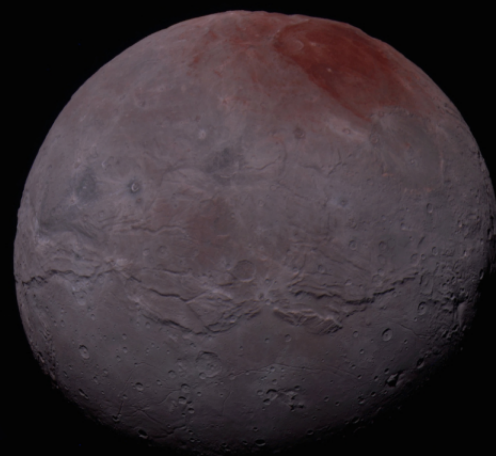


Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 4 | Número 16
Ano 2022



A sombra dos Asterooides de gelo



A Idade do Sol
Conheça as Estrelas Be
Olimpíada Brasileira de Astronomia

Editorial

Último fascículo de 2022 da Revista Brasileira de Astronomia, que completa seu quarto ano de existência. Muito esforço e resiliência. Esta mesma resiliência foi o atributo fundamental para atravessarmos estes últimos quatro anos onde um eficiente plano de desmonte da ciência brasileira foi colocado em prática. Agora é tempo de reconstrução! A exemplo do Museu Nacional, estamos ressurgindo das cinzas. É preciso recompor orçamentos e repensar a gestão da ciência nacional em todos os níveis, mas antes de tudo é preciso pensar o significado do papel da ciência na dimensão do desenvolvimento social. Para um crescimento sustentável é condição sine qua non que tenhamos um plano de Estado para a ciência e tecnologia em nosso país que garanta um crescimento orgânico de sua estrutura.

Neste novo ciclo faz-se mister que a comunidade científica em geral e os membros da Sociedade Astronômica Brasileira, para além de qualquer divergência ideológica, aprendam a conviver com as diversas formas de entender o mundo. A popularização da ciência tem um papel educador muito além do conhecimento científico e se traduz, em última instância, como um ato de generosidade. É hora de nutrir o cooperativismo e arrefecer a sanha narcísica.

*Reinaldo Ramos de Carvalho
Membro do Conselho Editorial da Rev. Bras. de Astronomia
Ex-presidente da Sociedade Astronômica Brasileira*

Esquerda

Pôr do Sol em Marte. Imagem obtida pelo robô Curiosity, a partir da cratera Gale, em 15 de abril de 2015 (Crédito: NASA/JPL-Caltech/MSSS/Texas A&M Univ.).

Capa

Composição de imagens de Plutão e Caronte, obtidas pela sonda New Horizons (Crédito: NASA/JHUAPL/SwRI).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela

Sociedade Astronômica Brasileira

ISSN 2764-9423

Conselho Editorial Alan Alves Brito,
Reinaldo Ramos de Carvalho, Lucimara
Martins, Ramachrisna Teixeira,
Thiago Signorini Gonçalves

Editor Helio J. Rocha-Pinto

Equipe de colaboradores Hélio Dotto
Perottoni, Matheus Bernini Peron,
Douglas Brambila dos Santos,
Maria Luiza Ubaldo de Melo,
David Dias Kappler de Souza

Contato secsab@sab-astro.org.br

Para anunciar Fale com Rosana no email
acima ou ligue (11) 3091-8684,
Seg. a Sex. 10 às 16 h.

Para submissões

Contacte um membro do conselho editorial



Presidente

Helio J. Rocha-Pinto

Vice-Presidente

Lucimara Martins

Secretária-Geral

Daniela Pavani

Secretária

Maria Jaqueline Vasconcelos

Tesoureiro

Alex Cavalieri Carciofi

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira

Rua do Matão, 1226

05508-090 São Paulo – SP

<http://www.sab-astro.org.br>

4 A sombra de asteroides gelados

Bruno Eduardo Morgado mostra como a medição da sombra dos asteroides, em eventos de ocultação estelar, permite inferir uma gama de informações para entender a formação do Sistema Solar.

12 Uma viagem para estimar a idade do Sol


Vladimir Jearim Peña Suarez leva o leitor a uma viagem pela sucessão de ideias que permitiram estimar a idade do Sol.

20 A Olimpíada de Astronomia e Astronáutica

Eugênio Reis Neto mostra as principais estatísticas e feitos da OBA, que neste ano chega à vigésima quinta edição.

28 Estrelas Be

O grupo de pesquisa em estrelas Be do IAG/USP, liderados por Alex Carciofi, apresenta as principais características desse curioso tipo de estrela, enfatizando o que já sabemos sobre elas e o quanto ainda temos de aprender.



Medindo a sombra de

Asteroides gelados

Os pequenos asteroides gelados são verdadeiros fósseis que carregam informações sobre como o Sistema Solar se formou. Parte desta história pode ser revelada ao medirmos os tamanhos e outras propriedades físicas destes objetos utilizando as ocultações estelares.

Para melhor entendermos os processos envolvidos na formação e evolução do Sistema Solar é necessário o desenvolvimento e aprimoramento de diversos modelos teóricos que expliquem a evolução química e dinâmica desse sistema. Estes modelos podem ser analíticos ou numéricos, e sua complexidade é limitada apenas pela quantidade e qualidade das informações disponíveis acerca dos

corpos celestes que compõem o Sistema Solar.

Nosso sistema planetário é composto por uma estrela, oito planetas e um grande número de outros pequenos corpos. Estes pequenos objetos são similares às estruturas fundamentais que acreceram e formaram os planetas rochosos, tal qual os conhecemos, e os núcleos dos planetas gigantes. Além disso, suas características físicas e orbitais carre-

gam informações sobre como o Sistema Solar primordial evoluiu até os dias atuais, tema ainda de grande debate. Neste contexto, os objetos do cinturão de Kuiper, chamados de Objetos Transnetunianos (TNOs), se destacam, uma vez que sua distribuição de tamanho, densidade, forma e configuração orbital oferecem informações sobre a evolução dinâmica do sistema e eventuais perturbações causadas pelo processo de migração planetária.

Além disso, como estes objetos estendem-se para bem além da órbita de Netuno (além de 30 unidades astronômicas), estiveram sujeitos à pouca influência da radiação solar. Logo, sua composição e eventuais processos de diferenciação química aos quais foram submetidos podem dizer algo sobre a composição primordial da nuvem protoplanetária. Desta forma, eles são verdadeiros fósseis do Sistema Solar.

Para obter informações sobre as propriedades físicas destes cor-

pos é preciso combinar diversas áreas de estudo como, por exemplo: evolução dinâmica, espectroscopia de superfície, fotometria, medidas térmicas, determinação de massas, entre outras. Em especial, o tamanho e a forma destes objetos são parâmetros de grande interesse.

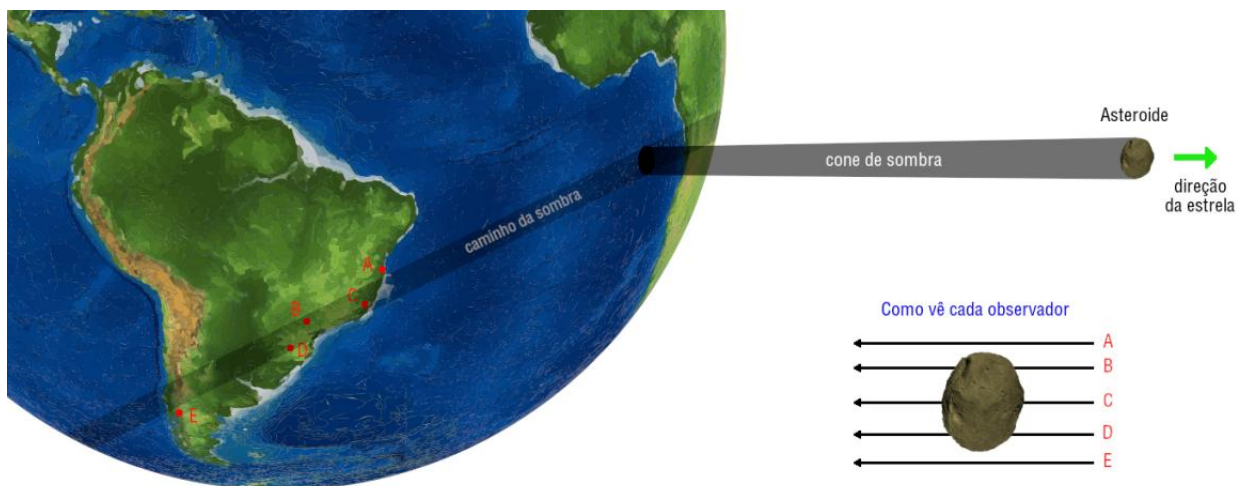
Entretanto, observar e determinar os parâmetros físicos destes pequenos corpos não é uma tarefa trivial devido os seus tamanhos e suas distâncias à Terra. Por exemplo, o planeta anão Eris possui 1163 km de raio e possui uma mínima distância ao Sol de 38 unidades astronômicas. Isto significa que este objeto possui um tamanho aparente máximo no plano do céu de apenas 0.033 segundos de arco. Observar este objeto pode ser comparado a observar uma moeda de R\$ 1,00, localizada a 140 km de distância. Uma vez que não há telescópio em solo com poder de resolução suficiente para estudarmos em detalhes estes pequenos corpos a partir de ima-

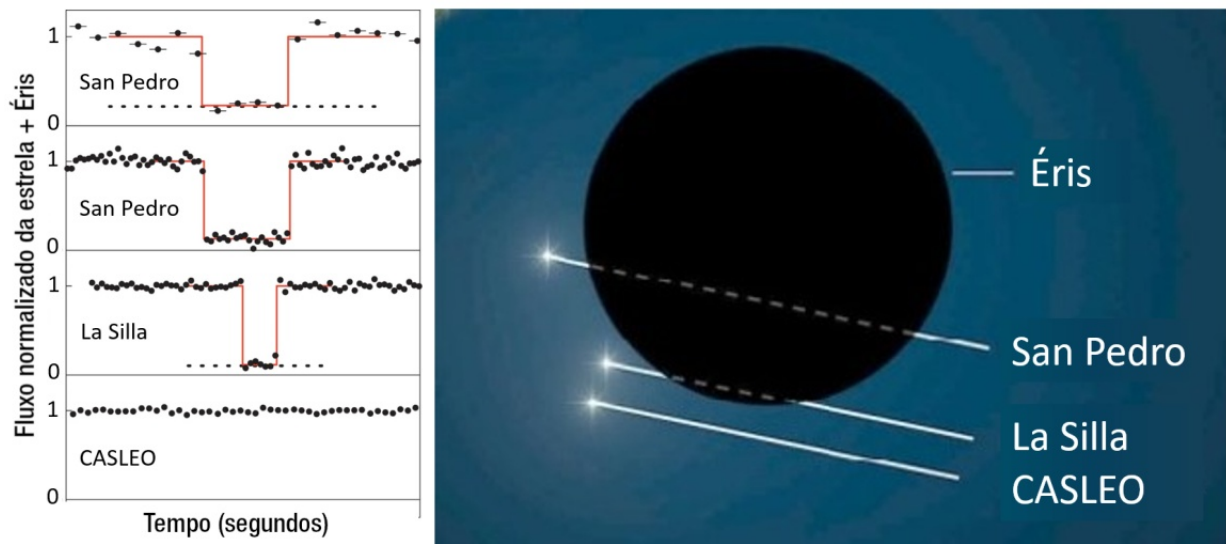
Na página anterior

Representação artística de um asteroide próximo à Via Láctea (Crédito: Chil Vera/Pixabay).

Abaixo

Geometria de uma ocultação estelar por um asteroide. A sombra do asteroide caminha sobre a superfície da Terra devido à rotação do planeta. As cidades marcadas como A e E estão fora do caminho da sombra; para elas a estrela não será ocultada. Já as cidades B, C e D encontram-se dentro da sombra; a estrela será ocultada por uma fração de tempo correspondente ao tamanho e forma do asteroide.





Acima
Ocultação Estelar por Eris observada em 6 de novembro de 2010. No painel esquerdo temos as curvas de luz obtidas por quatro diferentes observadores espalhados em três estações. No painel direito, note que cada observador detecta uma corda sobre o corpo ocultador (linhas pontilhadas) e a combinação dessas cordas nos permite inferir informações sobre o tamanho e forma do corpo ocultador (Crédito: Bruno Sicardy).

geamento direto, este feito só é possível a partir de sondas espaciais. Porém, de maneira indireta, existe uma outra possibilidade, que é a observação da sombra projetada de um pequeno corpo do Sistema Solar quando este passa à frente de uma estrela com respeito a um observador. Este fenômeno é chamado de Ocultação Estelar.

As ocultações se baseiam em um alinhamento entre a estrela a ser ocultada, o objeto ocultador, tudo isso no referencial de um observador. Logo, prever estes eventos necessita de um conhecimento preciso da órbita do objeto ocultador e as posições e movimentos próprios das estrelas no céu. Em especial, a missão Gaia gerou catálogos estelares com qualidades sem precedentes. Em sua versão mais atual, o Gaia Data Release 3 (GDR3) possui posições e movimentos próprios de mais de 1.8 bilhões de estrelas, que agora

são conhecidas com precisões menores que um milissegundo de arco (mas), estimativa que engloba estrelas tão fracas quanto as de magnitude $G = 21$. Estes precisos catálogos nos fornecem as posições das estrelas adequadas para prevermos as ocultações estelares.

Desta forma, após a identificação de uma ocultação estelar de interesse, uma campanha é montada, o que envolve uma colaboração intensa entre astrônomos profissionais e amadores (cidadãos) visando o maior número possível de observadores sob o caminho esperado da sombra. Um observador que esteja sob a sombra irá então observar a estrela alvo e por um breve intervalo de tempo perceberá o desaparecimento desta estrela. A partir destes dados é feito a fotometria da estrela alvo (medição da quantidade de luz da estrela ao longo do tempo) o que resultará em

uma curva de luz.

Cada observador que detecta uma ocultação estelar obtém o que é chamado de uma *corda* sobre este corpo. Caso o observador não detecte a ocultação (a estrela não desapareceu para a sua localidade) é dito que ele obteve uma corda negativa. Ao combinar as diferentes cordas podemos determinar os parâmetros físicos como tamanho e forma dos objetos. As cordas negativas por outro lado, nos permite impor limites sobre o tamanho do corpo, uma vez que sabemos que ele não passou por determinada região.

Estatísticas de TNOs

Atualmente da ordem de 2900 TNOs são conhecidos. Destes, apenas aproximadamente 180 possuem seu tamanho conhecido. Utilizando a técnica das ocultações estelares, foram detectados da ordem de 42 TNOs, sendo a primei-

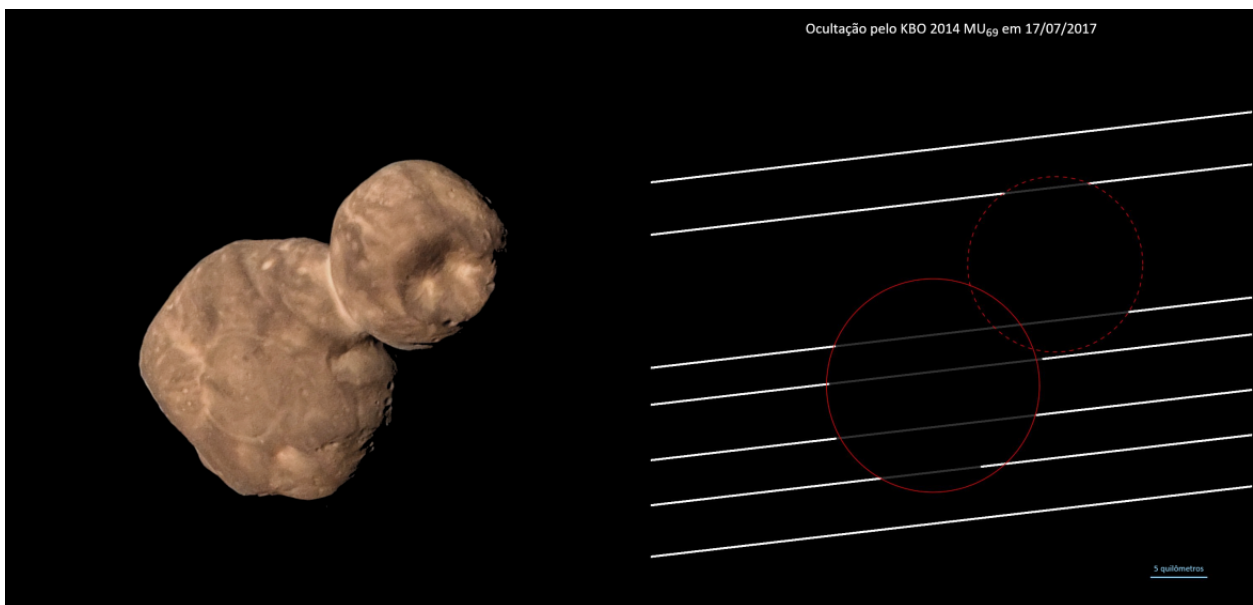
ra detecção em 2009; esta foi a observação da ocultação pelo asteroide 55636 (2002 TX₃₀₀). Porém, devido aos precisos catálogos Gaia, esse número vem crescendo sistematicamente: em 2021, 16 ocultações por TNOs foram observadas, e em 2022 este número está atualmente em 17.

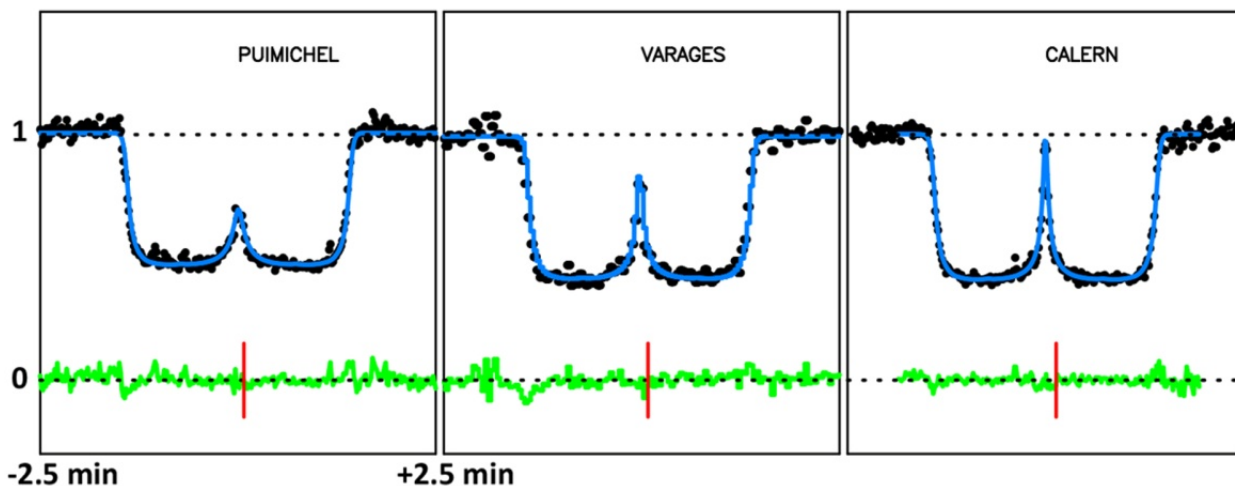
Em geral, quanto maior for o número de cordas, maior será a quantidade de informações que podemos obter destes corpos. Com apenas uma corda é possível identificar um tamanho mínimo para o corpo e uma posição para o momento da ocultação com base em um tamanho esperado. A partir de duas e três cordas, formas como círculos e elipses podem ser ajustadas aos dados, que servem como uma primeira aproximação na ausência de outros dados. Para um número ainda maior de cordas, formas mais complexas podem ser obtidas, como

Abaixo

Ocultação estelar por Arrokoth observada em 17 de julho de 2017. As cordas positivas estão em cinza enquanto as linhas brancas demarcam a região onde a estrela não estava ocultada.

A partir das cordas observadas é possível perceber que este TNO é um binário de contato, resultado em comum acordo com os resultados da Sonda Espacial New Horizons (Crédito: Marc W. Buie).





Acima

Ocultação estelar por Tritão, satélite de Netuno, observada em 5 de outubro de 2017. A imagem contém três curvas de luz obtidas em diferentes estações na França (nas regiões de Puimichel, Varages e Calern). Note a queda gradual no fluxo de luz da estrela devido a atmosfera de Tritão, e na presença do Flash Central. Em especial, o lampejo central se intensifica para estações observações localizadas mais próximas a centralidade (Crédito: Joana Marques-Oliveira).

no caso de objetos binários, tal qual o objeto (486958) Arrokoth, que também foi observado pela Sonda New Horizons da NASA.

Detecção e Estudo de Atmosferas

Além do estudo do tamanho e forma dos objetos ocultadores, uma ocultação estelar é capaz de detectar a presença de matéria semitransparente, como é o caso de uma atmosfera. Neste quesito, as ocultações estelares representam a técnica capaz de obter os melhores níveis de precisão a partir do solo, permitindo uma sondagem da estrutura atmosférica com pressões até os níveis do nanobar. Um exemplo foi o caso do planeta anão Makemake, para o qual foi possível estimar que este objeto não possui uma atmosfera global similar à de Plutão com um limite superior entre 4 e 12 nanobares.

Em especial, as curvas de luz por corpos que possuem atmosfera apresentam uma queda gra-

dual, diferente do evento abrupto que ocorre quando um corpo opaco passa na frente de uma estrela. Esta queda gradual ocorre uma vez que a atmosfera do objeto ocultador faz com que ocorra a refração de parte da luz da estrela que chegaria ao observador. Em particular, para um observador que esteja localizado próximo ao caminho central da sombra, a atmosfera irá se comportar como uma lente que irá aumentar a luz da estrela, a este fenômeno chamamos de *Flash* ou *Lampejo Central*.

Uma vez que uma atmosfera é detectada a abordagem segue dois caminhos complementares. O primeiro é a abordagem já utilizada para objetos sem atmosferas, onde o conjunto de curvas observadas em diferentes sítios, para um mesmo evento, são utilizadas em conjunto para fazer um ajuste global dos parâmetros astrométricos da sombra projetada do corpo ocultante sobre a Terra. Por fim, os dados observa-

cionais de uma ocultação estelar podem ser comparados com modelos atmosféricos para estabelecer uma relação entre características da atmosfera (como perfis verticais de temperatura, pressão e densidade) e o desvio sofrido pelos raios de luz. Assim, a partir de curvas de luz individuais com boa resolução temporal e razão sinal-ruído adequada, estima-se a estrutura atmosférica através destes modelos. Exemplos destas análises são as ocultações por Plutão e por Tritão, satélite de Netuno.

Detecção de anéis

Além de informações sobre o corpo ocultador, a técnica de ocultação estelar também nos fornece informações sobre a presença de material no entorno destes objetos. Em particular, esta técnica foi responsável por descobrir quatro dos seis sistemas de anéis conhecidos do Sistema Solar: eles foram os anéis dos planetas Urano (em 1977) e Netuno (1991), além de detectar anéis em torno dos pequenos corpos Chariklo (2013) e Haumea (2017). É importante destacar que a primeira detecção de um sistema de anéis ao redor de pequenos corpos foi realizada a menos de 10 anos atrás e que esta técnica poderá revelar um número maior de pequenos corpos com anéis nos próximos anos.

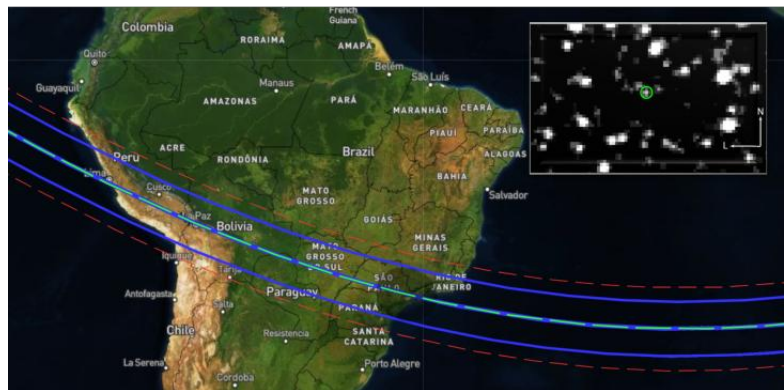
Quando a luz de uma estrela passa por uma estrutura semitrans-

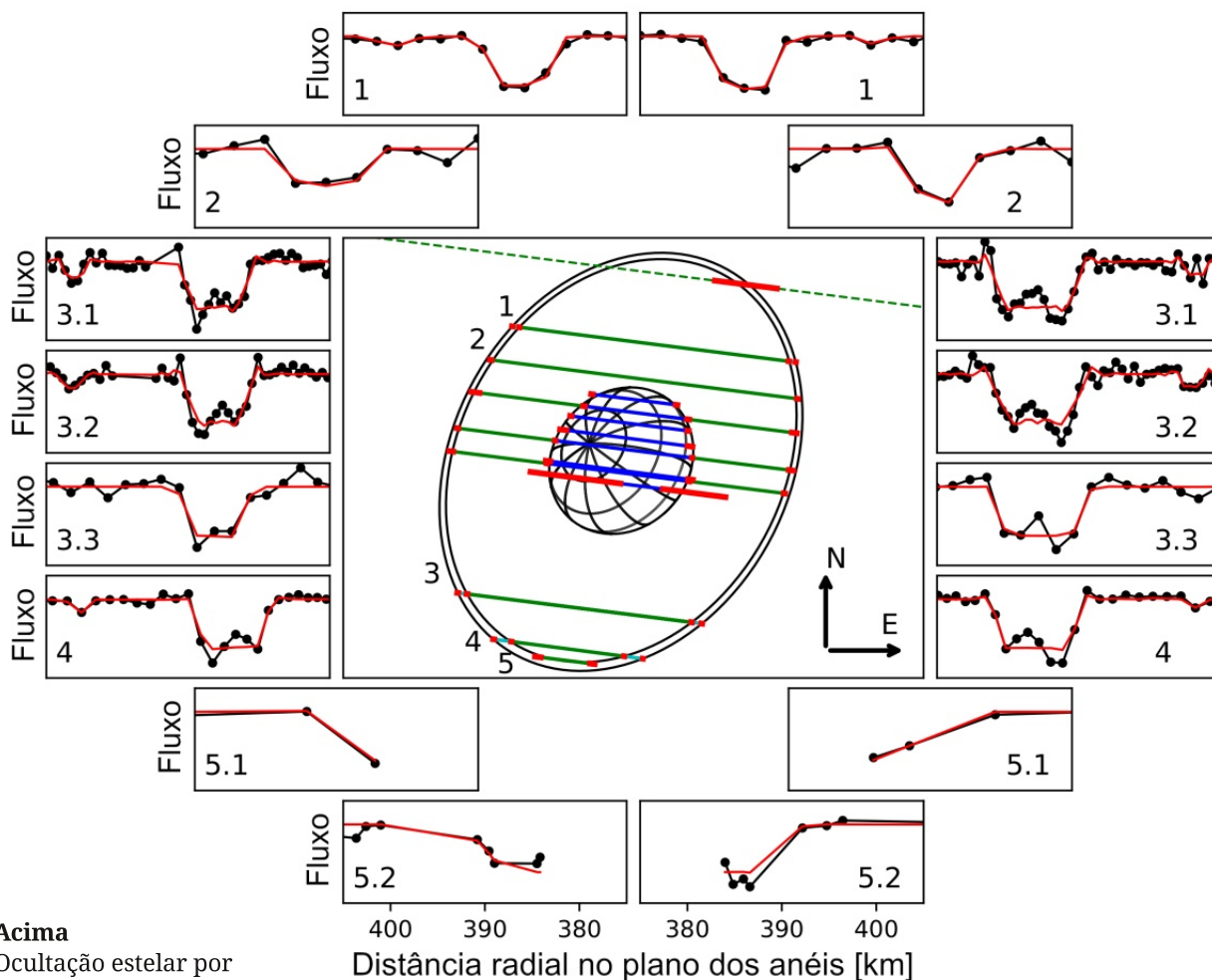
parente, como é o caso de um anel, o brilho da estrela não se apagará completamente e a fração de luz da estrela observada durante o evento nos traz informações relevantes sobre a quantidade de material deste anel. Desta forma, não só o seu tamanho físico, sua posição e largura são obtidos, mas também a densidade de partículas neste anel. Um exemplo é a estrutura em "W" existente nos anéis de Chariklo que nos revela a variação da densidade de matéria dentro do anel.

O Futuro das Ocultações Estelares

Ainda que resultados de impacto na área de pequenos corpos do Sistema Solar tenham sido gerados ao longo dos últimos anos a partir de dados de ocultações estelares, os prospectos para o futuro preveem um aumento significativo neste número. Em particular é importante destacar o *Legacy Survey of Space and Time* (LSST) a partir de dados obtidos no Observatório Vera C. Rubin que tem início previsto para 2024.

Abaixo
Mapas de ocultação ajudam a prever o local mais favorável à observação do fenômeno. No mapa abaixo, vemos o caminho da sombra previsto para a ocultação da estrela Gaia DR3 4049905056379149824 pelo asteroide 28978 (Ixion) no dia 30 de junho de 2022.



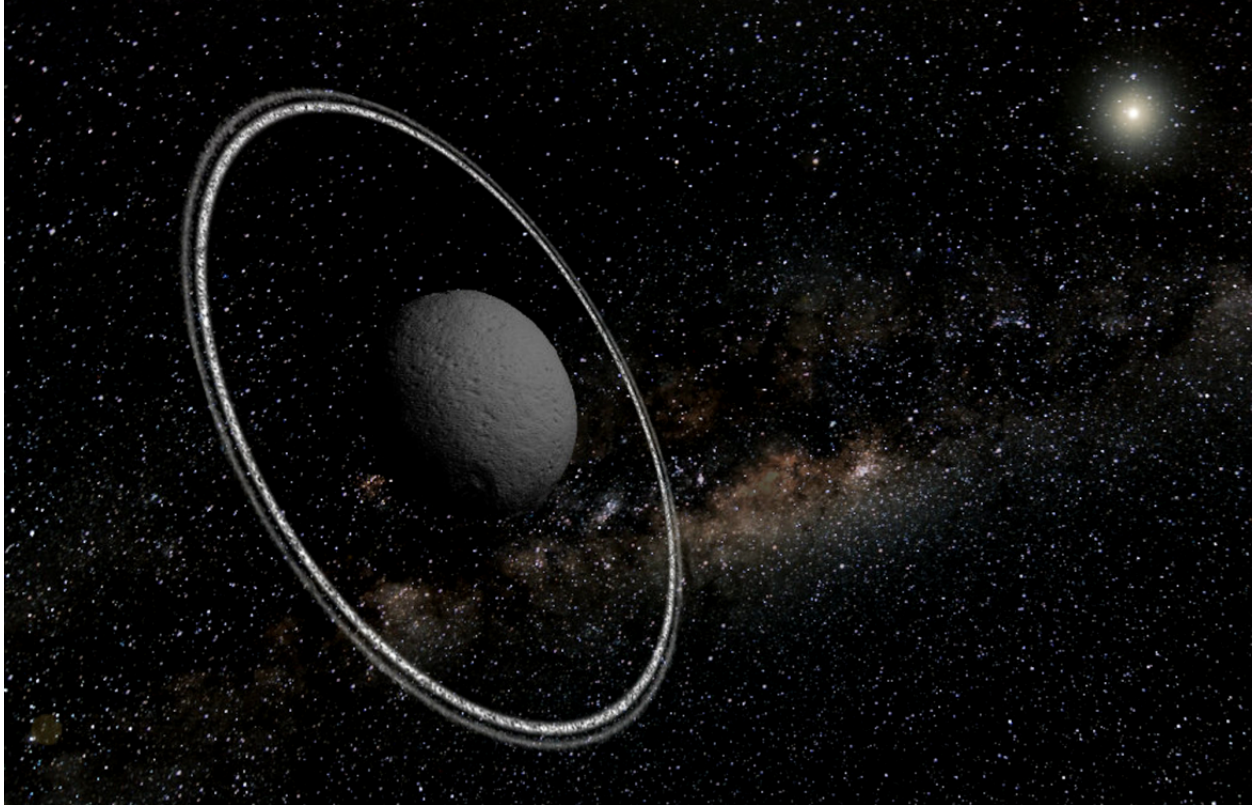


Acima
 Oculação estelar por Chariklo e seu sistema de anéis observada em 23 de julho de 2017. O painel central mostra a distribuição das cordas observadas em combinação com a forma 3D de Chariklo determinada e a estrutura dos anéis de Chariklo. Nos painéis laterais, temos a variação do fluxo observadas para cada detecção do anel, note a estrutura em “W” que revela detalhes sobre o interior destes anéis.

É esperado que esse levantamento histórico durará por 10 anos e proverá muitos resultados científicos em diferentes âmbitos da Astronomia e Física. No que se refere aos pequenos corpos, prevê-se a observação de mais de 30000 TNOs com magnitudes R menores que 24.5. Muitos dos objetos observados serão descobertos pelo próprio LSST. A partir da combinação desses grandes levantamentos de dados com os precisos catálogos estelares da missão Gaia, o número de observações bem sucedidas de ocultações estelares

deve crescer ainda mais. Desta forma a qualidade dos resultados se limitará pelo número e qualidade das observações feitas.

Além disso, é importante destacar que o emprego de telescópios espaciais para o estudo dos pequenos corpos a partir de ocultações estelares é algo desafiador, mas que também vem sendo feito. Em julho de 2020, pela primeira vez uma ocultação estelar por um TNO foi predita e observada utilizando um telescópio espacial. Este feito foi realizado pelo telescópio espacial CHEOPS, origi-



nalmente idealizado para a observação de trânsitos de exoplanetas. Note que a previsão desses eventos requer não só uma alta precisão no conhecimento da órbita do pequeno corpo, mas também uma alta precisão no conhecimento da órbita do telescópio espacial em si, com a devida antecedência que permitirá o planejamento da observação. Este evento abre uma nova perspectiva em relação as ocultações estelares, com especial destaque ao James Webb Space Telescope (JWST).

Por fim, ocultações estelares conseguem prover informações precisas sobre os pequenos corpos do Sistema Solar, com especial destaque ao Sistema Solar Exterior, onde apenas sondas espaciais *in lo-*

co podem obter dados com tamanha precisão. De modo geral, esta técnica tem alto potencial de descoberta, sendo capaz de detectar atmosferas, sistemas de anéis, satélites naturais, feições topográficas, binários de contato, etc. Os resultados obtidos incrementam o conhecimento destes pequenos corpos que podem ser utilizados para aprimorar os modelos de formação e evolução do nosso Sistema Solar •

*Bruno Eduardo Morgado
Univ. Fed. do Rio de Janeiro
bmorgado@ov.ufrj.br*

Acima
Representação artística do sistema de anéis de Chariklo (Crédito: Lucie Maquet).



Toda uma viagem para

Estimar a idade do Sol

Perguntar a idade é uma imprudência? Bom, em se tratando da idade do Sol ou da Terra, a pergunta é o começo de uma viagem muito bacana. Vamos aprender sobre como se determinou quão velhos são o Sol e a Terra?

Você está sentado na mesa de jantar uma noite, passando o dedo pela tela do celular. De repente, sua atenção cai em uma manchete como esta “*Earendel, conhecida a estrela mais velha do Universo*”. Por alguma razão, a ideia de que uma estrela possa ter uma idade, como você, parece um pouco estranha. Ainda mais, porque as estrelas estão muito longe e não

dá para ir e pegar um pedaço da estrela e identificar suas características, ao ponto de poder dizer, olha, já tem até rugas, está careca...

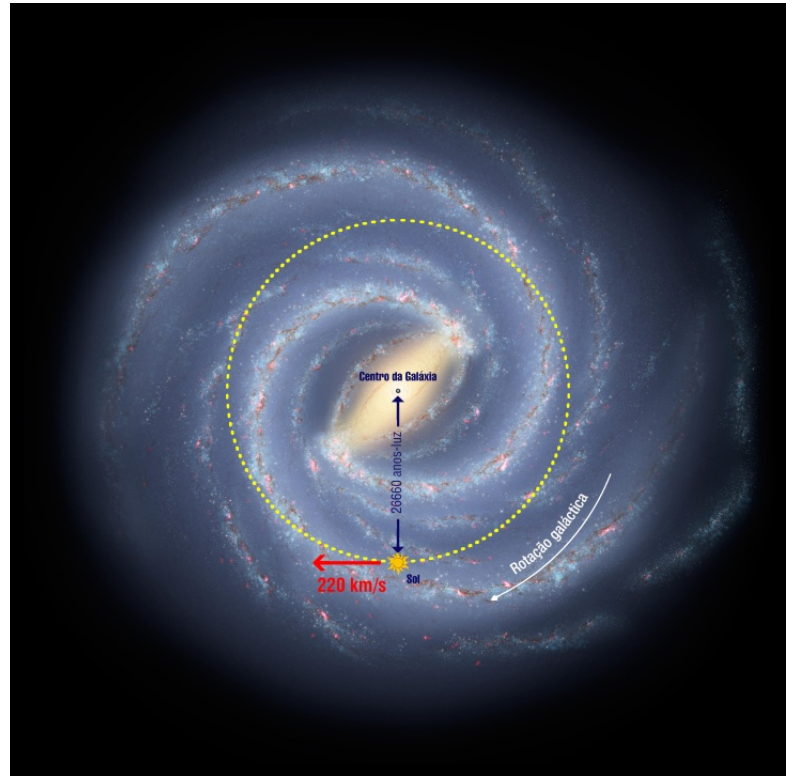
Aí você comenta com um amigo sobre isso. Seu amigo vai mais fundo e sugere que as estrelas não podem ser mais velhas que a Terra, e o planeta não deve ter mais de 10 mil anos. Essa conversa não adiantou, mas agora você se per-

gunta se o Sol é mais velho do que a Terra. Tem muita informação na internet, às vezes o que nos falta é tempo para organizá-la e tentar responder perguntas como essas. Então, vamos lá!

Falar da idade das estrelas é como começar uma viagem, tanto no espaço quanto no tempo. Nosso planeta está se movendo ao redor da nossa estrela, completando uma volta a cada 365 dias. Mas o Sol tampouco está parado, pois se move ao redor do centro da Via Láctea, a uma velocidade de 220 km/s... Você achava que o Sol estava parado? Ledo engano: O Sol e os planetas do Sistema Solar movem-se pelo plano da Galáxia, ao redor do seu centro. Um feixe de luz emitido desde esse centro demoraria 26660 anos para chegar até nós!

Mas o que significa essa velocidade de 220 km/s? No momento que você está lendo este texto, o Sol está passando por um lugar da sua órbita galáctica, que poderíamos identificar como um ponto de referência. A última vez que nosso sistema planetário passou pelo mesmo ponto foi há 240 milhões de anos, e o planeta Terra estava povoado pelos dinossauros! A história dos seres humanos é muito recente, tem menos de 1 milhão de anos. Por isso, sempre é complicado imaginarmos períodos de tempo muito longos. E os tempos das estrelas são longos demais!

A época dos dinossauros pare-



ce muito distante da nossa, mas houve uma vez anterior a essa, ainda mais remota no passado, em que a Terra passou “pelo mesmo ponto”, efetivamente 240 milhões antes... E então poderia ser interessante perguntar quantas voltas já deu o Sol (e seus planetas) ao redor do centro da Via Láctea. Se cada volta ao redor do Sol permite medir nosso aniversário, quantos “aniversários galácticos” já fez o Sol? Falando nisso, por que não responder primeiro: quantos “anos solares” tem a Terra?

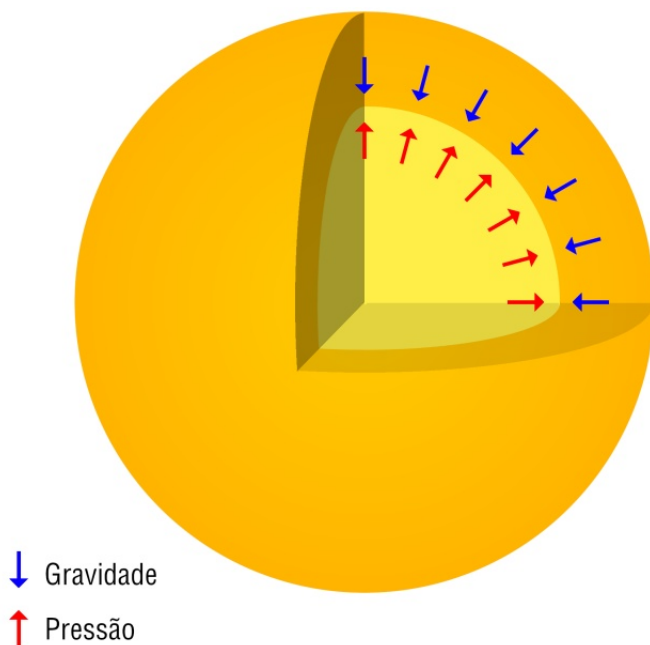
Durante séculos, a idade da Terra foi um tema pouco estudado. Em 1715 o astrônomo Edmund Halley foi o primeiro a propor um método para calcular a idade da Terra, sugerindo que o mar tinha se tornado salgado por acúmulo

Acima

Modelo simplificado da vista superior da Via Láctea, mostrando a posição do Sol, relativa ao centro da galáxia, a 26.6 mil anos-luz, a direção do movimento orbital, em sentido horário, e seu correspondente período orbital, de aproximadamente 240 milhões de anos-luz.

Página anterior

O Sol visto a partir da Estação Espacial Internacional (Crédito: NASA/Jack Fischer).

**Acima**

Supondo que uma estrela é uma esfera de gás estável, as forças que permitem esse equilíbrio são: a força devida à pressão do gás, cuja temperatura na região central é da ordem de 10 milhões de graus, e a força devida à gravidade. Para qualquer posição dentro da estrela estas forças serão iguais. Esta condição, denominada “equilíbrio hidrostático” permite determinar que uma estrela como o Sol manterá tal estabilidade durante uma escala de tempo da ordem de 30 milhões de anos. Tal escala será resultado da comparação da energia devida à força gravitacional, com a energia térmica emitida, por causa da pressão do gás.

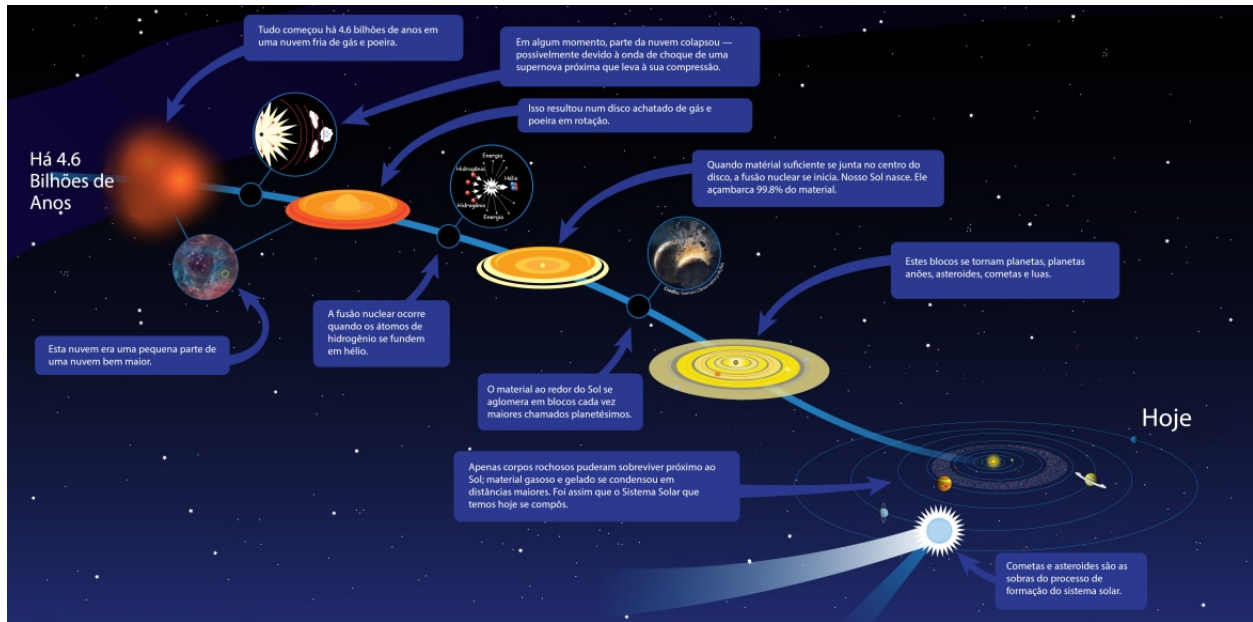
de sais oriundos dos rios. Em 1899 o cientista John Joly seguiu a sugestão de Halley e fez medidas da concentração de sódio em vários rios, chegando à conclusão de que os oceanos deviam ter pelo menos 90 milhões de anos. Esse foi o primeiro “relógio químico” usado para determinar a idade do nosso planeta.

Antes do Joly, o físico britânico William Thomson, também conhecido como Lord Kelvin, formulou em 1862 a hipótese de que a Terra foi uma bola muito quente no passado e foi esfriando até o estado atual. Estudando a temperatura em minas de carvão, calculou uma taxa de esfriamento para a Terra, segundo a qual sua idade devia estar entre 20 e 40 milhões de anos.

Poucos anos antes, o físico alemão Hermann von Helmholtz buscava explicar suas hipóteses so-

bre a origem do Sistema Solar. Particularmente, ele queria calcular a idade do Sol. Von Helmholtz imaginou que nossa estrela era uma bola de um gás espesso e muito quente, fortemente concentrado por conta da sua própria atração gravitacional, cujo brilho era devido à enorme compressão experimentada pelo gás. Com seu modelo, von Helmholtz calculou para o Sol uma idade de aproximadamente 22 milhões de anos. Os resultados de Kelvin e de von Helmholtz eram comparáveis, e permitiam estabelecer explicitamente a relação entre a idade da Terra com a idade do Sol.

Faz sentido pensar que a idade da Terra e a do Sol sejam comparáveis, certo? Desde a época de Immanuel Kant havia a ideia de que a origem do Sistema Solar partia de uma nuvem que durante muitos anos ia ficando cheia de condensações, com uma delas muito maior e muito mais quente que as demais. Todas essas condensações seriam crias do mesmo berço, todas teriam uma composição química parecida e a mesma idade. Esta ideia foi confirmada pelos trabalhos de Kelvin e von Helmholtz, e daí pra frente as descobertas sobre a idade do Sol e a idade da Terra foram vistas como complementares. No fim do século XIX houve também a descoberta da radioatividade, por Henri Becquerel, e este campo da Física traria novos métodos para determinar com maior precisão



a idade da Terra e do Sol.

Lembra da tabela periódica dos elementos químicos? Nela temos a série organizada dos átomos, começando pelo extremo superior esquerdo com o hidrogênio, cujo símbolo é H. A forma mais estável do H é um átomo composto por um núcleo que contém um próton, cuja carga elétrica é positiva, e um elétron se movendo ao redor desse núcleo, com carga negativa. Contudo, o hidrogênio tem mais duas formas possíveis na natureza, porém menos estáveis: há um H pesado cujo núcleo tem um nêutron, além do próton. O nêutron é uma partícula eletricamente neutra. Esta forma do átomo H se chama deutério. Há outro, digamos pesadão, chamado trítio, que além do próton, tem dois nêutrons!

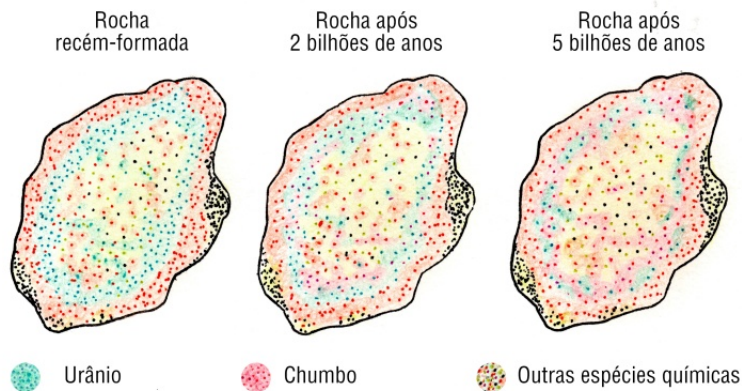
Quando observamos os elementos na tabela periódica, estamos vendo as espécies mais estáveis dos átomos, aquelas que podem

permanecer inalteradas por longo tempo. Espécies como o deutério e o trítio são conhecidas como isótopos do hidrogênio. Cada elemento da tabela periódica possui vários isótopos, ou seja, várias formas do núcleo, menos estáveis, que diferem no número de prótons para um mesmo átomo.

O hidrogênio é o elemento mais abundante de todos. Foi criado bem no comecinho do Universo, quando ainda nem havia estrelas ou galáxias! Sabemos que existem ao redor de 92 elementos químicos que podem ser encontrados na natureza, e cada um tem lá sua família de isótopos. Particularmente, há uns elementos que poderíamos chamar “grandes”, no sentido de terem núcleos com muitos prótons e nêutrons. Quando os físicos pesquisaram as propriedades dos átomos nos laboratórios, descobriram que os elétrons, as partículas mais externas dos á-

Acima

O modelo teórico mais aceito sobre a formação do Sistema Solar sugere que este se formou a partir de uma nuvem de gás e poeira com hidrocarbonetos e outros materiais como silicatos (Crédito: NASA).



Acima

Esquema do enriquecimento de Chumbo 206 por decaimento de Urânio 238 em um fragmento rochoso. O método de datação de fragmentos rochosos desenvolvido por Clair Patterson usa a estimativa da abundância de Chumbo 206 na amostra sólida, tomando como referência a abundância de Urânio 238 em outras amostras, e comparando com as previsões de concentração do Chumbo 206 fornecidas pelo modelo de decaimento espontâneo do Urânio.

tomos, são muito leves, comparados às partículas nucleares.

Um desses átomos grandes é o urânio, cujo símbolo é U e cujo isótopo mais estável é o urânio 238, que possui 92 prótons e 146 nêutrons. Em 1896 o francês Becquerel descobriu que os sais deste elemento emitiam espontaneamente uma radiação que afetava placas fotográficas. Já que ninguém tinha alterado os sais, essa radiação devia ser espontânea, própria do material. Para explicar a origem de tal radiação, cientistas como Marie e Pierre Curie perceberam em 1898 que o átomo de rádio, com 88 prótons e 138 nêutrons, também emitiam uma radiação mais intensa que a do urânio. Ernest Rutherford e Frederick Soddy propuseram em 1902 que átomos como U e Ra experimentam um processo de desintegração.

Para uma quantidade inicial de elemento, depois de certo tempo, o número de prótons e nêutrons se altera espontaneamente. Assim, uma parte do elemento inicial se transforma em uma proporção de

material na forma do seu seguinte isótopo mais estável, junto com uma emissão de radiação. Este processo vai aumentar a proporção de um isótopo secundário com respeito à quantidade inicial de isótopo primário, representando assim uma transformação espontânea entre elementos químicos, cuja taxa de ocorrência permite medir a passagem do tempo! O famoso carbono 14, um isótopo do carbono 12 que está presente na atmosfera, começa a diminuir no corpo de um ser vivo no momento da sua morte. Trata-se de um relógio químico usual para datar restos de organismos, válido para períodos de até 70 mil anos.

Para a datação de amostras de rochas que se formaram e solidificaram em um período de até 4,5 bilhões de anos foram implementadas análises da transformação radioativa do isótopo do urânio 238 em chumbo 206. Esse decaimento acontece através de uma série de processos tais que a quantidade inicial do ^{238}U se reduz à metade em um período de aproximadamente 4,5 bilhões de anos. Ao longo desse período será liberada radiação e serão produzidos isótopos instáveis de outras espécies, até alcançar o isótopo mais estável, no caso ^{206}Pb .

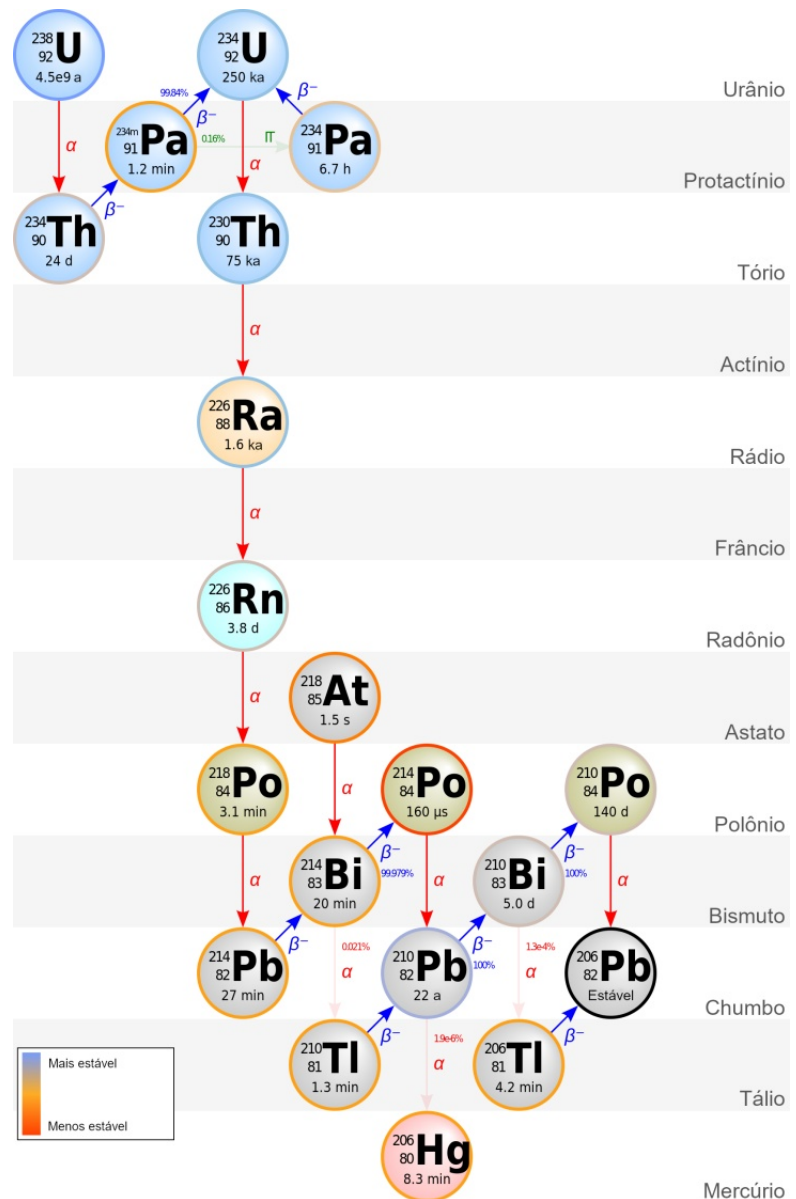
Analisando o conteúdo de chumbo em cristais de zircônio oriundos do meteorito Canyon Diablo, o geoquímico estadunidense Clair Patterson obteve, em 1955, uma idade de 4,55 bilhões de anos pa-

ra esse fragmento do Sistema Solar. A Terra então é uma senhora muito velha, tão velha quanto a estrela que ela orbita, o Sol.

A possibilidade de receber de tempos em tempos uma amostra de material do Sistema Solar tem permitido confirmar essa idade várias vezes. Ótimo... Mas, e a idade das outras estrelas, hein? A estrela mais próxima do Sol é Proxima Centauri, sua luz demora quase 5 anos em chegar até nós, então seria pouco provável receber um meteorito de brinde, oriundo desta estrela. Não teríamos como fazer medidas de concentração de chumbo para fazer datação. Então a resposta deverá ser buscada na única coisa que recebemos das estrelas mais distantes que o Sol: sua luz.

Poderíamos pensar que o Sol é o protótipo para comparar e estudar a idade das outras estrelas? Os astrônomos e astrônomas do fim do século XIX se faziam perguntas como essas. Quando observamos um céu cheio de estrelas, vemos algumas mais brilhantes, como a estrela Sirius do Cão Maior, com uma cor meio azul, meio branca; vemos outras meio avermelhadas, como a estrela Antares de Escorpião.

Concluir que todas as estrelas do céu fossem objetos da mesma natureza, diferentes apenas pela quantidade de massa, pelo tamanho ou pela idade foi o grande logro dos astrônomos e astrônomas das primeiras décadas do século



XX. Estudando sobre a relação entre a quantidade de massa e a idade das estrelas, você vai encontrar um fato muito bizarro: as estrelas que têm 8 ou mais vezes a massa do Sol estão condenadas a “morrer” prematuramente, em menos de um bilhão de anos, enquanto que as estrelas que têm menos massa que o Sol poderão viver bilhões de anos. Tem mais

Acima
Série de decaimentos do Urânio 238 até o Chumbo 206. As setas vermelhas correspondem à liberação de emissão alfa, as setas azuis, à emissão beta. Abaixo do símbolo de cada núcleo, se encontra o tempo de vida médio antes da desintegração (Crédito: WikiCommons).



Acima

A cratera Berringer (chamada antigamente de Canyon Diablo), originada pela colisão de um pequeno asteroide com a Terra há aproximadamente 49 mil anos. A cratera tem 1.2 km de diâmetro e profundidade de 170 m. O evento aconteceu no atual estado do Arizona, nos Estados Unidos. Na pequena imagem inserida no canto superior esquerdo, vê-se um fragmento do meteorito Canyon Diablo, parte do asteroide que criou a cratera Berringer (Crédito: USGS/D. Roddy; Geoffrey Notkin).

massa, então vive pouco tempo?

Dizem que todos somos feitos de poeira estelar. Mas como chegou até aqui toda essa poeira, da qual supostamente estamos feitos? Para responder essas perguntas precisamos conhecer mais sobre a vida das estrelas, mas com certeza, saber como foi determinada a idade do Sol e da Terra é um passo inicial para tentar chegar nas respostas. Muitas pessoas estão correndo atrás delas. Quem sabe, você entrando nessa corrida, contribua para essa empreitada cósmica •

*Vladimir Jearim Peña
Univ. Fed. do Rio de Janeiro
vladimirjearim05@gmail.com*

Seu conhecimento em dados e analytics

facilitando o dia a dia de mais de **60 milhões de pessoas**

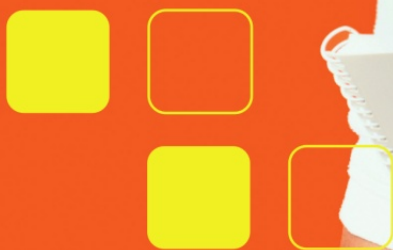


O Itaú acredita no poder do conhecimento e da diversidade para o desenvolvimento de produtos e serviços que atendam a sociedade brasileira.

Faça parte do nosso time e vamos construir juntos a melhor experiência para todas as pessoas.



Conheça a Tecnologia do Itaú





A Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica 2022

Conheça os números e estatísticas de uma das mais conhecidas olimpíadas do conhecimento realizada no Brasil.

A Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) é uma competição nacional, apoiada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) em parceria com a Agência Espacial Brasileira (AEB), que acontece anualmente em uma única fase. Ela é uma das maiores

olimpíadas de conhecimento do Brasil e é uma competição que envolve escolas públicas e particulares.

Sua primeira edição (I OBA) aconteceu em 1998, contando com a participação de alunos de apenas 21 escolas. Neste ano de 2022, a XXV OBA contou com a participação de alunos de 12359 escolas de todo o Brasil.

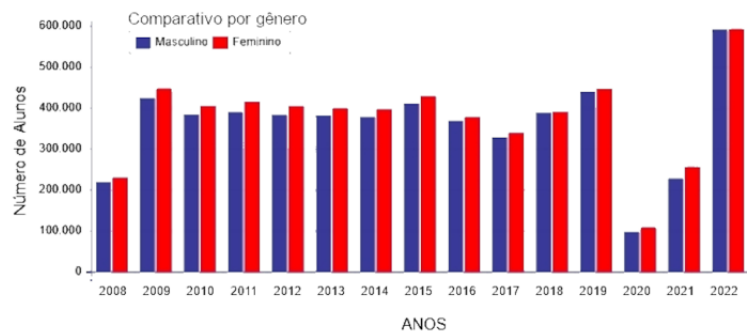
A OBA tem por objetivos fomentar o interesse dos jovens pela Astronomia, Astronáutica e ciências afins, promover a difusão dos conhecimentos básicos de uma forma lúdica e cooperativa, mobilizando num mutirão nacional, além dos próprios alunos, seus professores, coordenadores pedagógicos, diretores, pais e escolas, planetários, observatórios municipais e particulares, espaços, centros e museus de ciências, associações e clubes de Astronomia, astrônomos profissionais e amadores, e instituições voltadas às atividades aeroespaciais.

Durante o período de formação básica dos alunos a OBA aparece como uma ferramenta efetiva na difusão dos elementos pertinentes à Astronomia, auxiliando o professor como um recurso pedagógico.

Para contribuir com a formação e atualização dos professores responsáveis pelo ensino dos conteúdos de astronomia no ensino médio e fundamental, no site da OBA é possível encontrar propostas de atividades práticas para a sala de aula.

No site encontramos, também, o link para o canal da OBA no YouTube, onde são disponibilizados aulas e cursos específicos para a formação dos professores, propondo novas metodologias para o ensino de Astronomia.

A divulgação da competição e de seu regulamento, entre diretores de escolas, Secretários Muni-



cipais de Educação, Dirigentes Regionais de Educação e Secretários Estaduais de Educação, se inicia em dezembro do ano anterior à competição. Desta forma, de janeiro a maio são recebidas as inscrições de novas escolas e, em meados de maio, é realizada a prova nacional.

Neste ano as inscrições foram até o dia 1º de maio e a prova nacional aplicada no dia 20 de maio.

O fato de se concluir inteiramente

Página ao lado
Última prova teórica presencial da seletiva nacional, realizada em 2019, em Barra do Pirai (RJ), antes do início da pandemia de Covid-19.

Acima
Estatística do número de participantes da OBA por ano e por gênero.

Para saber mais

Site da OBA
www.oba.com.br

Canal da OBA
<https://www.youtube.com/obaoficial>

UF	Total de Participantes	%
SP	311557	26,37
CE	188944	15,99
MG	80651	6,83
PE	64165	5,43
PI	55573	4,70
SC	52616	4,45
MA	51346	4,35
PA	42775	3,62
PR	40483	3,43
BA	39024	3,30
RJ	34278	2,90
ES	30174	2,55
AL	26185	2,22
RN	23106	1,96
GO	22772	1,93
PB	21624	1,83
MT	20863	1,77
AP	18356	1,55
RS	17829	1,51
DF	11565	0,98
MS	7636	0,65
SE	6012	0,51
RO	4466	0,38
TO	4343	0,37
AM	3075	0,26
AC	1679	0,14
RR	420	0,04

Acima

Distribuição regional de participantes da XXV OBA.

Abaixo

Telescópios usados no treinamento das equipes internacionais, em Vinhedo (SP), em 2018.



te a OBA dentro de um ano letivo permite que alunos e professores recebam seus certificados e medalhas e que suas escolas organizem suas cerimônias de premiações ainda no mesmo ano.

Sobre isso, a OBA incentiva a realização destas cerimônias para a entrega das medalhas e certificados com a presença dos alunos, professores, pais, autoridades, imprensa, rádio, TV, etc., de forma a valorizar ainda mais cada medalha recebida.

Um exemplo disso aconteceu recentemente, no último 17 de novembro, em Maricá (RJ), quando a Secretaria de Educação e a Secretaria Municipal de Ciência, Tecnologia e Comunicações deste município promoveram um evento para a entrega de 52 medalhas (9 de ouro, 24 de prata e 19 de bronze), referentes às premiações de 2021 e 2022.

Veremos a seguir os números referentes à serie histórica da OBA

e da sua edição mais recente, a XXV OBA.

Participação anual dos alunos na OBA (2008-2022)

O número total de alunos participantes entre 2009 e 2019 oscilou em torno do patamar dos 800 mil alunos. Notadamente a chegada da pandemia de COVID-19 fez este patamar “despençar” para 203627 participantes.

Nos dois anos seguintes, com o maior controle da pandemia, o número de alunos participantes cresceu rapidamente e, neste ano, a participação foi recorde: 1181517 alunos!

Destes, 91.5% (1081088 alunos) estudam na área urbana e 8.5% (100429 alunos) estudam na área rural.

Participação anual dos alunos na OBA, por gênero (2008-2022)

O número de meninas que participam da OBA sempre foi ligeiramente superior ao número de meninos. Nesta XXV OBA, este número chegou quase ao empate: 50.1% (591123) para as meninas e 49.9% (590393) para os meninos.

Distribuições estaduais de alunos participantes da XXV OBA

Alunos de todos os estados do Brasil, incluindo o DF, fizeram a prova nacional. A diversidade na

densidade demográfica, ao longo do território nacional, se reflete no número de alunos participantes de cada estado.

Veremos, mais adiante, que esta distribuição também se reflete no número de medalhas obtidas pelos três principais estados participantes da OBA (SP, CE e MG).

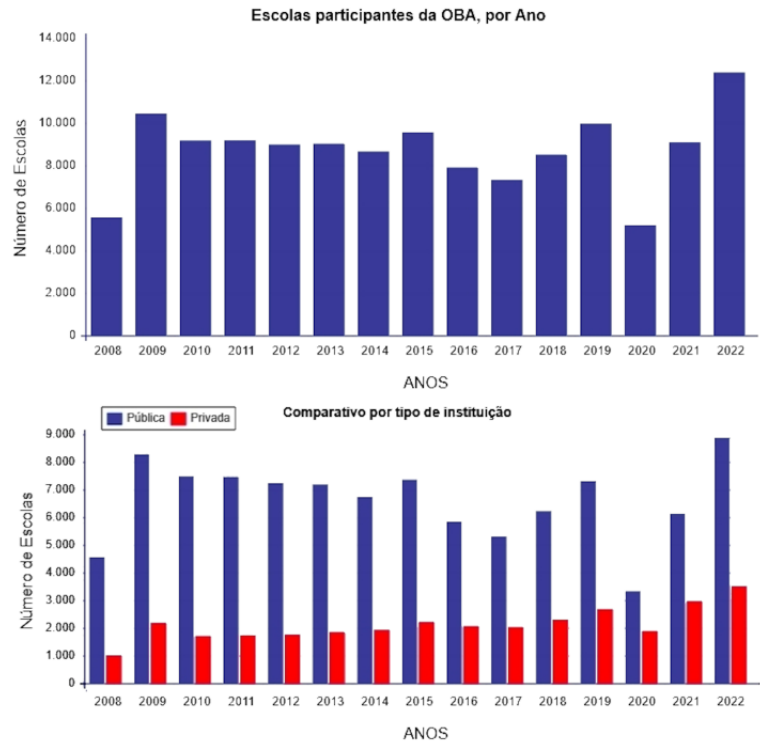
Participação anual das escolas participantes da OBA (2008-2022)

A XXV OBA teve uma participação recorde de escolas: 12359. A Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica desde sua fundação sempre esteve aberta à participação dos alunos de escolas públicas e privadas, uma vez que é de fundamental importância não excluir nenhum aluno do processo. Nossas estatísticas mostram que a participação das escolas públicas supera, em muito, a participação das escolas privadas.

Na XXV OBA, a participação de escolas públicas foi de 71.7% (8865) e de escolas privadas foi de 28.9% (3494). Entre as escolas públicas, 81.5% (7222) foram escolas urbanas e 18.5% (1643), rurais. Entre as escolas particulares, 99.4% (3473) foram escolas urbanas e 0,6% (21), rurais.

Medalhas distribuídas na XXV OBA

Medalha é algo que todos gostam de receber e o efeito que ela pode gerar sobre quem a recebe



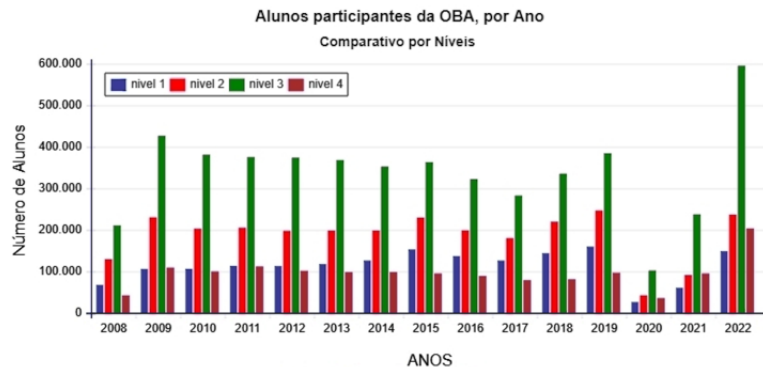
certamente não pode ser medido, mas com certeza é muito positivo.

Em 2022 foram distribuídas um total de 56860 medalhas divididas proporcionalmente entre os quatro níveis de participantes da OBA, a saber:

- Nível 1: Destinada aos alunos do 1º ao 3º ano do Ensino Fundamental.
- Nível 2: Destinada aos alunos do 4º ao 5º ano do Ensino Funda-

Acima
Número de escolas participantes da OBA entre 2008 e 2022.

Abaixo
Comparativo do número de participantes por nível escolar.



UF	Total de Medalhas	%
SP	18298	32,18
CE	8238	14,49
MG	4656	8,19
PR	3545	6,23
SC	2768	4,87
PE	2489	4,38
PI	2154	3,79
RJ	1864	3,28
ES	1603	2,82
BA	1351	2,38
PA	1248	2,19
MA	1132	1,99
RS	1066	1,87
RN	964	1,70
GO	946	1,66
DF	875	1,54
AL	834	1,47
PB	748	1,32
MT	536	0,94
AM	438	0,77
MS	397	0,70
SE	335	0,59
RO	113	0,20
TO	105	0,18
AP	85	0,15
AC	58	0,10
RR	14	0,02

Acima
Distribuição de medalhas da XXV por estado.

Abaixo
Intervalo de notas para a obtenção das medalhas, em cada nível escolar.

Nível	Medalha de Ouro	Medalha de Prata	Medalha de Bronze
1	9,75 ≤ Nota ≤ 10,0	9,50 ≤ Nota < 9,75	9,25 ≤ Nota < 9,50
2	8,80 ≤ Nota ≤ 10,0	7,80 ≤ Nota < 8,80	7,00 ≤ Nota < 7,80
3	8,80 ≤ Nota ≤ 10,0	8,20 ≤ Nota < 8,80	7,40 ≤ Nota < 8,20
4	8,80 ≤ Nota ≤ 10,0	7,55 ≤ Nota < 8,80	6,60 ≤ Nota < 7,55

mental.

- Nível 3: Destinada aos alunos do 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental.
- Nível 4: Destinada aos alunos de qualquer série ou ano do Ensino Médio

Apesar de parecer um número expressivo, ele representou, apenas, cerca de 5% dos participantes da XXV OBA. Mesmo assim, dentre as olimpíadas de conhecimento aplicadas no Brasil, a OBA é, sem dúvida, a que mais distribui medalhas.

Distribuições de medalhas

A tabela a seguir mostra os intervalos de notas para obtenção de medalhas de ouro, prata e bronze, nos níveis 1, 2, 3 e 4 da OBA de 2022. O total de medalhas em cada nível segue, aproximadamente, a proporção de alunos presentes em cada nível.

Distribuição de participantes por nível (2008-2022)

Na distribuição dos alunos por nível, em todo o Brasil, é possível ver que o nível 3 (destinado aos alunos do 6º ao 9º ano do Ensino Fundamental) é o que possui mais participantes, seguido pelo nível 2 (destinada aos alunos do 4º ao 5º ano do Ensino Fundamental).

Distribuição de medalhas por estado

Ao lado esquerdo, vemos a distribuição total de medalhas, por estado, da XXV OBA, e seu percentual relativo. O número de medalhas distribuídas segue, a princípio, o percentual de participantes de cada estado. Os três principais estados participantes (SP, CE e MG), representam mais de 50% de todas as medalhas distribuídas.

Distribuição de medalhas por região do Brasil

São Paulo e Minas Gerais são os estados responsáveis por fazer a Região Sudeste “levar” quase 50% de todas as medalhas distribuídas em 2022. Na Região Nordeste, Ceará, Pernambuco e Piauí colocaram a região no segundo lugar na distribuição de medalhas.

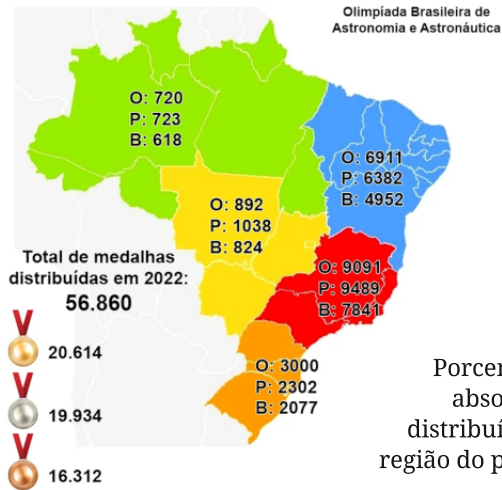
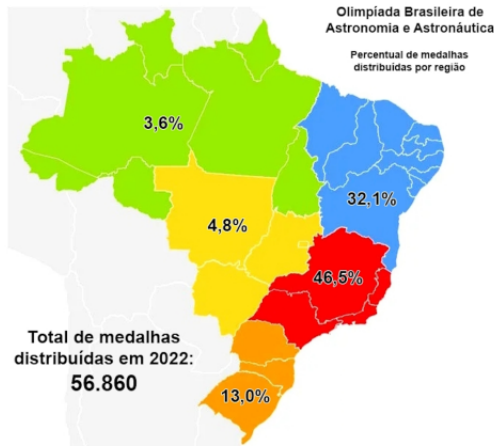
Distribuição de medalhas por gênero

Como foi dito anteriormente, a participação de alunos masculinos e femininos na XXV OBA ficou praticamente empatado em 2022: 591123 meninas versus 590393 meninos.

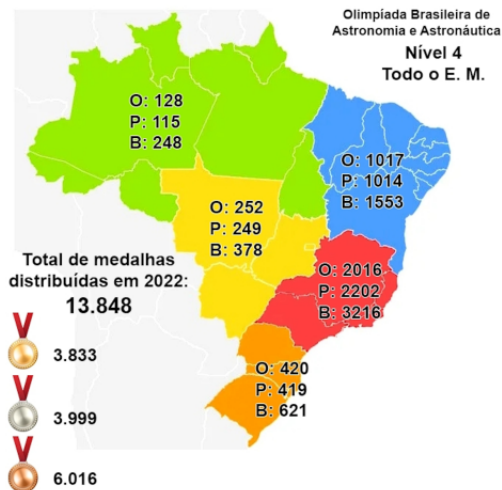
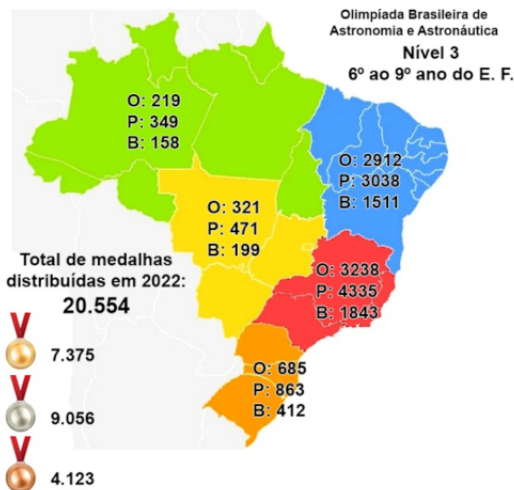
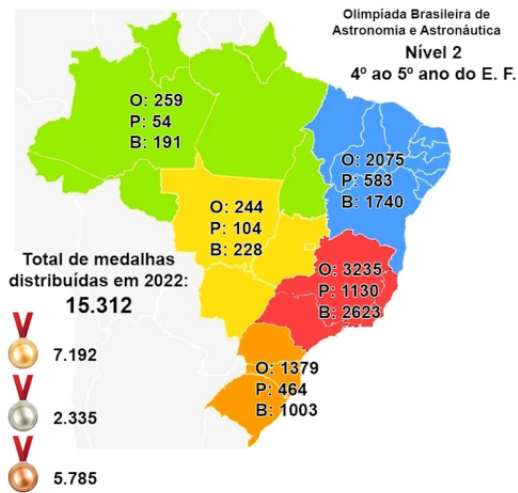
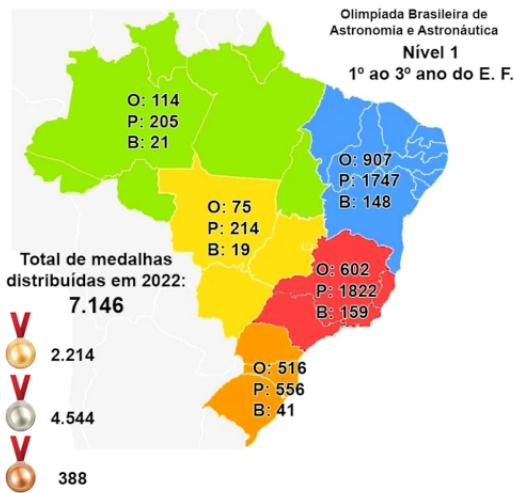
Distribuição de medalhas por nível e por gênero

Subdividindo os alunos em níveis, temos:

- Masculino:
- N1 – 74736 (50.4%)
 - N2 – 119468 (50.6%)
 - N3 – 297184 (50%)
 - N4 – 99005 (48.8%)



Ao lado
Porcentagem e número
absoluto de medalhas
distribuídas pela OBA por
região do país e por nível de
participação.





Acima

Observação do céu, uma das atividades desenvolvidas pela equipe da OBA.

Abaixo

Treinamento das equipes selecionadas para as provas internacionais.

Feminino:

- N1 – 73690 (49.6%)
- N2 – 119454 (49.4%)
- N3 – 297242 (50%)
- N4 – 103737 (51.2%)

Os mapas na página anterior mostram a distribuição de medalhas por região e por nível de par-



ticipação na XXV OBA.

A distribuição de medalhas da XXV OBA por região mostra que a Região Sudeste lidera em número de medalhas nos níveis 2, 3 e 4, sendo ultrapassada pela região Nordeste apenas no nível 1.

Considerações finais

Não há dúvidas de que a OBA está fazendo um excelente trabalho de divulgação e de incentivo aos estudos de astronomia e de astronáutica. Para o aluno participar da OBA ele, em geral se prepara e/ou é preparado pelos seus professores, e com isso está aprendendo mais astronomia. Todos alunos recebem um certificado de participação, pronto para ser entregue aos mesmos, assim como os professores, diretores e escolas envolvidas no processo.

As medalhas distribuídas certamente motivam os alunos a continuarem participando, cada vez melhor preparados. Também selecionamos num longo processo de triagem e treinamento, duas equipes que representam o Brasil em Olimpíadas Internacionais de Astronomia, Astrofísica e Astronáutica, de onde voltam, em geral, com medalhas, o que atesta a qualidade da preparação desses alunos, realizada com a colaboração de muitos astrônomos membros da SAB. Além disso temos dois planetários digitais portáteis que propiciam a visita de cerca de 25000 alunos por ano.

Em geral, por ano fazemos de



Ao lado
Oficina para formação de professores, oferecida pela equipe da OBA no 77.º Encontro Regional de Ensino de Astronomia, em Jericoacoara (CE), em abril de 2019.

dois a quatro Encontros Regionais de Ensino de Astronomia, EREA, na qual trabalhamos a formação dos professores.

Dentro da OBA também temos a Mostra Brasileira de Foguetes, da qual, em 2022, participaram 187 mil alunos, numa atividade para a qual também distribuimos medalhas e que se mostra extremamente atraente aos alunos, pois colocam a ciência em prática.

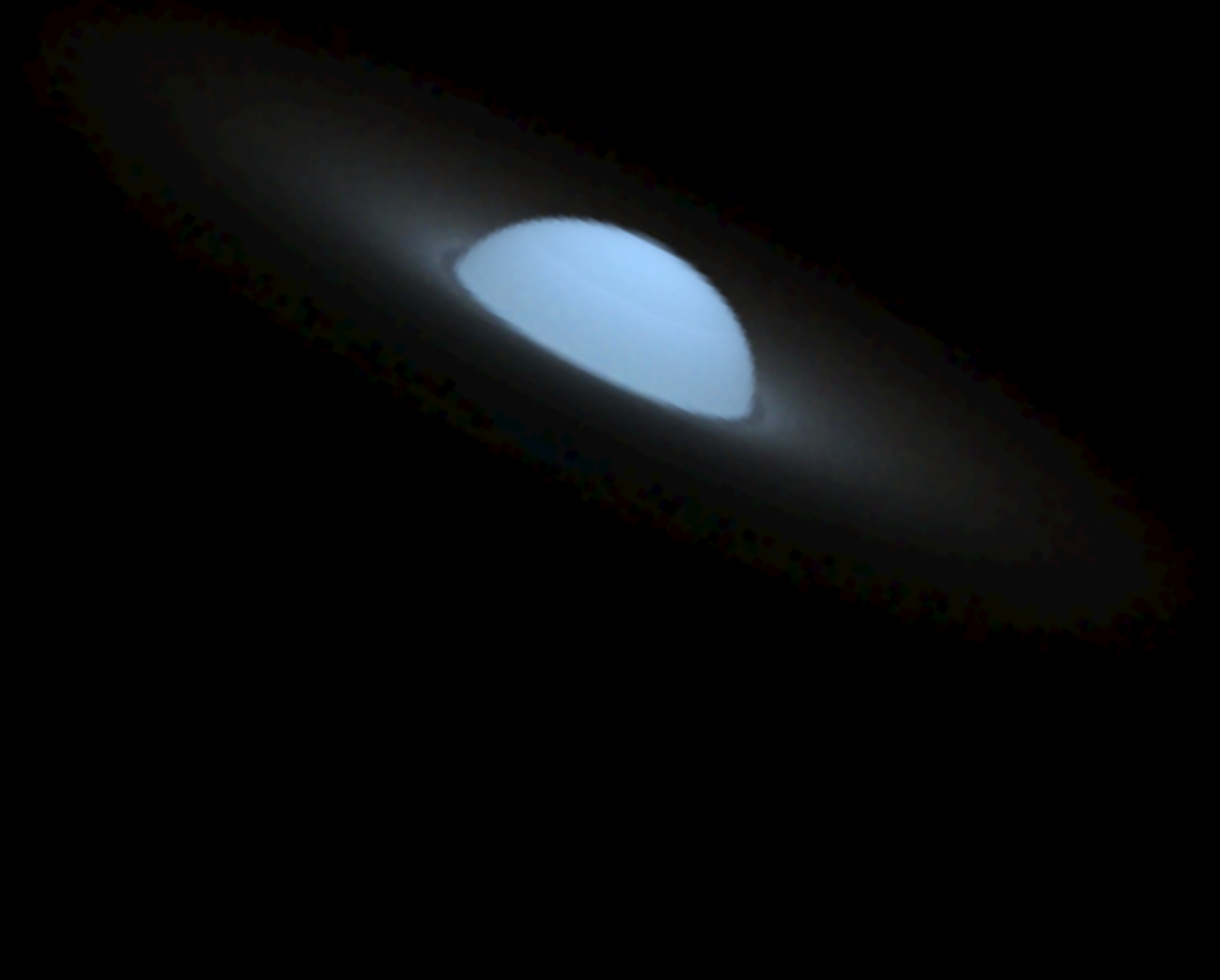
Em 2021, a OBA distribuiu 99 bolsas de Iniciação Científica Jr., da sua cota do CNPq, entre seus medalhistas de melhor desempenho e, em 2022, o número de bolsas foi ampliado para 200.

Além disso, qualquer medalhista da OBA, e também de outras 12 olimpíadas apoiadas pelo MCTI, cujas famílias sejam beneficiárias do Auxílio Brasil, também podem ganhar uma bolsa de Iniciação Científica Jr. por um ano, em um programa do Ministério da Cidadania em parceria com o MCTI. Os bolsistas ligados à OBA representam 85% desse total •

Eugênio Reis Neto
OBA/MCTI
eug.reis@gmail.com

Estrelas Be

Estrelas formadas a partir da interação com uma estrela binária e que giram tão rápido a ponto de regurgitarem parte da sua massa, formando um disco ao seu redor. Conheça o fascinante fenômeno das estrelas Be.



No panteão cósmico, as estrelas ocupam um lugar privilegiado: grandes esferas brilhantes de gás, tão distantes que parecem pequenos pontos no céu. Séries e filmes da cultura pop têm há muito tempo especulado sobre os mistérios que as cercam, colocan-

do esses corpos em um lugar especial no imaginário humano pelos segredos que eles guardam.

E se existissem membros dessa família estelar com tantas peculiaridades que, talvez, fossem difíceis de serem concebidas até pelos maiores nomes da ficção? E se essas estrelas possuíssem dis-



cos ao seu redor formados pela matéria expelida da própria estrela central num processo de ejeção e reabsorção? E se essas estrelas girassem tão rápido que estivessem no limite de se dividir? Esses astros estranhos existem: são as estrelas Be!

As estrelas Be giram muito rapidamente; algumas atingem velocidades próximas do limite crítico, na qual um astro estelar começa a se fracionar.

Essa condição especial lhes impõem características singulares que afetam seu formato — tornando-o oblato/achatado, como uma abóbora —, sua temperatura — elas se tornam mais frias no equa-

dor do que nos polos —, sua estrutura interior e até mesmo sua evolução. Estas características tornam sua aparência muito diferente da imagem usual que temos de uma estrela, além de abrir um leque de questionamentos sobre elas.

O leitor pode se perguntar: sendo objetos tão estranhos e tão peculiares, seriam eles incomuns ou raros? Surpreendentemente, a resposta é *não*; elas são estrelas muito comuns em alguns ambientes, e até mesmo na vizinhança solar. Entre as 5000–6000 estrelas visíveis a olho nu (em um céu ideal), por volta de 175 são estrelas Be, sendo que a mais brilhante delas,

Acima

Conjunto de estrelas conhecido como Plêiades. Quatro, dentre as suas nove mais brilhantes, são estrelas Be. (Crédito: NASA, ESA, AURA/Caltech, Palomar Observatory).

Na página anterior

Representação de uma estrela Be com disco (Crédito: Maria F. Camacho).

Achernar, é a nona estrela mais brilhante do céu noturno.

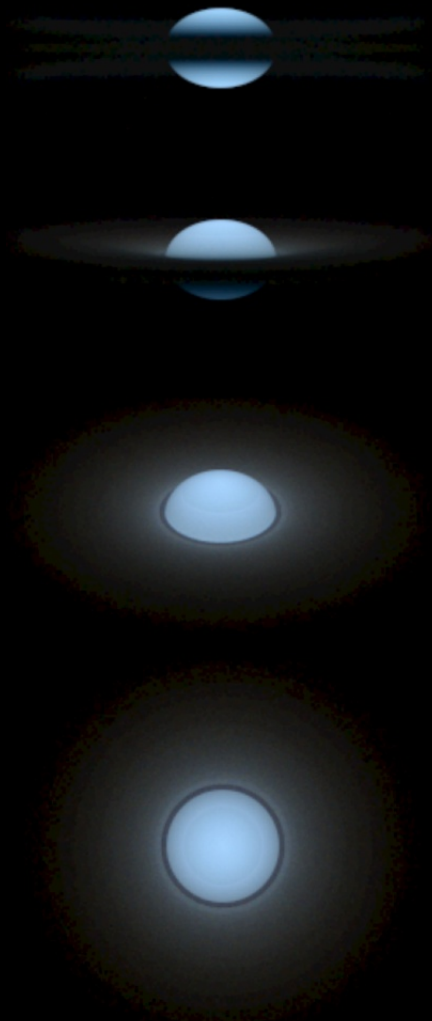
Por serem estrelas massivas — tipicamente com 3 a 20 vezes a massa do Sol —, elas estão normalmente associadas a aglomerados jovens, como as famosas Plêiades, das quais, dentre as 9 estrelas mais brilhantes, 4 são estrelas Be.

Na verdade, as Be representam cerca de 10–30% da população de estrelas do tipo B — que são estrelas quentes, com temperaturas que variam entre 10000 e 30000 K. Em alguns aglomerados jovens a fração de estrelas Be pode atingir até 50%.

As estrelas Be são altamente variáveis. Observa-se essa variação principalmente no brilho (ou fluxo) integrado e em seu espectro, que é caracterizado pelas linhas espectrais em emissão (daí o "e" em seu nome). São várias as causas desta variabilidade, mas a mais importante — e espetacular — são seus discos, estruturas alimentadas periodicamente por matéria ejetada pela própria estrela.

Estes discos são estruturas gasosas muito quentes (as temperaturas podem passar de 20000 K) que crescem quando a estrela está ativamente perdendo massa, podendo, em poucos meses, ficar tão grandes quanto o nosso Sistema Solar.

Quando com um disco, uma estrela Be ficará tipicamente mais brilhante e com linhas de emissão muito intensas.



Ao lado, coluna direita
Estrela Be observada sob diversos ângulos (Crédito: Maria F. Camacho).

Muitas estrelas Be sustentam seus discos por longos períodos (por ex., a estrela β Canis Minoris sempre apresentou um disco, desde que começou a ser observada há quase cem anos). Entretanto, tais estrelas estáveis são a exceção: o mais frequente é que o processo que alimenta o disco deixe de operar (também por causas ainda não conhecidas) e que o disco se dissipe lentamente por um pro-

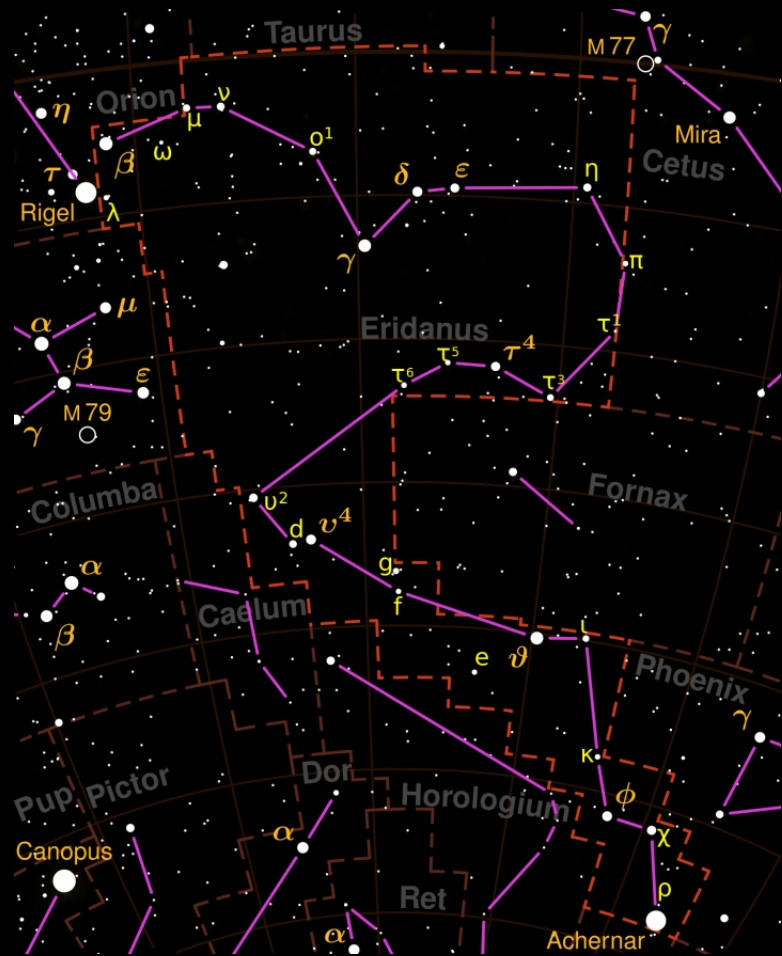
cesso conhecido como difusão viscosa (pode parecer algo muito específico, mas a difusão viscosa faz parte de vários sistemas astrofísicos — sem ela, estrelas e planetas provavelmente não existiriam).

O que faz de uma Be ser o que é?

Depreende-se pelo acima que, para ser uma estrela Be, dois ingredientes são necessários: a estrela precisa apresentar alta taxa de rotação e a habilidade de ejetar matéria em quantidade suficiente para formar o disco. Com base nisso, duas questões se apresentam: como estas estrelas adquirem sua alta rotação e que mecanismo é esse que alimenta seus discos?

Vamos começar pelo segundo ponto. Discos são estruturas que podem ser encontradas em vários contextos astrofísicos: existem discos protoplanetários que resultarão na formação de sistemas planetários como o nosso Sistema Solar, discos de acreção de matéria no entorno de buracos negros, discos em sistemas binários envolvendo objetos compactos, discos de matéria orbitando planetas, que popularmente chamamos de anéis (como é famosamente associado ao planeta Saturno), entre muitos outros exemplos.

Normalmente, o que regula a densidade destes discos é um processo conhecido como acreção (ou acréscimo), em que a matéria externa ao objeto em questão espí-



rala em direção ao centro como resultado da atração gravitacional. No entanto, quando se trata dos discos presentes nas estrelas Be, está envolvido um fenômeno bastante curioso: a decreção de matéria. Basicamente, trata-se de um processo reverso, no qual a estrela desempenha um papel de fonte de matéria, e seus discos crescem de dentro para fora. Até o momento, estrelas Be são os únicos sistemas astrofísicos conhecidos que possuem um disco de decreção.

Entretanto, o mecanismo (ou mecanismos) que fazem com que a

Acima
Localização de Achernar, no extremo austral da constelação de Eridano. Achernar é a estrela Be mais brilhante do nosso céu (Crédito: Torsten Bronger/WikiCommons).

estrela perca massa em quantidade suficiente para alimentar o disco ainda são pouco conhecidos. Sabe-se que a alta rotação da estrela desempenha um papel importante, e foi proposto que pulsações estelares — abundantes neste tipo de estrelas — dão o "empurrãozinho" que falta para a matéria entrar em órbita. Esta é uma área de investigação ativa no campo de estrelas Be.

Uma estrela complexa, um sistema ainda mais complexo

A outra questão em aberto sobre a origem das estrelas Be é como elas adquiriram sua altíssima taxa de rotação. Uma possível resposta a esta questão tem se apresentado recentemente na literatura científica, sugerindo que, curiosamente, as estrelas Be não poderiam fazer isso sozinhas e precisam da ajuda de uma outra estrela. Em outras palavras, é pos-

sível que estrelas Be só possam existir em sistemas binários.

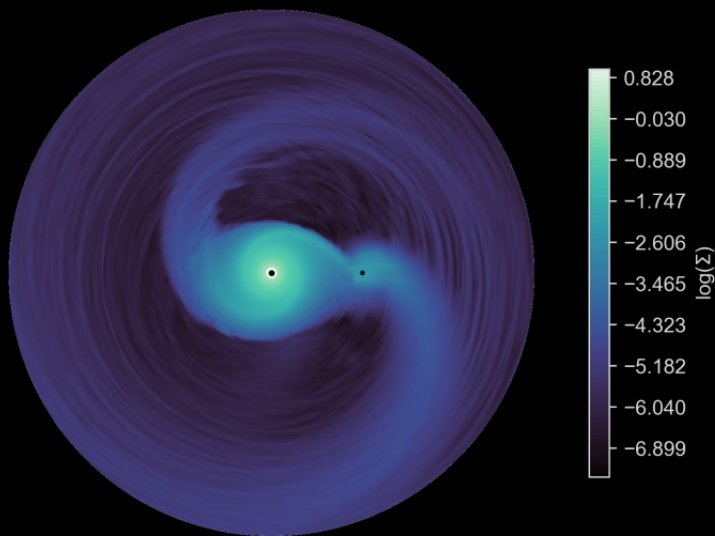
Como isto funciona? Imagine duas estrelas massivas orbitando uma em torno da outra. A estrela com massa mais alta vai evoluir mais rápido e tornar-se uma gigante vermelha. Quando isso acontece, a estrela de massa menor pode — dependendo de como o sistema estiver estruturado — começar a roubar massa da estrela maior. Com essa massa vem também o momento angular, e assim, ao longo deste processo, a estrela que tinha menor massa vai ficando mais massiva e passa a girar mais rapidamente, tornando-se, assim, uma estrela Be.

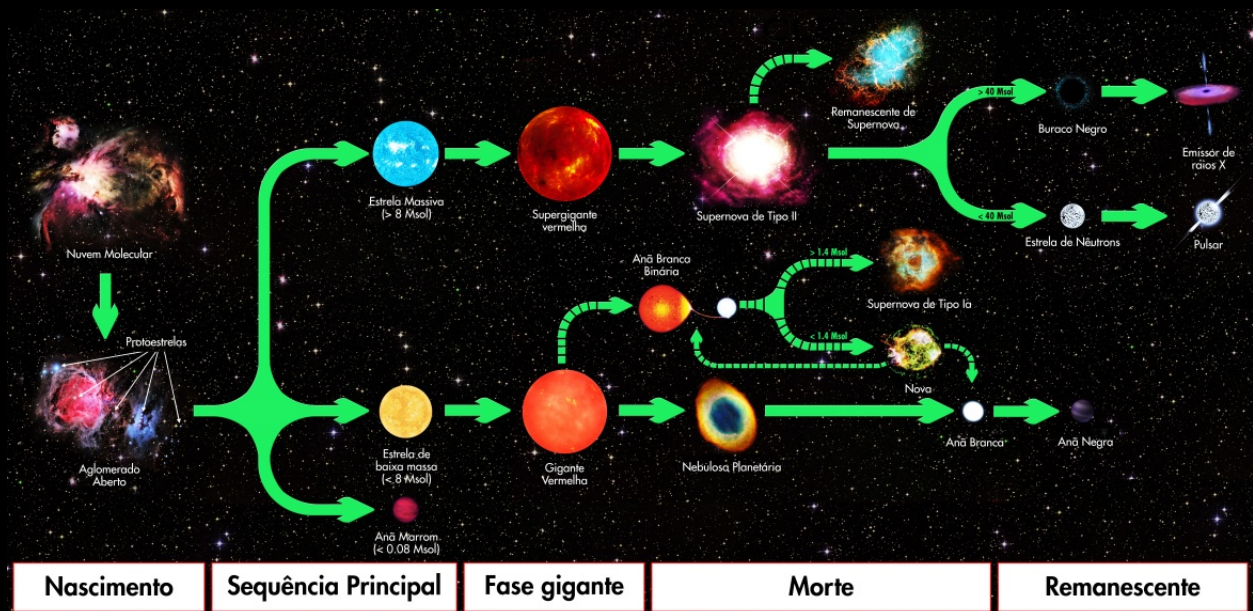
Por estarem em sistemas binários, os discos de estrelas Be se estruturam de forma fascinante. A simulação computacional ao lado descreve como uma estrela companheira — mostrada como um pontinho preto à direita da estrela central — perturba o disco através de sua gravidade, causando o aparecimento de braços espirais parecidos com os que vemos em galáxias espirais como a nossa Via Láctea.

Um exemplo particularmente interessante é Plêione, a sétima estrela mais brilhante das Plêiades, que se encontra em um sistema binário com diversas propriedades inusitadas — muitas delas causadas pelo seu disco diferenciado. Essa estrela Be alterna entre diferentes fases devido às mudanças em seu disco de de-

Abaixo

Simulação de um sistema binário de estrelas Be. No centro a estrela Be e ao lado direito, sua companheira. A escala de cor, mostra a variação da densidade superficial (Crédito: Amanda Rubio).





creção.

Modelos recentes dessa estrela descrevem seu disco sendo lentamente inclinado, ao longo de aproximadamente 34 anos, até um ângulo de 30° em relação ao seu equador; esse disco então é rasgado em dois pela estrela secundária, e se separa em duas partes: um disco interno, que continua ligado à estrela, e um disco externo, que se solta do resto e precessiona por aproximadamente 15 anos antes de desaparecer de forma gradual. Por fim, um novo disco se forma gradualmente, e o processo se repete.

Uma visão estranhamente bela

Apesar de estarmos acostumados (nas artes e no imaginário popular) a associar cores quentes — como vermelho, amarelo e laranja — ao calor e elevadas temperaturas, e tons de azul e bran-

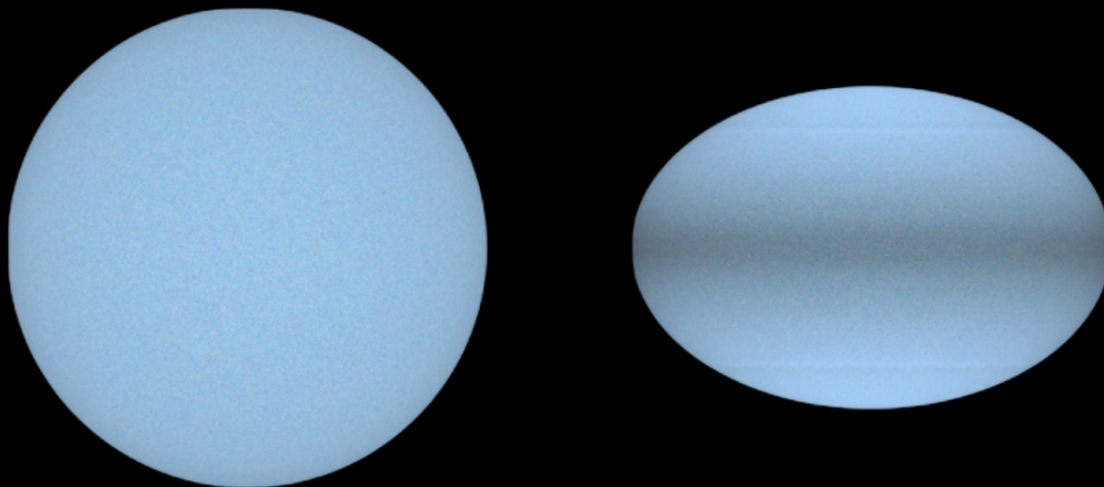
co a temperaturas mais baixas, a situação é completamente diferente quando estamos falando em um contexto astrofísico.

O espectro eletromagnético de um astro é diretamente controlado pela sua temperatura, de maneira que, no espectro de corpos mais frios, predomina a emissão em comprimentos de onda maiores, tais como o vermelho e o infravermelho. Em contrapartida, para maiores temperaturas, serão observadas emissões em menores comprimentos de onda, associadas a regiões roxo-azuladas do espectro visível e regiões que não

Acima
Quadro resumo da evolução estelar (Crédito: R.N. Bailey/WikiCommons).

Fale como um especialista!

Ao conversar sobre essas estrelas, não pronuncie o Be como *bé*, mas sim como *bê é* ou *bê ê* (a depender de sua pronúncia da letra E). Falamos assim porque a classe espectral da estrela é B, enquanto a letra "e" é uma marcação adicional para indicar que o espectro possui fortes linhas de emissão.

**Acima**

Representação do achatamento dos polos e do efeito de escurecimento gravitacional sobre a região equatorial de uma estrela Be. À esquerda, vê-se uma estrela B normal, que gira a baixas velocidades; à direita, uma Be equivalente. (Crédito: Maria F. Camacho).

podem ser observadas pelo olho humano, como o ultravioleta. Comparativamente, vemos que estrelas azuladas (como as de classe espectral O ou B) são muito mais quentes que estrelas alaranjadas (como as de tipo M e K), além de serem muito maiores. A partir desses fatores, entendemos que as estrelas Be são essencialmente azuladas, como na imagem das Plêiades.

Por estarem a rotações tão elevadas, sabemos que estrelas Be terão um formato oblato. Todavia, como tem sido mostrado ao longo de todo o texto, esses objetos extremos vão apresentar outras características visualmente impactantes. Uma vez que o equador estelar passa a apresentar uma gravidade mais fraca, essa região contará com temperaturas mais baixas que as do restante da estrela e terá seu espectro de emissão deslocado para perto de um

azul mais claro, quase esverdeado (cor mais próxima à uma estrela de tipo A). Esse fenômeno é chamado de *escurecimento gravitacional*.

Em princípio, o termo escurecimento gravitacional pode não parecer o mais adequado, já que, mesmo sendo mais frio que os polos, o equador ainda emitirá de forma intensa.

O termo se refere ao fato de que a faixa equatorial emitirá uma menor intensidade luminosa do que a do restante da estrela. Assim, quando vista do espaço, os polos de uma estrela Be ofuscarão a região equatorial, afetando a percepção que teremos da cor da estrela e permitindo apenas a visualização de uma faixa menos luminosa (sem sua cor verdadeira). Dessa forma, o que realmente será visto é uma estrela com aspecto de abóbora, com os polos azulados como os de uma estrela

B convencional, e um equador em um azul escuro, quase preto.

Este mesmo fenômeno também ocorre quando percebemos as manchas solares como estruturas pretas, sem cor, sendo que elas compartilham aproximadamente a mesma cor das regiões vizinhas, mas emitem com menor intensidade.

Quantos segredos elas podem guardar?

Após tantos apontamentos, é fácil concluir que o estudo das Be ainda tem muito a ser aprofundado. De forma fantástica, assim como uma hidra, ao responder uma dúvida, duas aparecem no lugar. Em outras palavras, quanto mais avançamos na pesquisa dessas estrelas, mais questionamentos surgem e mais esforços de diversas áreas são exigidos.

Por se tratar de objetos que requerem uma pluralidade de técnicas observacionais e teóricas — passando por estudos que vão de evolução estelar, estrelas binárias e estrelas extremas até física dos fluidos astrofísicos —, o estudo das estrelas Be fomenta um especial apelo a vários campos da física moderna.

Dessa forma, o principal saldo que tiramos dessas estrelas é o lembrete sobre a importância da cooperação e integração da ciência para que avanços sejam feitos.

Por fim, diante de tantas peculiaridades, dúvidas e desafios, não podemos negar que as estrelas

Be nos ensinam muito sobre como, em infinitas possibilidades de um Universo como o nosso, fenômenos magníficos podem ser encontrados nas condições que desafiam a imaginação humana, e como ainda há muito apenas esperando ser descoberto •

*Antônio N. Uchoa de Oliveira F.º,
Matheus de Lima Pinho,
Maria F. Camacho de Assis,
Clara Amorim Navarro &
Alex Cavaliéri Carciofi
Universidade de São Paulo
carciofi@usp.br*

Contracapa

Remanescente de supernova DEM L 190, formada durante a explosão de uma estrela na Grande Nuvem de Magalhães (Crédito: ESA/Hubble & NASA, S. Kulkarni, Y. Chu).



S.A.B.