, um grande número de centros de pesquisa tem se dedicado ao aperfeiçoamento de métodos educacionais. Por sua característica multidisciplinar, a astronomia tem sido amplamente utilizada na aplicação da pesquisa científica no ensino de ciências naturais. O Ano Internacional da Química<sup>1</sup> configura-se em uma excelente oportunidade de aliar o fascínio da população pelos astros e a informação que estes podem trazer sobre conceitos básicos de química.

Os métodos modernos aplicados no processo de aprendizagem estão diretamente vinculados à pesquisa científica. As novas técnicas e metodologias de ensino implicam em desafios tanto para educadores como para pesquisadores na busca por uma maior integração das descobertas científicas no cotidiano dos jovens e do público em geral. No Brasil, em particular, tais desafios são amplificados pelas dificuldades inerentes à falta de recursos para a educação e os problemas sociais que o país enfrenta, principalmente nas regiões menos favorecidas.

Por outro lado, as facilidades de acesso aos diversos meios de comunicação e diversão, como televisão, Internet, jogos eletrônicos etc., induzem nos jovens o desinteresse por valores importantes no processo de aprendizado, como a leitura e a reflexão. Assim, o educador enfrenta dificuldades adicionais relacionadas com a necessidade de captar a atenção de seus estudantes e despertar seu interesse pelos conteúdos programáticos.

Buscamos oferecer a professores e estudantes do ensino médio um material didático que contemple duas funções principais: (i) uma abordagem de conceitos básicos das espécies químicas, com nível de excelência, e (ii) a apresentação dos conteúdos de uma forma moderna e atrativa, que possa estimular o aprendizado

e incentivar o interesse pela Química. Nesse sentido, para promover o ensino de conceitos básicos, de forma atrativa e estimulante, propomos a apresentação do material didático por meio de animações voltadas ao público jovem.

Dois filmes foram previstos para a divulgação dos conceitos relacionados à Química e à Astronomia, apresentando uma história sobre a origem e a presença das espécies químicas no Universo. O primeiro filme é dedicado à formação dos átomos mais pesados a partir dos elementos mais leves, que recebeu o título “Rockstar e a origem do metal” e aparece descrito em detalhe nesse livreto. O segundo filme, previsto para o segundo semestre de 2012, será dedicado à presença de moléculas no espaço.

A inspiração veio de nossa obra anterior “Ombros de Gigantes: a história da astronomia em quadrinhos”, que foi produzida para o Ano Internacional da Astronomia. Naquele livro, buscamos despertar nos jovens o interesse científico, contando de forma lúdica os episódios marcantes na vida de astrônomos, matemáticos e físicos, como Galileo, Kepler e Newton, entre outros. Assim, a ideia de promover a divulgação científica na área da Química, usando a astronomia como atrativo e adotando o dinâmico formato das animações foi o passo natural depois de nossa experiência com os quadrinhos. Rockstar é o jovem personagem escolhido para contar essa história fascinante, que vai responder questões fundamentais, do tipo “Como o átomo de ferro foi formado? E como veio parar aqui na Terra?”

<sup>1</sup> Essa obra foi desenvolvida por meio de um projeto do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Processo No. 402114/2010-8) de apoio à popularização da Química junto à sociedade brasileira.



## Rockstar e a origem do metal

**N**uma bela tarde depois de uma aula de química, um jovem roqueiro percebeu que o ferro presente no aço - que está nas cordas de sua guitarra - deve ser o mesmo ferro presente nas células de seu sangue. Essa ideia despertou nele a curiosidade sobre a origem desse elemento químico. Certamente a resposta mais imediata é a do minério de ferro, que se encontra no interior da Terra. Mas como o átomo de ferro foi formado? E como se instalou por aqui?

Para desvendar esse mistério, o roqueiro precisou chegar nas origens da própria Terra. Acontece que a Terra, assim como nosso sistema planetário, foi formada junto com o Sol, a nossa estrela. E o Sol, por sua vez, foi formado a partir de uma nuvem interestelar que continha todos os ingredientes necessários para gerar o sistema solar.

Antes de entender como o ferro foi parar na nuvem-mãe (o berçário estelar do Sol), é necessário aprender como se formam os elementos químicos mais simples. Para isso, o roqueiro precisou viajar, durante sua jornada de descobertas, para dentro do próprio Sol, onde ocorrem reações termonucleares que, além de nos fornecer a energia necessária para a vida, produz átomos mais pesados a partir de átomos mais leves por meio da fusão nuclear.

# O que é um átomo?

**P**ara explicar as reações nucleares, é preciso lembrar alguns conceitos básicos dos elementos químicos. O **átomo** é uma das menores partículas que constituem a matéria. Ele é formado por partículas menores ainda, principalmente os **prótons** – encontrados no núcleo atômico – e os **elétrons**, que se movimentam em órbitas ao redor do núcleo. Não vamos nos preocupar com os elétrons por enquanto, pois é sobre o núcleo atômico que se baseia nossa história.

Os prótons possuem uma carga elétrica positiva. Além deles, pode ser encontrada no núcleo outra partícula que não tem carga elétrica e é conhecida por **nêutron**. O número de prótons dentro de um núcleo define o elemento químico, enquanto que diferentes quantidades de nêutrons irão definir as variedades que esse elemento pode assumir, chamadas **isótopos**.

Os elementos químicos são representados por:

número atômico **Símbolo** número de massa

O número atômico corresponde ao número de prótons e o número de massa representa a soma do número de prótons e nêutrons.

O átomo mais simples é o hidrogênio (H), que é o único elemento a possuir apenas um próton em seu núcleo e nenhum nêutron. Os diferentes tipos de hidrogênio encontrados na natureza, ou seja seus isótopos, são principalmente o deutério, que tem 1 próton e 1 nêutron em seu núcleo, e o trítio, que tem 1 próton e 2 nêutrons. A simbologia utilizada no caso do hidrogênio e seus isótopos fica assim: hidrogênio:  ${}_1\text{H}^1$ ; deutério:  ${}_1\text{H}^2$ ; trítio:  ${}_1\text{H}^3$ .

## Hidrogênio e seus isótopos



Núcleo do hidrogênio



Deutério



Trítio

O segundo átomo mais simples é o hélio, que apresenta 2 prótons e 2 nêutrons em seu núcleo ( ${}_2\text{He}^4$ ). Um dos seus isótopos, contendo 2 prótons e 3 nêutrons, é chamado "hélio três" ( ${}_2\text{He}^3$ ).

## Hélio e seu isótopo



Hélio



Hélio-3

## Fusão Nuclear e nucleossíntese

Agora podemos falar das reações nucleares apenas combinando o número de prótons e nêutrons de forma a sempre manter um balanço de massa e energia que entram e que são produzidas durante a fusão nuclear, no processo conhecido como **nucleossíntese**.

A primeira dúvida que surgiu no pensamento de nosso amigo roqueiro foi: o núcleo atômico tem carga elétrica positiva, certo? Como é possível então aproximar dois núcleos, ao ponto de eles se fundirem, se existe uma força de repulsão entre cargas de mesmo sinal?

Essa é uma excelente pergunta! Para superar a **força coulombiana** de repulsão de cargas, as partículas devem adquirir altíssimas **energias cinéticas**. Ou seja, devem estar sob condições de altas temperaturas e altas pressões. Nesse ponto, surge uma segunda pergunta na mente de nosso roqueiro: onde se encontram tais condições físicas?

Na verdade, não há na Terra um local em que se possa reproduzir as condições necessárias para realizar a nucleossíntese. Vamos encontrar tais condições no interior das estrelas.

Em busca de respostas para sua curiosidade sobre a origem dos elementos, nosso amigo precisou conhecer melhor nossa estrela: o Sol.



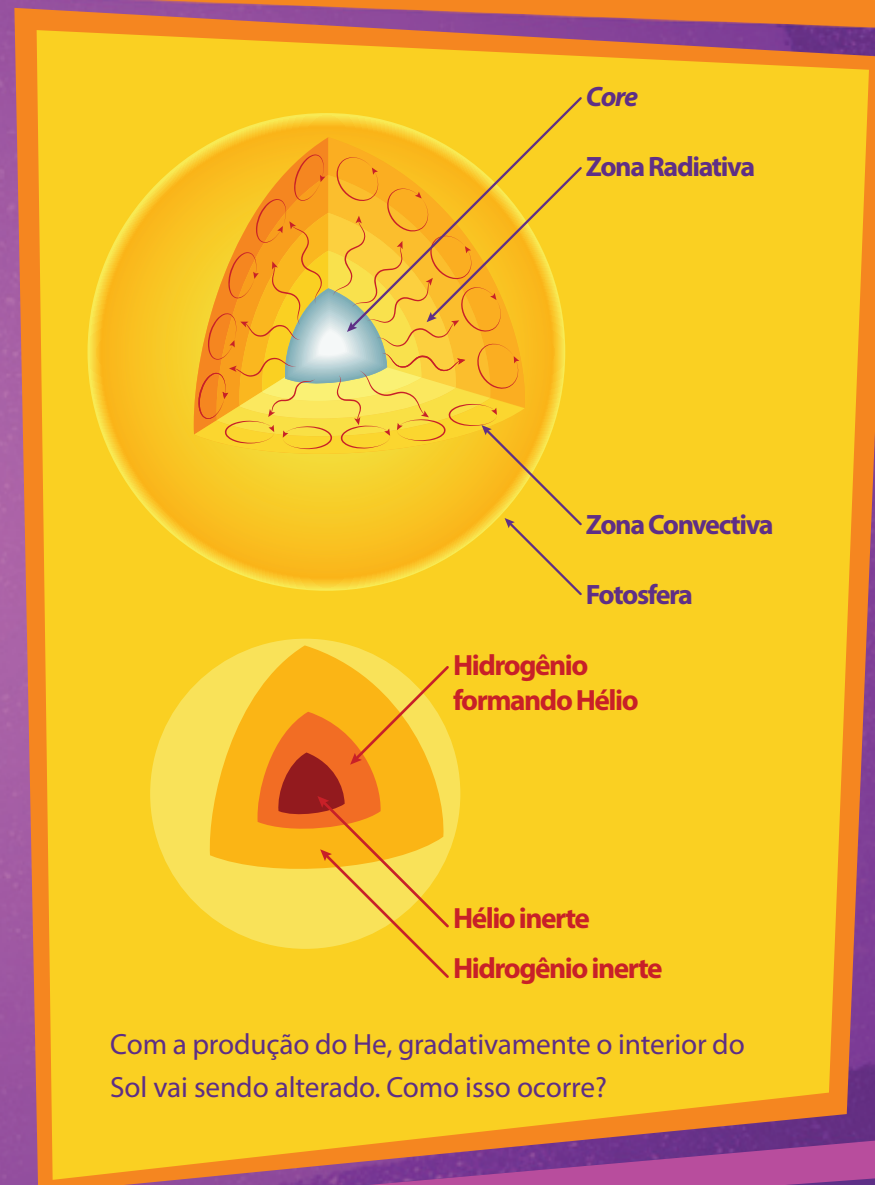
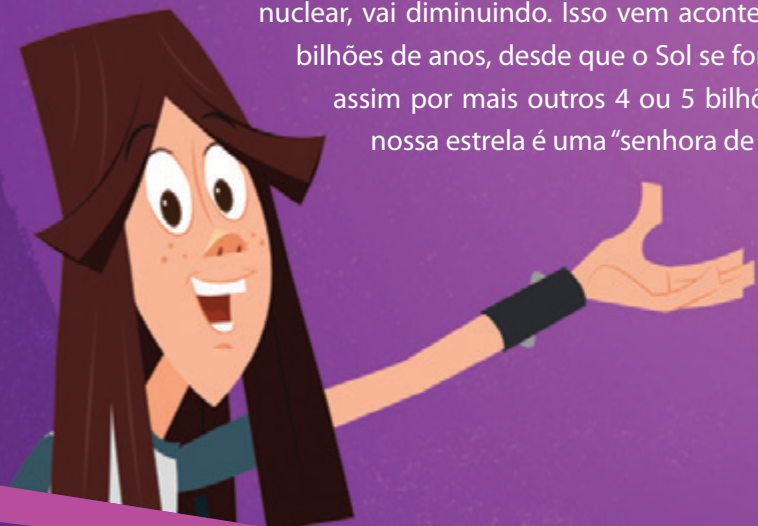
# Estrutura estelar: o interior do Sol

O interior solar é formado por um “caroço” (do termo em inglês *core*), que se encontra a uma temperatura de  $1,5 \times 10^7$  K (quinze milhões de Kelvin).

Esse *core* é rodeado por uma região conhecida por **Zona Radiativa**, onde a energia é transportada por meio de absorção e reemissão de fótons, os quais podem levar milhões de anos até atingirem a superfície (**fotosfera**) do Sol. Porém, antes de chegar à fotosfera, a energia é transportada por convecção em uma camada conhecida por **Zona Convectiva**.

Na região central, onde a temperatura varia entre  $10^7$  e  $10^8$  K (de 10 a 100 milhões de Kelvin) forma-se uma camada onde ocorre queima de H ao redor de um *core* de He inerte. Aqui não se trata de “queima” no sentido de combustão química, já que o H é consumido via fusão nuclear.

À medida que o tempo passa, o raio do *core* constituído de He vai aumentando enquanto que a camada de H, onde ocorre a fusão nuclear, vai diminuindo. Isso vem acontecendo há cerca de 5 bilhões de anos, desde que o Sol se formou, e vai continuar assim por mais outros 4 ou 5 bilhões de anos. Ou seja, nossa estrela é uma “senhora de meia-idade”.



Com a produção do He, gradativamente o interior do Sol vai sendo alterado. Como isso ocorre?

# Previsão de mudanças na composição química do Sol

Uma estimativa das mudanças na **composição química** do interior solar é mostrada no esquema ao lado. Os painéis apresentam a porcentagem de H e He em função da distância ao centro, que vai se alterando com o passar do tempo. Ao nascer a estrela tinha cerca de 96% de átomos de H e 3% de He distribuídos igualmente em toda a estrela. Outros elementos químicos, provenientes da nuvem-mãe também são encontrados no Sol, mas em fração bem menor (cerca de 1%).

Hoje em dia, o *core* é constituído de uma parte de He e outra parte de H, em proporções semelhantes. O raio do *core* é de cerca de 110 mil km.



No final de sua vida, o *core* estará repleto de He, enquanto que praticamente todo o H se encontrará nas camadas mais externas, a partir da metade da estrela (a 350 mil km do centro).

Antes de falarmos sobre o final da vida do Sol, vamos descobrir como o H é transformado em He.



# Reações Termonucleares: a produção de energia solar

A nucleossíntese em sua forma mais simples é conhecida como **cadeia próton-próton**. Basicamente este processo consome 4 núcleos de hidrogênio (prótons) para gerar 1 núcleo de hélio. Na primeira etapa, dois prótons se fundem para formar um núcleo de deutério ( ${}_1\text{H}^2$ ), um neutrino\* ( $\nu$ ) e um pósitron\*\* ( $e^+$ ). O neutrino imediatamente escapa da estrela, enquanto que o pósitron colide com um elétron e ambos são aniquilados, liberando energia.

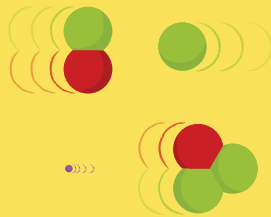
Na segunda etapa, o núcleo de deutério se funde a um próton para formar o isótopo de hélio ( ${}_2\text{He}^3$ ), liberando energia na forma de raios gama ( $\gamma$ ). Na terceira etapa, dois desses isótopos  ${}_2\text{He}^3$  se fundem para formar um átomo de hélio ( ${}_2\text{He}^4$ ) e liberar dois núcleos de hidrogênio. Desta forma um total de seis núcleos de hidrogênio está envolvido nas reações, mas apenas quatro deles são utilizados para formar o hélio.

## Etapa 1

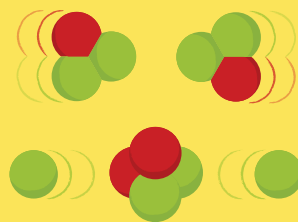


Note como o próton é decomposto em outras subpartículas.

## Etapa 2

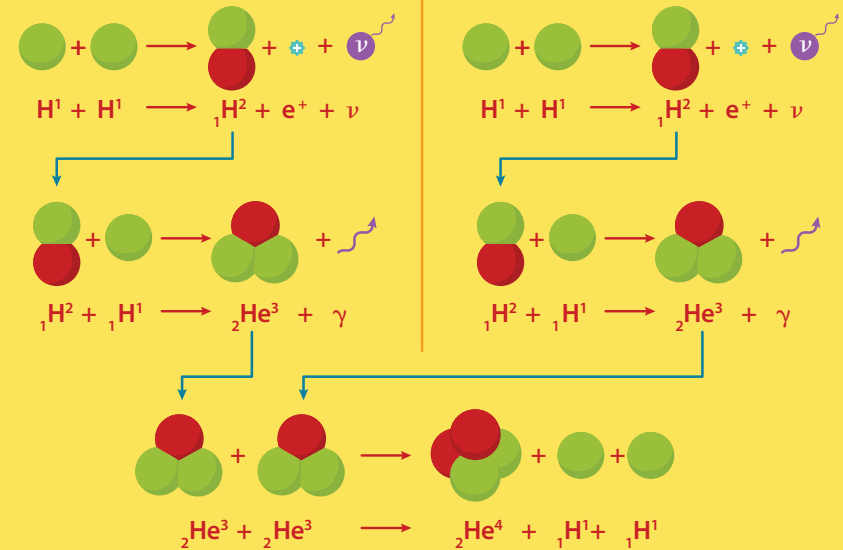


## Etapa 3



\*Neutrino: partícula subatômica representada por  $\nu$ .

\*\*Pósitron: elétron com carga positiva, também conhecido como antimatéria, representado por  $e^+$ .



A massa do núcleo de hélio é um pouco menor que a soma das massas dos quatro prótons utilizados. Essa diferença de massa, que corresponde a 0,07% da massa do hidrogênio, será convertida em energia no interior estelar.

Apesar de pequena, essa massa fornece grandes quantidades de energia. Lembrar

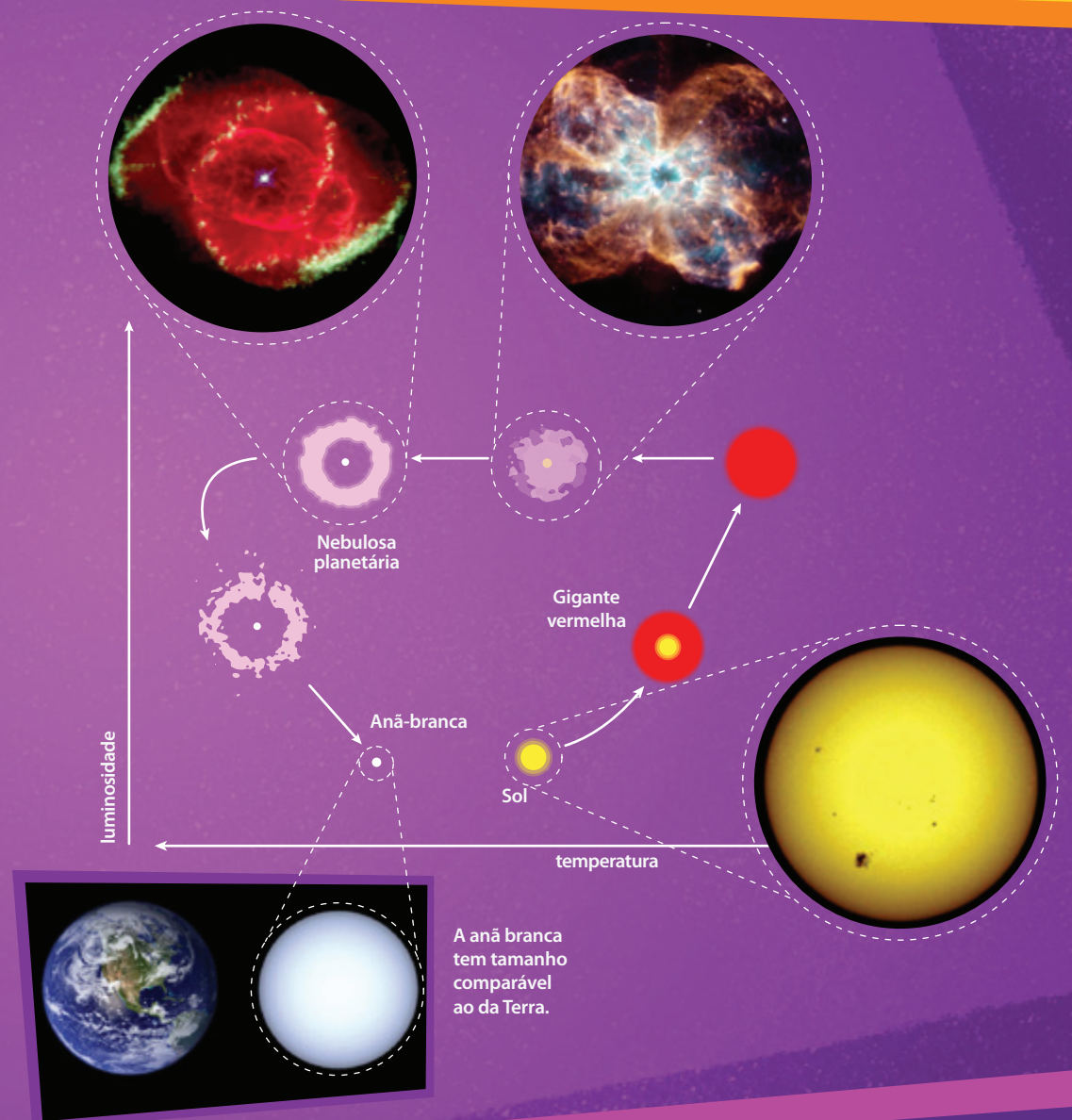
que a conversão de massa em energia ocorre pela relação  $E=mc^2$ , ou seja, é proporcional à velocidade da luz ao quadrado!!

Como nessa fase da vida da estrela 91% de seus átomos são de hidrogênio, ela tem armazenada uma grande quantidade de material para gerar energia pelo processo de fusão termonuclear.

Felizmente o Sol continuará a produzir He por um longo tempo, fornecendo a energia que nos garante a vida. Mesmo sabendo que isso ainda vai demorar, a perspectiva do final da vida do Sol deixou nosso roqueiro meio preocupado. Como acontece a morte de uma estrela?

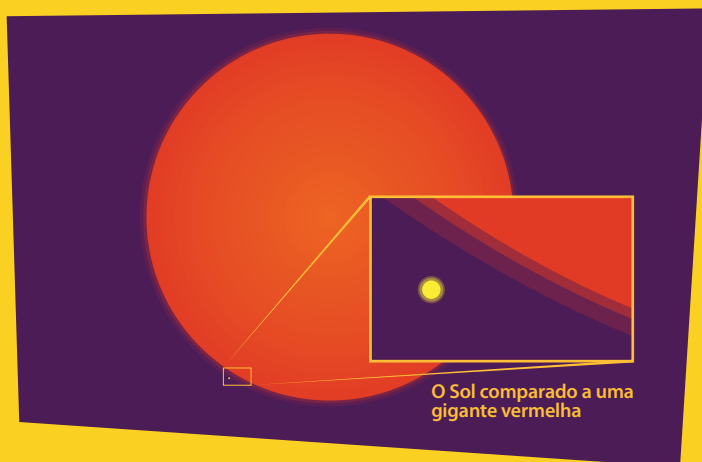
# Estágios finais da evolução do Sol

A estrela começa a “morrer” quando a energia deixa de ser produzida no *core* central. Os possíveis caminhos para o final de vida das estrelas dependem de sua massa, ou seja, da quantidade de gás que ela contém. O Sol é considerado uma estrela de baixa massa. Tem apenas cerca de  $2 \times 10^{30}$  kg, que corresponde a uma unidade conhecida como **massa solar**. Neste caso, a morte será antecedida pela fase de **gigante vermelha**, que se transformará em uma **nebulosa planetária**, restando no final uma estrela **anã branca**, que por sua vez vai esfriar até se transformar em uma anã negra, sem emitir radiação alguma.



# O fim da produção de energia no Sol

## Evolução de estrelas semelhantes ao Sol



Na fase de gigante vermelha, a superfície do Sol atingirá um raio de cerca de 200 vezes seu raio atual ( $200 \times 7 \cdot 10^5$  km), englobando os planetas Mercúrio e Vênus e chegando perto da órbita da Terra.

Sua cor vai mudar de amarelo para vermelho porque a temperatura superficial do Sol vai cair de 6000 K para cerca de 3000 K.

Isso tudo vai acontecer porque no core da estrela, constituído de He puro, não haverá mais fusão nuclear, enquanto que a queima de H continuará ocorrendo na camada

superior. O core de He aumenta, mas sem produção de energia.

Na camada acima do core inerte de He, a temperatura aumenta ( $10^6 < T < 10^7$  K) e a queima de H é mais rápida, intensificando a pressão nas camadas mais externas, o que causa um desbalanço geral. Ou seja, o equilíbrio entre pressão e gravidade, que manteve por longos anos a estrela estável (raio e temperatura quase inalterados), é interrompido.

Assim, ocorre uma expansão lenta da estrela (aumento de seu raio) e a consequente diminuição da temperatura superficial.

**A**té esse ponto ficaram claras para o roqueiro as mudanças que o Sol vai sofrer, mas permaneceu a dúvida sobre a falta de produção de energia no centro da estrela. Afinal, porque não é esperada a queima do He nessa região central?

E a resposta está nas condições físicas necessárias para realizar tais reações termonucleares. Para que dois núcleos de He sofram fusão, a temperatura deve ser maior que 100 milhões de Kelvin e a densidade maior que  $1 \text{ kg por cm}^3$ . Tais níveis de temperatura só se encontram em estrelas de massas maiores. Na verdade, nos estágios mais avançados de sua evolução, o Sol pode atingir tais condições físicas, mas isso deve acontecer por um curto período, na fase de gigante vermelha, quando as últimas camadas da estrela estiverem se desprendendo da parte central. A partir dessa fase o Sol entrará para os estágios finais de sua vida, sem produzir energia.

O roqueiro, que gosta de aventuras, logo imaginou possíveis locais no espaço para a humanidade habitar, caso ainda existirmos, mas isso tudo ainda está tão longe no tempo, que podemos deixar esse assunto para outra história.

Antes de morrer, o Sol poderá produzir o Fe que estamos procurando? Não. As estrelas de baixa massa como o Sol não têm condições de produzir ferro.

Continuando a busca da origem dos **metais** (o Fe e outros átomos mais pesados que o He), a jornada do roqueiro teve que tomar um novo rumo, direto para o centro das estrelas com mais que 8 massas solares.

# Estrelas de alta massa geram metais

“core” das estrelas de alta massa tem as condições físicas necessárias, que mencionamos anteriormente, para as reações nucleares prosseguirem, nas quais átomos de hélio vão ser transformados em carbono: basicamente três núcleos  ${}^2_2\text{He}^4$  produzem um núcleo  ${}^6_6\text{C}^{12}$ , tendo como intermediário o berílio.

Novamente temos a liberação de energia, na forma de raios gama, gerada pelo balanço entre números de prótons e nêutrons que participam das reações, como vimos anteriormente na cadeia próton-próton.

Em estrelas com massas maiores que 15 massas solares, a temperatura no seu centro pode atingir valores mais elevados que 300 milhões de Kelvin ( $T > 10^{8,5}$  K) e as densidades são maiores que 10 toneladas por  $\text{cm}^3$ . Nessas condições é possível realizar a fusão de carbono e prosseguir formando elementos cada vez mais pesados, sempre liberando energia.

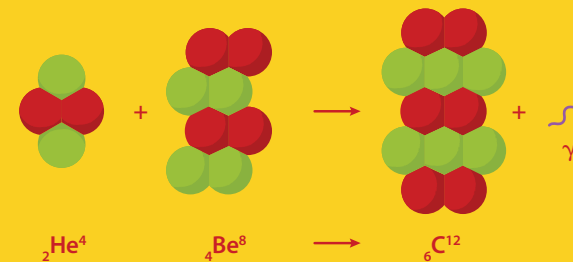
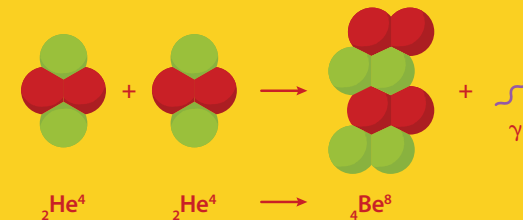
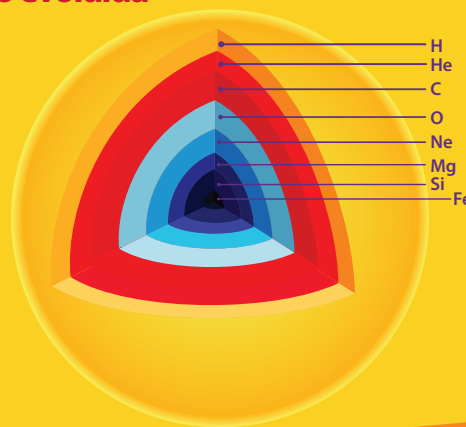
Quando temperaturas maiores que 1 bilhão de Kelvin são atingidas nessas es-

telas massivas, tem-se as condições de formar elementos até chegar no Fe. A queima do core estelar é acompanhada pela queima nas camadas vizinhas, ou seja, a estrela tem uma estrutura interna do tipo “casca de cebola”, em que cada camada tem condições físicas que variam gradativamente, proporcionando a fusão nuclear dos diferentes elementos químicos.

## Interior de uma estrela massiva muito evoluída

As camadas se distribuem na forma de cascas de cebola, as quais contêm progressivamente elementos mais pesados, raios cada vez menores e temperaturas mais elevadas.

Os processos de formação de elementos mais pesados, a partir dos mais leves, são conhecidos como **nucleossíntese estelar quiescente**, ou seja, processos que ocorrem no interior da estrela durante seu período de vida.



Nas temperaturas maiores que  $10^9\text{K}$ , de uma forma geral, as reações prosseguem até  ${}^{26}_{26}\text{Fe}^{56}$

# A origem dos metais pesados

**F**inalmente o roqueiro encontrou a origem do Fe e entendeu que somente nas condições extremas encontradas no interior das estrelas os elementos químicos podem ser formados. Mas a história não pode terminar aqui. Falta ainda descobrir como o Fe, que estava dentro de uma outra estrela veio parar na Terra. Além disso, precisamos completar a Tabela Periódica, com os elementos ainda mais pesados que o Fe.

Bem, pode parecer simples, mas não é. O mais óbvio seria esperar que núcleos de Fe pudessem sofrer fusão, continuando os processos descritos anteriormente. No entanto, não é possível realizar fusão do ferro.

Outros processos, que envolvem desintegração e captura de partículas, são necessários para formar elementos mais pesados, neste caso a **nucleossíntese estelar explosiva**. Trata-se da morte catastrófica de uma estrela, quando ocorre uma violenta explosão fornecendo as condições ideais para gerar elementos como ouro, platina, urânio, entre outros.

Existem dois tipos de explosão de **supernova**. Quando se trata da morte de uma estrela de alta massa, a supernova é considerada de tipo II. O outro caso é de um sistema binário, em que uma anã branca (originalmente de baixa massa) eventualmente recebe matéria de sua companheira gigante vermelha. Com o aumento de massa, a anã branca pode atingir um valor crítico de instabilidade que leva a estrela a explodir de forma violenta, a supernova de tipo I.

Sim, claro! O roqueiro lembrou que na explosão de supernova as camadas da estrela são ejetadas em todas as direções, distribuindo material que estava no interior estelar para o meio ambiente a seu redor. Isso é genial! - pensou o roqueiro - Após a morte da estrela, o espaço interestelar fica mais enriquecido com a presença de elementos químicos que antes não estavam naquela região.

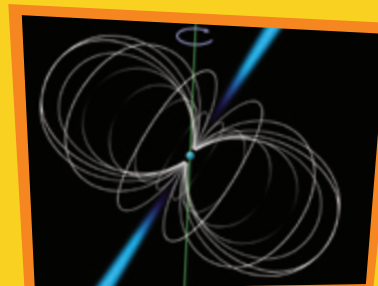
## Evolução de estrelas maiores que o Sol



Supernova

As estrelas de altas massas podem ter um fim catastrófico, na forma de explosão de supernova, que ejeta parte de suas camadas a altas velocidades.

No final sobra apenas um objeto compacto no centro, conhecido por **Estrela de Nêutrons** (densidade= $10^{15}g/cm^3$ , raio de alguns km), que tem alta rotação e emite partículas carregadas por feixes de radiação saindo dos pólos. Se o eixo de rotação não for coincidente com a inclinação dos feixes de radiação podemos observar a estrela de nêutrons como um **Pulsar**.



Estrela de nêutrons vista como um pulsar

Se a explosão for ainda mais violenta, o que sobra da estrela será um objeto muito compacto (extremamente denso e de pequeno raio). A ação gravitacional de um objeto desse tipo distorce o espaço a seu redor de tal forma que nem a própria luz consegue escapar, daí o nome de **Buraco Negro** para esse objeto compacto.

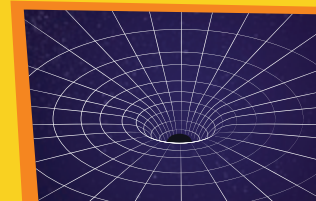


Ilustração do espaço distorcido em torno do Buraco Negro.

# A chegada dos metais nos planetas

**N**uvens interestelares de gás e poeira, a partir das quais se formam novas estrelas, podem ser enriquecidas com os elementos produzidos na explosão da supernova, e assim teremos uma nova geração de estrelas mais rica em metal do que as anteriores.

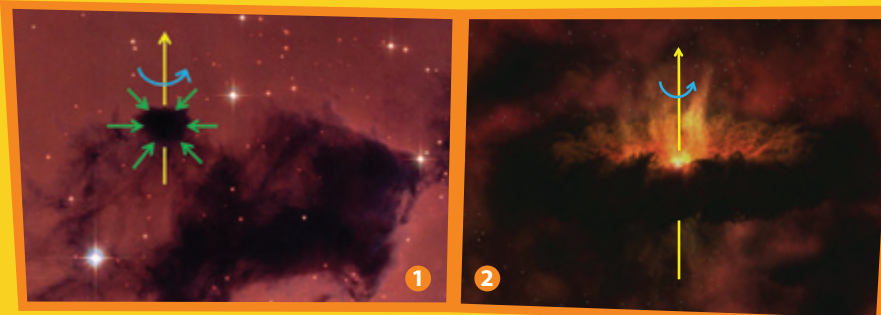
Os astrônomos acreditam que foi essa a história do nascimento de nossa estrela. Uma nuvem interestelar, que já continha uma certa quantidade de elementos químicos, passou pelos processos de fragmentação e formou vários embriões de estrelas, entre eles aquele que deu origem ao Sol (proto-Sol).

Nossa estrela e seus planetas foram formados do mesmo material enriquecido de metais presentes na nuvem-mãe.

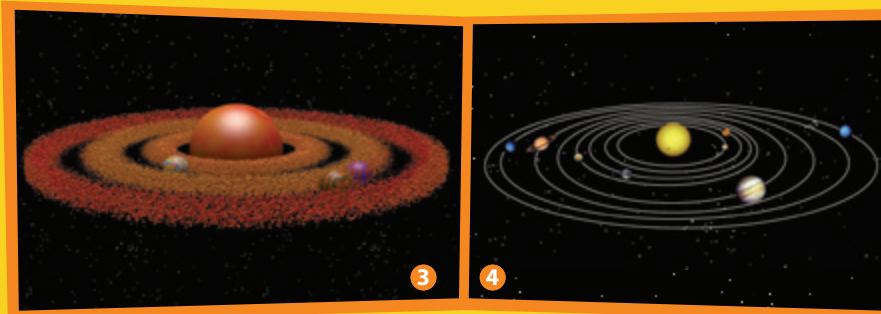
O final dessa história é o mais emocionante que se pode ter, em que se fecha o ciclo de vida das estrelas, com a morte de umas favorecendo a formação de outras ainda mais ricas em metais. E além disso, chegamos àquela conclusão famosa de que todos temos produtos de estrelas dentro de nós. Certamente nosso amigo roqueiro ficou contente em saber que ele era um verdadeiro “rock star” e que finalmente entendeu entendeu a origem do metal.



## As etapas da formação estelar

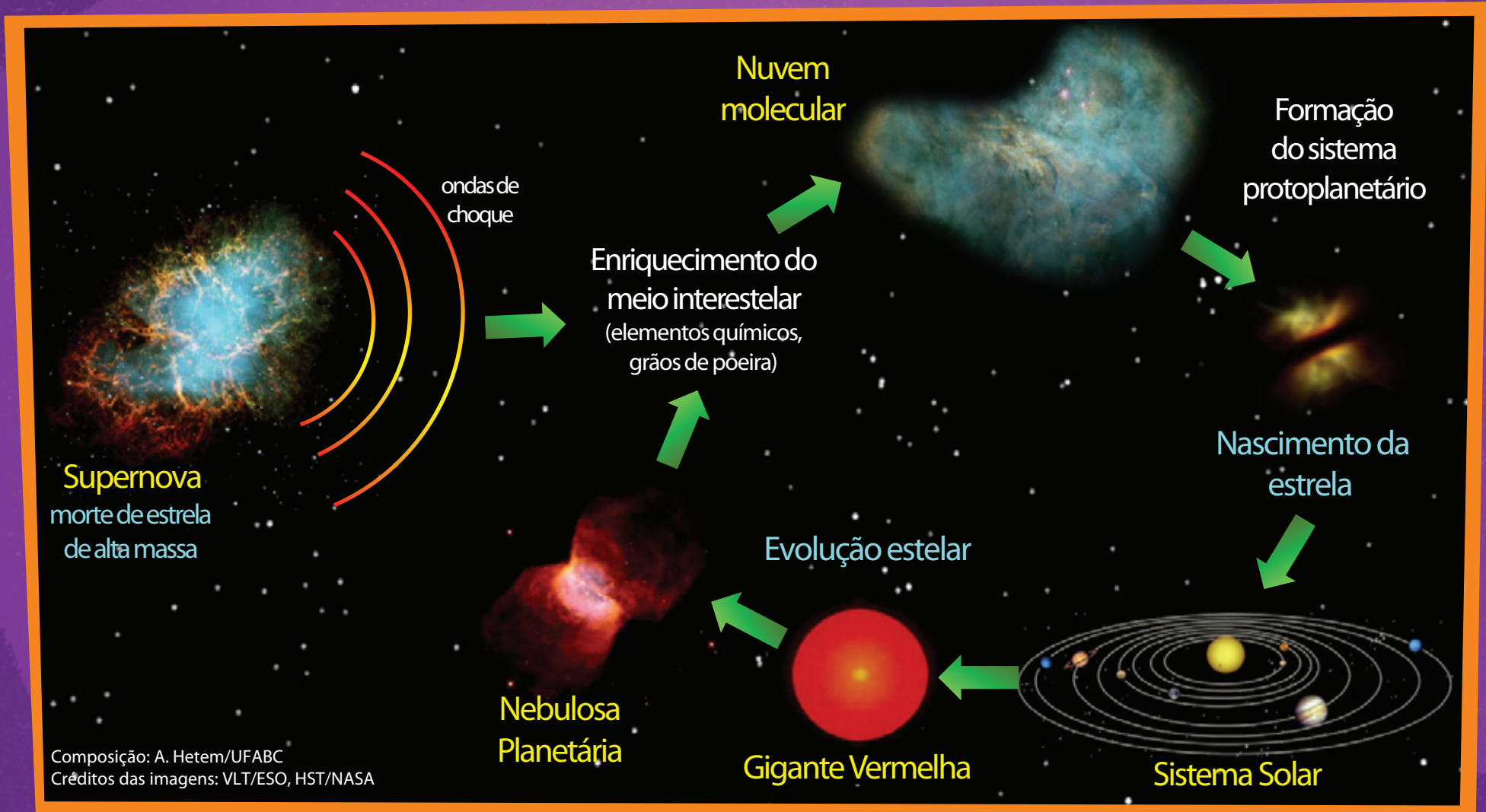


(1) A partir da contração da nuvem é formado o embrião (casulo de gás e poeira) que vai gerar a protoestrela (estrela-bebê). (2) O efeito combinado de ação gravitacional e rotação da nuvem proporciona uma distribuição do material no plano equatorial (o disco protoplanetário) com uma concentração maior de massa no centro (o proto-Sol).



(3) Ocorrem na protoestrela ventos e jatos que ejetam resquícios, que sobraram da nuvem-mãe, evidenciando a estrela central, ao mesmo tempo que se iniciam em seu interior os processos de radiação de energia. No disco equatorial, grãos de poeira se aglutinam para formar os planetesimais, que por sua vez irão se juntar para gerar corpos maiores, como planetas, asteroides, cometas etc, até chegar no estágio (4) como conhecemos hoje nosso Sistema Solar.

# O ciclo de vida das estrelas



# A Tabela Periódica

1A												3A					4A	5A	6A	7A	8A
1 <b>H</b> Hidrogênio	2A										5 <b>B</b> Boro	6 <b>C</b> Carbono	7 <b>N</b> Nitrogênio	8 <b>O</b> Oxigênio	9 <b>F</b> Fluor	10 <b>He</b> Hélio					
3 <b>Li</b> Lítio	4 <b>Be</b> Berílio											13 <b>Al</b> Alumínio	14 <b>Si</b> Silício	15 <b>P</b> Fósforo	16 <b>S</b> Enxofre	17 <b>Cl</b> Cloro	18 <b>Ar</b> Argônio				
11 <b>Na</b> Sódio	12 <b>Mg</b> Magnésio	3B	4B	5B	6B	7B	8B	8B	8B	1B	2B	31 <b>Ga</b> Gálio	32 <b>Ge</b> Germânio	33 <b>As</b> Arsênio	34 <b>Se</b> Selênio	35 <b>Br</b> Bromo	36 <b>Kr</b> Criptônio				
19 <b>K</b> Potássio	20 <b>Ca</b> Cálcio	21 <b>Sc</b> Escândio	22 <b>Ti</b> Titânio	23 <b>V</b> Vanádio	24 <b>Cr</b> Cromo	25 <b>Mn</b> Manganês	26 <b>Fe</b> Ferro	27 <b>Co</b> Cobalto	28 <b>Ni</b> Níquel	29 <b>Cu</b> Cobre	30 <b>Zn</b> Zinco	49 <b>In</b> Índio	50 <b>Sn</b> Estanho	51 <b>Sb</b> Antimônio	52 <b>Te</b> Telúrio	53 <b>I</b> Iodo	54 <b>Xe</b> Xenônio				
37 <b>Rb</b> Rubídio	38 <b>Sr</b> Estrôncio	39 <b>Y</b> Ítrio	40 <b>Zr</b> Zircônio	41 <b>Nb</b> Nióbio	42 <b>Mo</b> Molibdênio	43 <b>Tc</b> Tecnécio	44 <b>Ru</b> Rutênio	45 <b>Rh</b> Ródio	46 <b>Pd</b> Paládio	47 <b>Ag</b> Prata	48 <b>Cd</b> Cádmio	81 <b>Tl</b> Tálio	82 <b>Pb</b> Chumbo	83 <b>Bi</b> Bismuto	84 <b>Po</b> Polônio	85 <b>At</b> Astató	86 <b>Rn</b> Radônio				
55 <b>Cs</b> Césio	56 <b>Ba</b> Bário	*	72 <b>Hf</b> Háfio	73 <b>Ta</b> Tântalo	74 <b>W</b> Tungstênio	75 <b>Re</b> Rênio	76 <b>Os</b> Ósmio	77 <b>Ir</b> Iridio	78 <b>Pt</b> Platina	79 <b>Au</b> Ouro	80 <b>Hg</b> Mercúrio	113 <b>Uut</b> Ununtrio	114 <b>Uuq</b> Ununquádio	115 <b>Uup</b> Ununpentio	116 <b>Uuh</b> Ununhécio	117 <b>Uus</b> Ununséptio	118 <b>Uuo</b> Ununóctio				
87 <b>Fr</b> Frâncio	88 <b>Ra</b> Rádio	**	104 <b>Rf</b> Ruterfórdio	105 <b>Db</b> Dúbio	106 <b>Sg</b> Seabórgio	107 <b>Bh</b> Bóhrio	108 <b>Hs</b> Hássio	109 <b>Mt</b> Meitnério	110 <b>Ds</b> Darmstádio	111 <b>Rg</b> Roentgênio	112 <b>Cn</b> Copernício										

Série dos Lantanídeos

*	57 <b>La</b> Lantânio	58 <b>Ce</b> Cério	59 <b>Pr</b> Praseodímio	60 <b>Nd</b> Neodímio	61 <b>Pm</b> Promécio	62 <b>Sm</b> Samário	63 <b>Eu</b> Európio	64 <b>Gd</b> Gadolínio	65 <b>Tb</b> Térbio	66 <b>Dy</b> Disprósio	67 <b>Ho</b> Hólmio	68 <b>Er</b> Érbio	69 <b>Tm</b> Túlio	70 <b>Yb</b> Intérbio	71 <b>Lu</b> Lutécio
---	-----------------------------	--------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------	---------------------------	------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------------

Série dos Actinídeos

**	89 <b>Ac</b> Actínio	90 <b>Th</b> Tório	91 <b>Pa</b> Protactínio	92 <b>U</b> Urânio	93 <b>Np</b> Netúnio	94 <b>Pu</b> Plutônio	95 <b>Am</b> Americio	96 <b>Cm</b> Cúrio	97 <b>Bk</b> Berquílio	98 <b>Cf</b> Califórnio	99 <b>Es</b> Einstênio	100 <b>Fm</b> Férmio	101 <b>Md</b> Mendelévio	102 <b>No</b> Nobélio	103 <b>Lr</b> Laurêncio
----	----------------------------	--------------------------	--------------------------------	--------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

- Metals Alcalinos
- Metals Alcalinos Terrosos
- Metals de Transição
- Lantanídeo
- Actinídeo
- Outros Metals
- Semi-metals
- Não-metals
- Halogênios
- Gases Nobres
- Fe** Elementos sólidos nas CNTP
- Hg** Elementos líquidos nas CNTP
- He** Elementos gasosos nas CNTP



## Resumo: para lembrar o essencial



O **átomo** é uma partícula da matéria formado por subpartículas como os **prótons** e **nêutrons** (que constituem o núcleo atômico) e os **elétrons**, que se movimentam em órbitas ao redor do núcleo. O número de prótons define o elemento químico, e variações desse número definem os **isótopos** do elemento.

**Nucleossíntese** é o processo de formação dos elementos químicos, em que núcleos atômicos mais leves se fundem para formar elementos mais pesados, ou seja  **fusão nuclear**. Esse processo ocorre por meio de **reações termonucleares**, que liberam energia.

Na escala de temperatura Kelvin, ou temperatura absoluta, os valores correspondem à temperatura em graus Celsius somada a 273. Na escala Kelvin não existem valores negativos e a temperatura 0 K (zero Kelvin) é chamado **zero absoluto**.

Como os núcleos atômicos têm carga positiva, para a ocorrência da fusão nuclear são necessárias altas temperaturas para produzir a **energia cinética** suficiente para vencer a **força coulombiana** de repulsão de cargas de mesmo sinal.

A estrutura interna do Sol é composta por uma região central, que chamamos de "**core**". A **Zona Radiativa** é a camada ao redor do **core**, na qual o transporte de energia ocorre por meio de absorção e reemissão de fótons. Depois dessa camada

vem a **Zona Convectiva** onde a energia é transportada por convecção, ou seja, por movimentos ascendentes e descendentes devidos a diferenças de temperatura em função da profundidade. A **fotosfera** é uma fina camada que define a superfície do Sol.

A **composição química** (ou abundância dos elementos químicos) no Sol, distribuída em termos de massa, é cerca de 71% de hidrogênio, 27% de hélio, 1% de oxigênio, 0,4% de carbono, 0,1% de nitrogênio, 0,1% de silício, 0,01% de ferro, entre outros.

A produção de energia no Sol ocorre por fusão nuclear entre átomos de hidrogênio, por meio da **cadeia próton-próton**, onde quatro prótons (núcleos de H) são consumidos para gerar um núcleo de hélio. Esse processo produz **neutrinos** (subpartículas atômicas) e libera energia na forma de raios gama. Também são formados **pósitrons**, subpartícula considerada antimatéria, pois tem carga positiva e é aniquilada ao colidir com um elétron.

A quantidade de matéria contida no Sol é de cerca de  $2 \times 10^{30}$  kg, que corresponde a uma unidade conhecida como **massa solar**. O Sol é uma estrela de baixa massa, cuja temperatura no **core** não é suficiente para queimar He. Quando termina o H do **core**, a energia deixa de ser produzida na parte mais interna da estrela. Os estágios finais da vida de estrelas de baixa massa passam pela fase de **gigante vermelha** (grande raio e baixa temperatura superficial). Com o desprendimento das últimas camadas da estrela, separando-se da região central, forma-se um objeto de duas componentes, conhecido como **nebulosa planetária**. Depois que todo o gás

difuso se distribuí no espaço, o objeto que resta é conhecido como **anã branca**.

Apenas as estrelas de alta massa têm as condições físicas para produzir elementos mais pesados que o hélio, tais como carbono, oxigênio, neônio, magnésio, silício e ferro, que são considerados **metais**. A fusão de elementos mais leves para formar elementos gradativamente mais pesados é conhecida como **nucleossíntese estelar quiescente**, que ocorre em camadas do tipo “cascas de cebola” no interior da estrela de alta massa, durante sua vida. Na sua morte, outros elementos mais pesados são formados por processos de dissociação e recombinação de partículas menores. Neste caso, trata-se da **nucleossíntese estelar explosiva**. Os primeiros elementos leves formaram-se na nucleossíntese primordial, a partir do Big Bang que deu origem ao Universo.

A explosão de **Supernova** pode ocorrer de duas formas. A de tipo II refere à morte de uma estrela de alta massa. A supernova de tipo I é o caso de uma anã branca que tem uma gigante vermelha como companheira. A anã branca recebe matéria de sua companheira e o aumento de massa faz com que a anã branca sofra uma explosão na forma de supernova. O que resta da estrela depois da supernova tipo II é um objeto muito denso e compacto, conhecido por **Estrela de Nêutrons**, que tem alta rotação e emite partículas carregadas por feixes de radiação saindo dos pólos. Caso o eixo de rotação não seja coincidente com a inclinação do eixo dos feixes de radiação podemos observar a estrela de nêutrons como um **pulsar**. A explosão de supernova mais extrema gera um objeto ainda mais compacto que recebe o nome de **Buraco Negro**.

Os elementos químicos espalhados pela explosão de supernova enriquecem as **nuvens interestelares**. Essas nuvens, constituídas de gás e poeira, são consideradas berçários estelares. As **protoestrelas** (“estrelas-bebês”) são formadas pelo material da nuvem interestelar (“nuvem-mãe”), que sofre **fragmentação** e colapso (contração). Além disso, o material da nuvem também se distribuí em um disco equatorial, pela combinação dos efeitos de rotação e contração da nuvem. É a partir desse **disco protoplanetário**, que se formam os **planetesimais**, pequenos corpos que crescem a partir da aglutinação dos grãos de poeira (silicatos, óxidos, gelo etc). Os planetas, asteróides e cometas foram formados a partir do disco protoplanetário.



# Ficha técnica

## Autoria e roteiro

**Jane Gregorio-Hetem (coordenadora)**  
**Annibal Hetem Jr.**

## Projeto gráfico e ilustrações

**Marlon Tenório**

## Colaboradores

**Guilherme Marson (Consultor)**  
**Livia Aceto (Educadora)**

São Paulo | Rio de Janeiro  
2012

ISBN 978-85-85047-14-6



9 788585 047146

## Financiamento



(Processo Nº 402114/2010-8)

## Apoio



Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas



Universidade Federal do ABC



Instituto de Química USP



2011  
ANO INTERNACIONAL DA QUÍMICA  
AIQ  
QUÍMICA PARA UM MUNDO MELHOR



2011  
International Year of  
CHEMISTRY  
2011



Ministério da  
Ciência e Tecnologia

Ministério da  
Educação

