

Revista
Brasileira de
**ASTRO
NOMIA**

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 5 | Número 17
Ano 2023

O radiotelescópio
BINGO

A Nebulosa do Anel do Sul ♦ Tunguska ♦ O Satélite GAIA



Editorial

Este número abre o quinto ano de existência da Revista Brasileira de Astronomia. Quando a idealizamos, certamente pensamos numa publicação que durasse bastante tempo. Contudo, é quando a contagem dos anos vai ocupando os dedos das mãos que nos damos conta de sua extensão.

Os temas abordados nesta edição vão do local ao mais remoto, desde a fragmentação de um corpo celeste na atmosfera acima da Sibéria até os tênues registros de aglomeração de matéria após o Big Bang, que serão explorados pelo radiotelescópio BINGO, um equipamento único, que está sendo desenvolvido por uma colaboração internacional liderada por brasileiros e que será instalado no sertão paraibano. Entre esses dois extremos, veremos como os dados provenientes do Telescópio Espacial James Webb já promovem uma revolução na compreensão da formação de nebulosas planetárias; e aprenderemos algo sobre o satélite astrométrico Gaia, que vai descortinando a fascinante estrutura e evolução da Galáxia.

O quinto ano de nossa revista coincide com novidades há muito esperadas: o governo federal promove um ajuste no valor de bolsas de iniciação científica, mestrado e doutorado; novos editais para a pesquisa estão sendo reabertos ou planejados. Esperamos que essas novidades não terminem nisso pois um maior investimento em ciência e tecnologia é fundamental para o desenvolvimento social de nosso país.

*Helio Jaques Rocha-Pinto
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira*

Esquerda

Detalhe do aglomerado de galáxias Abell 2744, também conhecido como Aglomerado de Pandora, situado a quase 4 mega-anos-luz do Sol (Crédito: NASA, ESA, CSA, Ivo Labbe/Swinburne, Rachel Bezanson/Univ. of Pittsburgh, Alyssa Pagan/STScI).

Capa

Alinhamento entre a Lua, Vênus e Júpiter, fotografado em 21/02/2023 na cidade de Conceição do Coité, BA (Crédito: Alessandro Mota/Blog Mistérios do Espaço).

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,

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 O radiotelescópio BINGO

Alex Wuensche faz uma revisão sobre os principais radiotelescópios do mundo e apresenta o projeto para construção do radiotelescópio BINGO no sertão nordestino.

14 Teatro da Morte Estelar

Daniel Mello, Igor Borgo e Denise Gonçalves falam sobre como as imagens do Telescópio Espacial James Webb auxiliam a interpretar a forma da Nebulosa do Anel do Sul.

25 O Satélite Gaia

Trabalhando no grupo de engenheiros de software do Gaia, Eduardo del Peloso fala sobre esse satélite astrométrico que vem revolucionando nosso conhecimento sobre a Galáxia.

34 O Evento Tunguska

Nelson Travník relembra a data desse evento peculiar, que ainda hoje suscita estudos e reinterpretações.

Radioastronomia, radiotelescópios e o BINGO



Conheça a ciência e os mais importantes instrumentos da radioastronomia atualmente em operação ou em construção. Dentre esses, merece destaque o projeto BINGO, esforço internacional liderado pelo Brasil, para construir e operar um radiotelescópio na Paraíba.

A maior parte da radiação produzida no Universo não atinge diretamente a superfície da Terra e não é percebida diretamente pelo ser humano. Nossos sensores mais sensíveis são nossos olhos, que captam a radiação eletromagnética visível, cujo pico está numa faixa que inclui as cores amarela e verde (cerca de 555 nanômetros). Outros tipos de radia-

ção não podem ser vistos da superfície, já que nossa atmosfera não é transparente a eles. Por exemplo, a radiação infravermelha ou ultravioleta pode atingir parcialmente a superfície da Terra, enquanto para ondas de rádio a atmosfera é essencialmente transparente, permitindo com que sejam observadas diretamente do solo.

Movimentos de moléculas ou

de elétrons sob efeito de campos eletromagnéticos produzem radiação eletromagnética, inclusive na faixa de rádio, que carregam informações sobre os processos de emissão e absorção de elétrons. Ocorre também a produção de radiação, na forma de linhas de transição em frequências muito específicas. Essas ondas também podem ser detectadas como um contínuo num grande intervalo de frequência. Ondas de rádio são uma excelente opção para observar o espaço sideral, devido à sua baixíssima absorção durante o trajeto da fonte emissora até os telescópios terrestres. As informações nelas codificadas permitem investigar as condições físico-químicas do meio interestelar e intergaláctico, bem como a evolução dinâmica e a estrutura dos objetos celestes que as produzem.

A ciência da radioastronomia

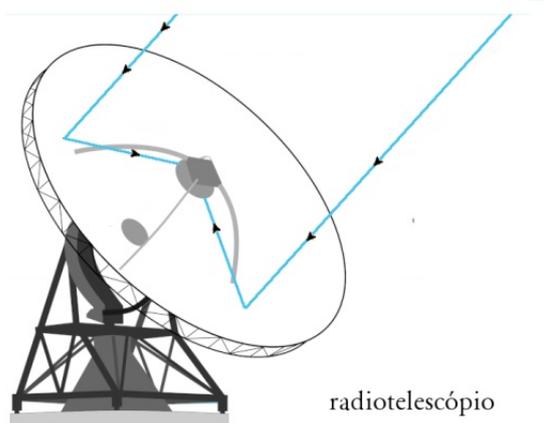
Ondas de rádio possuem energias bem mais baixas do que as ondas luminosas ou a radiação X, embora todas sejam ondas eletromagnéticas. Essas energias correspondem a comprimentos de onda de dezenas de metros a cerca de 1 milímetro, e frequências de alguns kHz até centenas de GHz. Esses comprimentos de onda requerem superfícies refletoras, com as mesmas propriedades dos espelhos ópticos e dimensões de até algumas centenas de metros, e enormes quando comparados aos

espelhos ópticos. O maior telescópio óptico em operação hoje é o *Large Binocular Telescope*, localizado no Arizona (EUA), com um espelho primário de 11,4 m de diâmetro; o radiotelescópio FAST, localizado na China, possui um refletor primário de 500 m de diâmetro! Refletores maiores podem ser “sintetizados” usando várias antenas menores, princípio em que se baseia a interferometria, ou produzir antenas com longos arranjos de cabos de metal, que funcionam como dipolos.

A radioastronomia foi responsável por algumas das descobertas mais relevantes para a física do século XX. A detecção da Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas (RCFM), por Arno Penzias e Robert Wilson, é uma das mais importantes e fez jus ao Prêmio Nobel de Física de 1978. Ela foi produzida quando o Universo se tornou neutro, cerca de 380000 anos após o Big Bang, sendo inicialmente observada na frequência de 4080 MHz, e depois, em diversas frequências entre 4 e 300 GHz. A confirmação da curva de corpo negro associada ao espectro da RCFM, e a identificação das flutuações de temperatura presentes no plasma primordial e associadas aos mecanismos de formação das grandes estruturas do Universo, foi feita com os resultados das medidas dos instrumentos FIRAS e DMR, instalados a bordo do satélite COBE. Os resultados foram anunciados no início

Na página anterior
Cinco antenas do *Australia Telescope Compact Array*
(Crédito: John Masterson/
CSIRO, Bammesk/
Wikicommons).

rádio doméstico



radiotelescópio

Acima

Receptor de rádio doméstico normal (esquerda) e radiotelescópio (direita). A antena à esquerda desempenha o mesmo papel do refletor parabólico à direita; o visor do rádio à esquerda desempenha o mesmo papel de um receptor e amplificador de um radiotelescópio. No rádio doméstico, o alto-falante transmite ao ouvinte o sinal de rádio captado e transformado em ondas sonoras; no caso de um radiotelescópio, um computador a ele acoplado processa e armazena o sinal de rádio coletado pela antena parabólica.

dos anos 90 e sua importância motivou a concessão do Prêmio Nobel de Física de 2006 a John Mather e George Smoot.

A radioastronomia está por trás de vários outros resultados importantes, entre os quais a descoberta dos pulsares e a associação de pulsares com ondas gravitacionais, permitindo uma verificação indireta da Teoria da Relatividade Geral de Einstein, foram agraciados com os prêmios Nobel de Física de 1974 (Antony Hewish) e 1993 (Russell Hulse e Joseph Taylor), respectivamente. Além disso, a determinação da forma espiral da nossa Galáxia, a detecção de moléculas orgânicas complexas de interesse astrobiológico, a descoberta de masers, o análogo da emissão laser em micro-ondas e a detecção de rajadas cósmicas em rádio (FRB, de *Fast Radio Bursts*) observadas na faixa de centenas de MHz a cerca de 8 GHz, que liberam aproximadamente 10^{42} W em 1 milissegundo, são também resultados de pesquisas em radioastronomia.

Finalmente, o projeto SETI (*Search*

for Extraterrestrial Intelligence), concebido para buscar sinais de rádio de civilizações extraterrestres, também utilizou alguns dos radiotelescópios mais famosos do mundo. Apesar de nenhum resultado positivo até hoje, o SETI impulsionou uma série de desenvolvimentos de receptores de radioastronomia, processamento de sinais e computação distribuída, como a iniciativa chamada de SETI@Home.

Como detectamos ondas de rádio?

Radiotelescópios típicos são, conceitualmente, semelhantes a um rádio de pilha AM-FM ou a uma estação de radioamador. Os sinais de rádio vindos do espaço são coletados junto com muitos outros sinais artificiais, por um refletor parabólico e transferidos para um receptor. Radioastrônomos geralmente chamam o refletor mais o receptor, genericamente, de “antena”. Chegando ao receptor, a onda captada pelo refletor passa por um amplificador de

baixo ruído, um filtro passa-banda, misturado com um oscilador local para alterar a frequência de entrada para uma frequência mais baixa, amplificado mais uma vez e integrado.

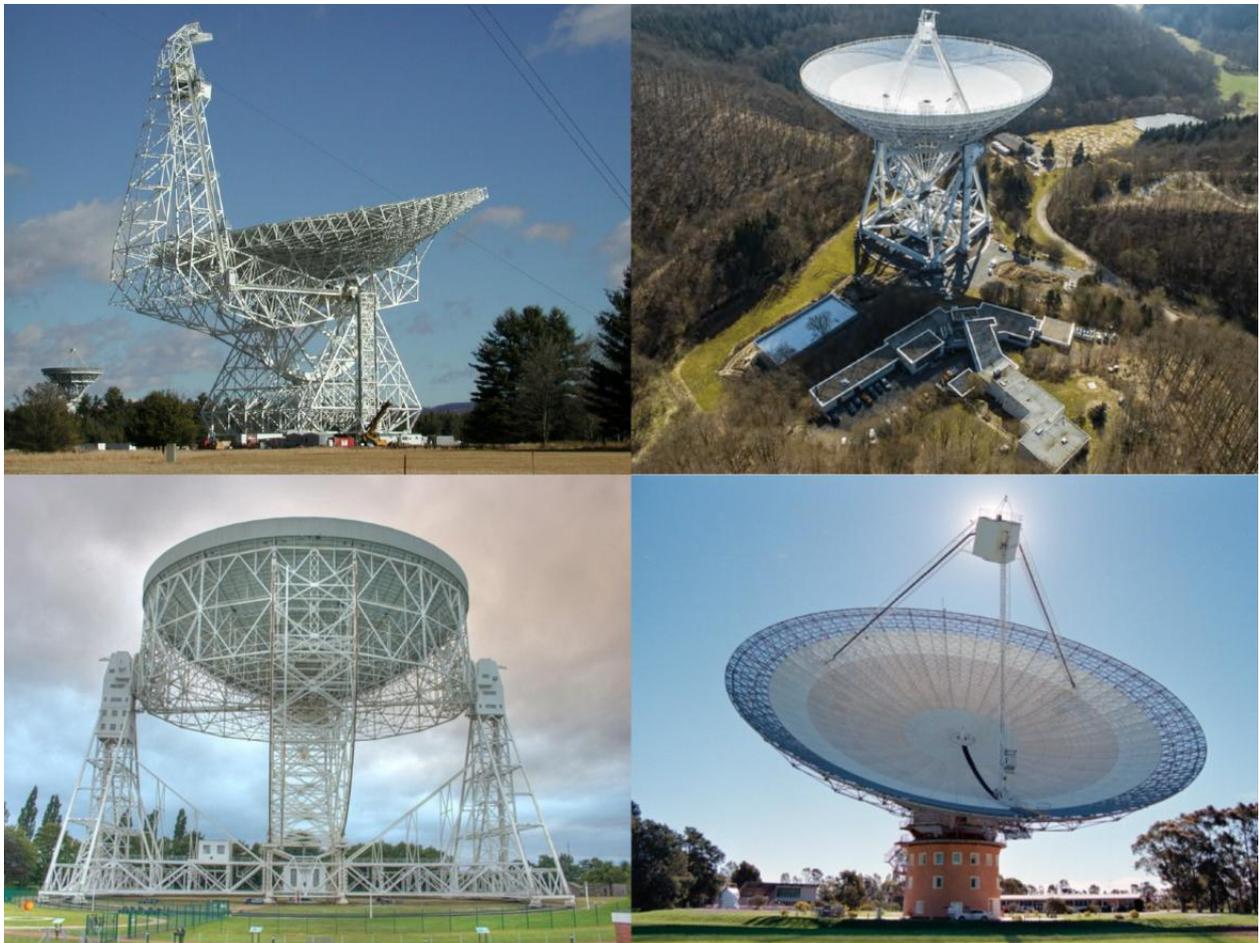
A onda de rádio naquela frequência (ou banda), é amplificada (1000 ou mais vezes) por um amplificador de baixo ruído e filtrada para eliminar ondas fora da frequência ou banda. Dentro do circuito do receptor, os sinais de rádio amplificados e filtrados são somados durante um certo intervalo de tempo, num processo conhecido como integração. O sinal

integrado é então convertido do formato analógico (que trata campos e correntes elétricas) para o digital (que trata bytes em um computador), sendo em seguida processado e armazenado por um computador ou outro dispositivo digital.

Um rádio de pilha pode ser comparado a um radiotelescópio. As antenas de ambos captam as ondas de rádio; o visor de seleção de frequência no rádio de pilha define a frequência de transmissão da emissora de rádio. Outros botões de controle permitem a filtragem do sinal para melhorar a

Abaixo

Principais telescópios do tipo “refletor único”: Green Bank (Virginia, EUA), refletor de 100 m; Effelsberg (Alemanha), refletor de 100 m; Lowell (Manchester, Inglaterra), refletor de 76 m; Parkes (Austrália), refletor de 64 m.





Acima

Os dois maiores radiotelescópios de refletor único no mundo foram construídos entre montanhas, usando o relevo como suporte para o prato coletor. Acima, o radiotelescópio de Arecibo (306 m), que operou entre 1963 e 2017. Abaixo, o FAST (500 m), apelidado de Tianyan (天眼, lit. Olho Celeste), situado em Guizhou, sudoeste da China.

recepção. A onda de rádio incidente é transformada em corrente elétrica antes de ser transformada na onda sonora que ouvimos. Os mesmos processos de seleção de frequência, amplificação e processamento de sinal acontecem no radiotelescópio antes que o sinal seja integrado e enviado ao computador.

A seleção da banda de frequência de emissão é importante, pois existem faixas protegidas para radioastronomia, definidas pela União Internacional de Telecomuni-

cações, em que outros sinais de rádio que contaminam a informação astronômica são mantidos ao mínimo.

Radiotelescópios de hoje e do futuro

Karl Jansky (1905-1950) foi a primeira pessoa a construir um radiotelescópio, em 1932, para observar nossa própria Galáxia. Quase 100 anos depois, centenas de radiotelescópios apontam para o céu em todos os continentes, usando antenas que atuam como coletores de radiação, tais como refletores parabólicos e as antenas de dipolo. As antenas parabólicas podem ser utilizadas em um único refletor ou em radiointerferômetros, que operam com várias delas. Para comprimentos de onda mais longos (alguns metros a dezenas de metros), as antenas de dipolo, feitas de hastes ou fios longos, são mais eficientes.

O conceito de “único refletor” compreende a antena parabólica acoplada a um receptor, mesmo que haja um refletor secundário para direcionar as ondas de rádio para o receptor. Exemplos de telescópios tradicionais de um único refletor aparecem na página anterior, sendo que refletores com diâmetro maior do que 100 m não podem ser movimentados sem comprometer sua estrutura. Radiotelescópios maiores apontam para diferentes partes do céu deslocando a cabine que abriga os detectores em relação à super-



fície dos refletores.

Interferômetros são arranjos de muitas antenas que operam conjuntamente, simulando a operação de um único e enorme telescópio. De modo simplificado, quanto mais distantes estiverem as antenas, maior será a área equivalente do telescópio simulado. O propósito de um interferômetro é correlacionar sinais cósmicos que chegam em diferentes antenas em tempos diferentes, par a par, para criar uma imagem detalhada do objeto observado. As separações físicas entre as diferentes antenas do interferômetro

são chamadas de linhas de base, e seu comprimento pode variar de alguns metros a dezenas de quilômetros.

Com uma concepção inédita, o SKA (*Square Kilometre Array*) será um interferômetro construído na África do Sul e na Austrália, operando entre 50 e 15300 MHz, e com linhas de base podendo atingir milhares de quilômetros. A Fase 1 está sendo construída na Austrália (SKA1-LOW) e na África do Sul (SKA1-MID) e, no futuro, outros países africanos também deverão hospedar algumas antenas. A ciência do SKA cobri-

Acima
Principais
radiointerferômetros:
Jansky Very Large Array – VLA (Novo México, EUA), com 27 refletores de 25 m; *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* – ALMA (Atacama, Chile), com 66 antenas de 12 m de diâmetro e 7 antenas de 7 m de diâmetro; *Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment* – CHIME, com 4 grandes semi-cilindros atuando como refletores e receptores; *GMRT (Giant MetreWave Radio Telescope*, Pune, Índia), com 30 antenas de 45 m.

rá praticamente todos os ramos da astronomia, da astrobiologia à cosmologia. Ele deve começar a operar no final da década de 2020 e uma representação artística dos protótipos MID e LOW é mostrada abaixo.



Acima
Representação artística do radiotelescópio SKA na Austrália (SKA1-LOW) e na África do Sul (SKA1-MID).

O radiotelescópio BINGO

O BINGO (do inglês, *BAO from Integrated Neutral Gas Observations*) é um radiotelescópio projetado especificamente para observar oscilações acústicas de bárions (BAO, do inglês *Baryonic Acoustic Oscillations*) na banda de frequência entre 980 e 1260 MHz e fornecer uma nova visão do Universo no intervalo de desvio pa-

ra o vermelho $0.127 < z < 0.449$, quando o Universo tinha aproximadamente entre 9 e 12 bilhões de anos de idade. Sua configuração óptica consiste em dois refletores estáticos de 40 m de diâmetro com um campo de visão bastante largo ($14.7^\circ \times 6.0^\circ$) e 28 antenas-corneta, de 4.3 m de comprimento e 1.9 m de abertura, no plano focal.

O telescópio está sendo construído no município de Aguiar, Paraíba (coordenadas $38^\circ 16' 04.8''$ W; $7^\circ 02' 27.6''$ S), em um ambiente com baixíssimo nível de contaminação em radiofrequências. A colaboração BINGO é liderada pelo Brasil, com participação chinesa e contribuições de grupos na França, Inglaterra, Alemanha e Itália.

O principal objetivo do BINGO é ser o primeiro instrumento a detectar BAO em rádio, mapeando a distribuição tridimensional de HI e produzindo uma contribuição importante para o estudo das propriedades da chamada Energia Escura. Além disso, devido à sua estratégia de observação, ele também será capaz de detectar fenômenos transientes em escalas de tempo muito curtas (< 1 ms), como pulsares e rajadas rápidas de rádio. O BINGO é, hoje, o único radiotelescópio no mundo que utiliza integralmente o conceito de “*single dish, many horns*” (um refletor e muitas cornetas).

As análises cosmológicas feitas pela colaboração BINGO usarão o



signal de 21 cm, produzido pela transição hiperfina do hidrogênio neutro, apresentado na *Revista Brasileira de Astronomia* 15. Devido à abundância cosmológica dos átomos de hidrogênio, é possível produzir um levantamento que, além das fontes brilhantes, contenha um número grande de fontes que emitem pouca radiação.

A técnica de mapeamento de intensidade permite integrar o sinal dos fótons de 21 cm emitidos por todas as fontes no campo de observação, sendo extremamente eficiente para esse tipo de observação.

Como comprimentos de onda de fontes emissoras distantes são desviados para o vermelho pela expansão do Universo, a escolha de radiofrequências específicas permite determinar diretamente o desvio para o vermelho da fonte emissora. Uma medida “tridimensional” da distribuição de hidro-

gênio em diferentes desvios para o vermelho produz uma espécie de tomografia que possibilita o estudo da evolução da distribuição da matéria no Universo. O BINGO produzirá espectros de potência da distribuição de matéria nas direções paralela e perpendicular à linha de visada do instrumento, possibilitando o estudo de distorções no espaço de desvios para o vermelho e a possível detecção de oscilações acústicas de bárions. Adicionalmente, uma determinação precisa do espectro de potência permitirá também investigações sobre teorias de grava-

Acima
Representação artística do BINGO no sítio da Paraíba.

Leia também

The BINGO Project I: Baryon acoustic oscillations from integrated neutral gas observations. Elcio. E. Abdalla et al. *A&A*, 664, A14 (2022)

The BINGO Project II: instrument description. C. A. Wuensche et al. *A&A*, 664, A15 (2022)

de modificada, energia escura dinâmica, energia escura interativa e neutrinos massivos.

Radioastronomia para o futuro

A radioastronomia é uma área ativa da astrofísica e vem contribuindo para descobertas importantes, sendo que três delas resultaram em Prêmios Nobel de Física. Além disso, técnicas e instrumentação radioastronômicas são utilizadas no monitoramento de sondas espaciais, dentro e além do sistema solar (como a sonda Pioneer 11). Também é relevante, do ponto de vista de retorno social, que as pesquisas em radioastronomia e a indústria de telecomunicações tenham se beneficiado dos trabalhos uma da outra. Por outro lado, o aumento de dispositivos controlados por radiofrequências prejudica de forma irreversível a pesquisa em radioastronomia. Radiotelescópios modernos estão, cada vez mais, deslocando-se para as regiões remotas da Terra, como Austrália, Chile, China e África do Sul, o planalto antártico e para o espaço si-

deral, a 1500000 km de distância da Terra, além da órbita da Lua. O BINGO obedece também a essa tendência, sendo construído em uma região despovoada no sertão da Paraíba, completamente isolado de emissões de rádio produzidas pelo homem.

Com o início da operação do BINGO, astrônomos brasileiros assumem um papel de destaque na área de cosmologia com ondas de rádio, podendo produzir ciência de qualidade, ligada à nossa compreensão do Universo primordial. A detecção de BAO em ondas de rádio pode ajudar a caracterizar melhor as propriedades e a origem da energia escura, auxiliando na compreensão de um dos principais problemas em aberto na física do século XXI •

*Carlos Alexandre Wuensche
Inst. Nac. de Pesquisas Espaciais
ca.wuensche@inpe.br*

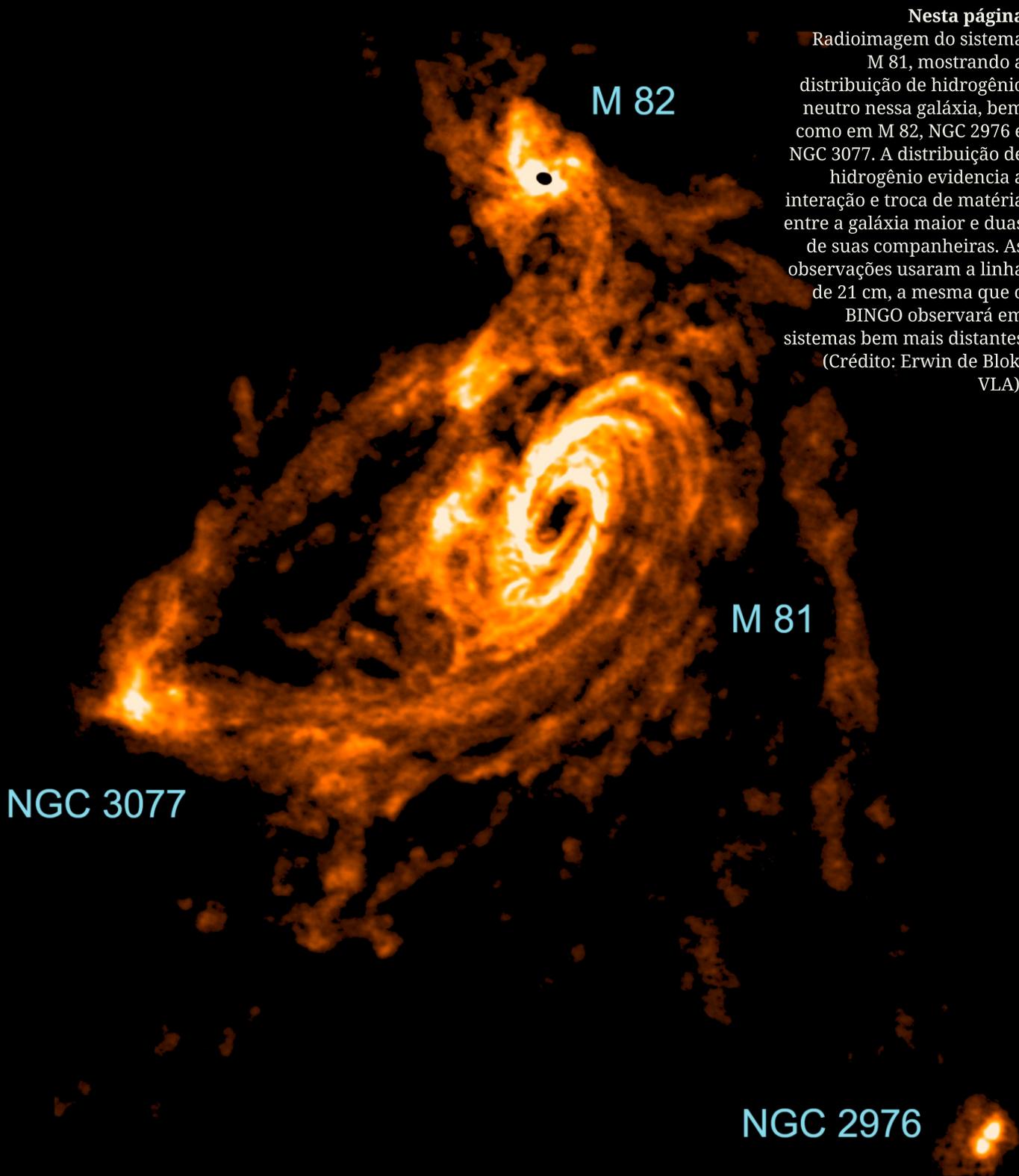
Para saber mais

História da radioastronomia

<https://public.nrao.edu/radio-astronomy/the-history-of-radio-astronomy>
<https://web.iucaa.in/~rpl/HistoryRA.html>

Sobre o SKA e o futuro da radioastronomia

<https://www.skao.int>



Nesta página

Radioimagem do sistema M 81, mostrando a distribuição de hidrogênio neutro nessa galáxia, bem como em M 82, NGC 2976 e NGC 3077. A distribuição de hidrogênio evidencia a interação e troca de matéria entre a galáxia maior e duas de suas companheiras. As observações usaram a linha de 21 cm, a mesma que o BINGO observará em sistemas bem mais distantes (Crédito: Erwin de Blok, VLA).



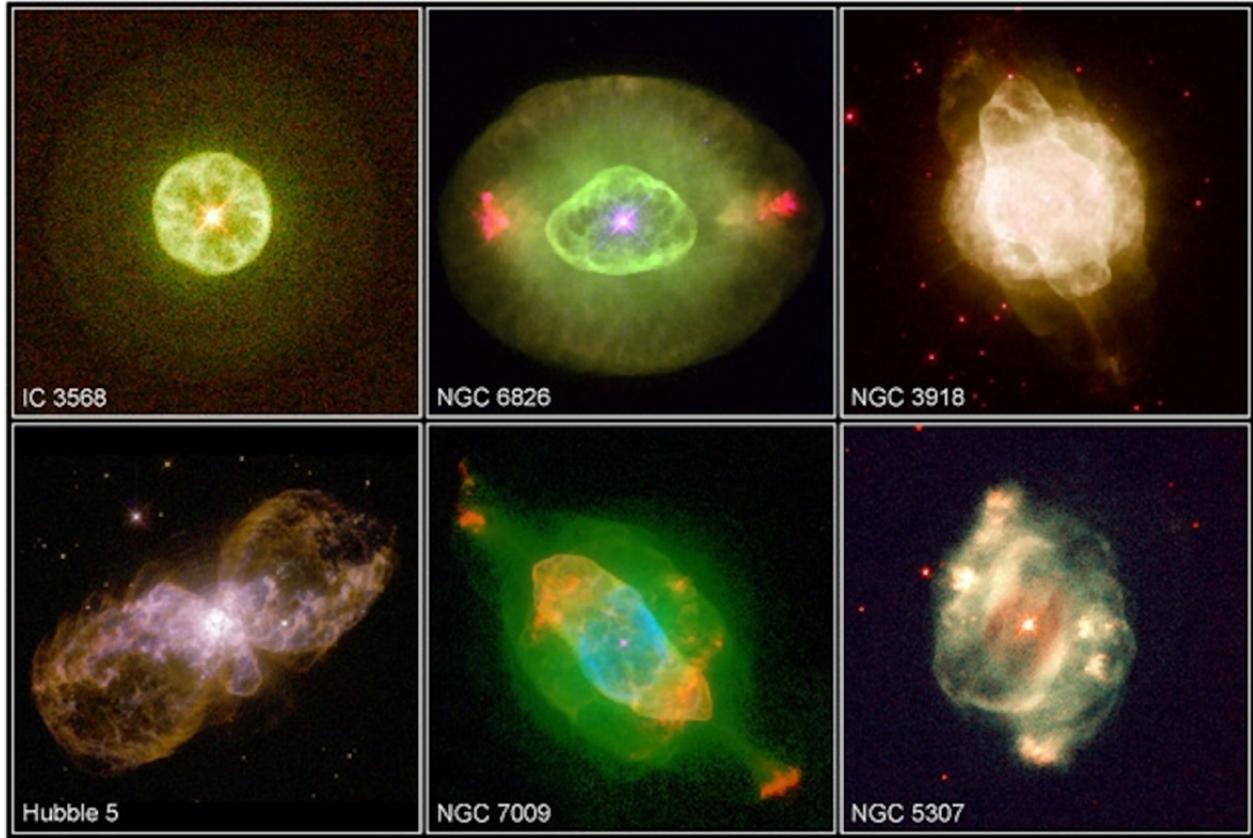
Teatro da Morte Estelar

Drama e glória revelados pelo JWST

Se as cores tornam a natureza um deleite para os olhos, a vastidão do Universo pode revelar a mais profunda arte através de seus astros multicores: as nebulosas planetárias. Tempestivas, delicadas, harmônicas, assimétricas. Ao ressoar o movimento final de uma longa sinfonia estelar, elas representam os verdadeiros tesouros da Galáxia. Conhecidas há mais de dois séculos, elas começam a ser revisitadas pela nova geração de telescópios, permitindo-nos explorar a essência desses objetos sublimes e em diversos aspectos.

No final do século XVIII, o astrônomo germano-britânico William Herschel, curioso com algumas das descobertas do astrônomo francês Charles Messier e de suas próprias, começou a in-

vestigar uma nova classe de objetos celestes que ostentavam características únicas. Eram coloridos, difusos e tinham formatos mais ou menos esféricos como os planetas. O que eram eles? O próprio Herschel procurou explicação



em um trabalho datado de 1785, mas sem conclusões. Apenas os descreveu como “*astros completamente diferentes do que havia encontrado; alguns de formato oval, outros de aspecto redondo e a maioria com brilho muito tênue*”. Comparando-os, em aspecto, com planetas, Herschel os batizou de nebulosas planetárias. Hoje sabemos que as nebulosas planetárias não têm nenhuma relação com os conhecidos planetas do Sistema Solar, nem mesmo com Urano, também descoberto por Herschel, em 1781. A denominação de Herschel para esta nova classe de objetos, entretanto, é muito usada na Astronomia moderna e é assim que as denominamos para dife-

renciá-las de outras classes de nebulosas vistas no céu noturno.

O século XIX havia sido muito frutífero para a Astronomia, mas o entendimento sobre as nebulosas planetárias estava distante. Eis que novas teorias no âmbito da Física, surgidas no começo do século XX, dariam impulso ao nascimento da astrofísica estelar. A partir daí começou-se a sondar a natureza das estrelas e dar os primeiros passos para compreender os segredos das nebulosas planetárias. Todavia, este era apenas o começo de uma longa jornada. Foi somente com o advento dos grandes telescópios, no final do século passado, que começamos a “ver de perto” estes fantásticos ob-

Acima

A riqueza de formas, brilho e cores das nebulosas planetárias pode ser encontrada nesta imagem produzida a partir de registros de alta resolução do Telescópio Espacial Hubble (Créditos: ESA, NASA, H. Bond e B. Balick).

Página anterior

Imagem histórica do telescópio espacial James Webb mostrando a Nebulosa do Anel do Sul (NGC 3132), escolhida para ser um dos primeiros astros observados pelo telescópio, em julho de 2022 (Créditos: NASA, ESA, CSA e STScI).



Acima

A Nebulosa do Anel do Sul vista com dois filtros (faixas de energia) diferentes no infravermelho. A imagem da esquerda evidencia melhor a região interna da nebulosa, mostrando o formato oval mais destacado e o anel que o cerca. A imagem da direita nos dá informação sobre a região mais exterior, onde o gás é mais frio e apresenta-se na forma de moléculas que se espalham por uma região mais extensa e heterogênea, formando arcos, nódulos e jatos (Créditos: NASA, ESA, CSA, O. De Marco/Macquarie University); J. DePasquale/STScI, no processamento da imagem).

jetos. IRAS, Hubble, WISE e Spitzer são alguns dos telescópios espaciais que contribuíram (alguns ainda contribuem) de forma contundente para possibilitar estudos mais precisos sobre as nebulosas planetárias. Agora chegou a vez do telescópio do momento: o telescópio James Webb.

O Desafio

Quando lançou suas primeiras imagens públicas em meados de 2022, o telescópio James Webb surpreendeu o mundo. A beleza do Universo, entre planetas, nebulosas e galáxias, começou a ser mostrada com rigor de detalhes, sem precedentes. Uma dessas primeiras imagens foi de um astro diminuto, mas de magia ímpar: a Nebulosa do Anel do Sul. Conhecida tecnicamente como NGC 3132, ela fica na constelação da Vela, numa região do céu relativamente próxima ao Cruzeiro do Sul.

Após as primeiras imagens do Webb, as grandes descobertas começam a acontecer e as nebulosas planetárias são protagonistas desta nova era da Astronomia. O estudo aprofundado das imagens da nebulosa NGC 3132, a partir das observações do Webb, revela detalhes nunca antes vistos da morte de uma estrela. A imagem icônica de NGC 3132 obtida pelo James Webb pode ser vista na capa deste artigo.

Além da inspiração com a bela imagem acima, podemos nos perguntar: o que este astro representa? Como explicar a riqueza de cores e o formato da nebulosa com seus anéis, arcos, bolhas e regiões mais brilhantes? Este é o grande desafio da Astronomia, explicar como o Universo funciona, utilizando a Física, a Matemática, a computação e imagens como essa, de NGC 3132. Para investigar esta saga, uma equipe de

quase 70 astrônomos de todo o mundo encararam de frente o problema de desvendar o que indicam as múltiplas informações da primeira nebulosa planetária fotografada com o JWST. Os resultados deste trabalho foram divulgados em dezembro passado, tendo sido destaque de capa da prestigiosa revista *Nature Astronomy*.

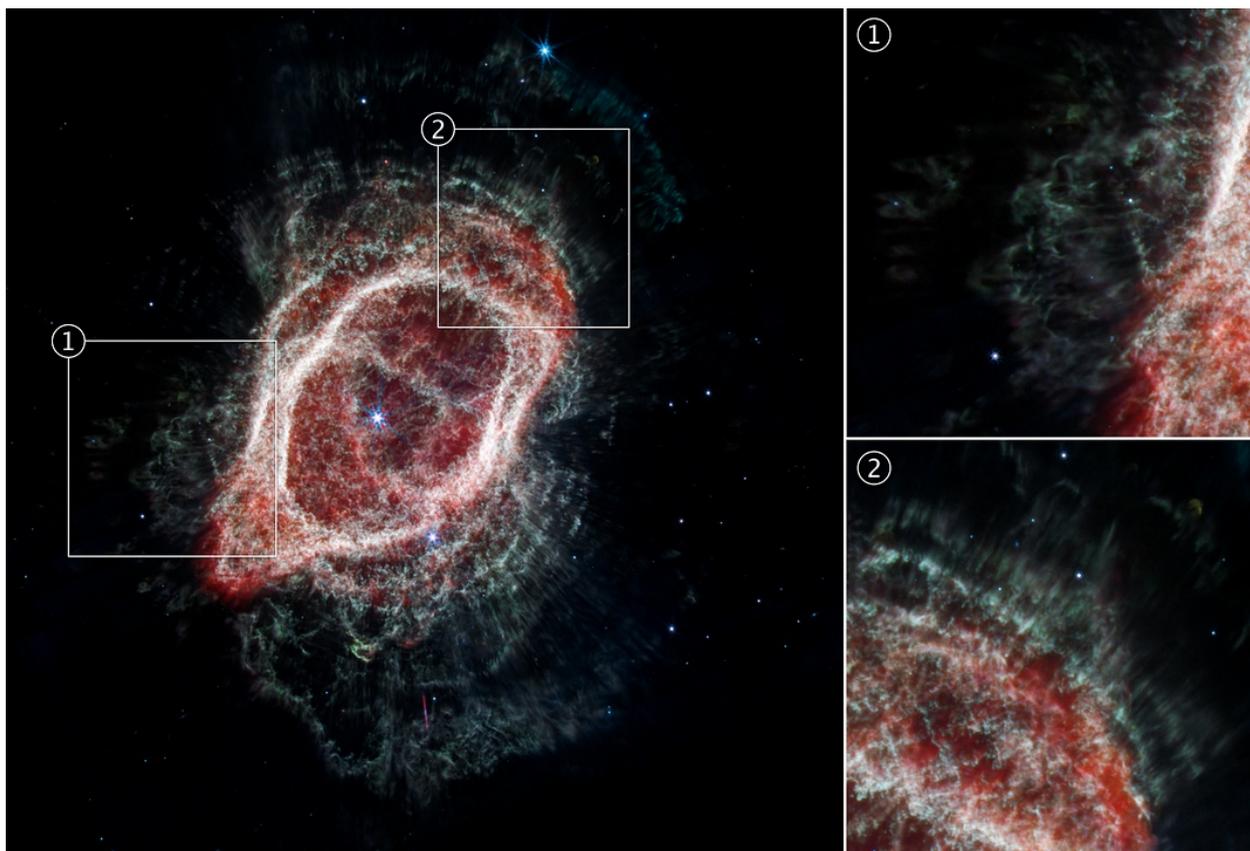
Na lista de autores do trabalho, contribuições importantes dos astrofísicos brasileiros, incluindo Denise R. Gonçalves, que representa o Observatório do Valongo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) nesta empreitada, Isabel Aleman e Hektor Monteiro, ambos da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), e Cláudia Mendes de Oliveira (Universidade de São Paulo). Na liderança da equipe, a astrofísica Orsola de Marco (Universidade Macquarie, Austrália), que investiga nebulosas planetárias há décadas e coordenou a equipe de especialistas. Com dados do James Webb complementados por outros telescópios tais como do *Very Large Telescope* (VLT), do Observatório Austral Europeu (ESO) e dos telescópios espaciais Gaia e Hubble, começa-se a desvendar a Nebulosa do Anel do Sul. Para Orsola de Marco, “*com o Webb, é como se tivéssemos um microscópio para examinar o Universo*”.

O desafio de decifrar a bela Nebulosa do Anel do Sul não pode ser conduzido antes de compreendermos a relação das nebulosas planetárias com as estrelas que vemos no céu.

Estrelas não são eternas

Estrelas são holofotes de luz iluminando a noite. Gerando a própria energia em uma espécie de fornalha de gás quente em seus interiores, elas nos encantam quando miramos o céu noturno. Algumas estrelas são anãs como o Sol, outras gigantescas como Betelgeuse. Algumas são massudas como Eta Carina, outras são “peso leve” como Aldebaran. Comparadas ao Sol, algumas são jovens, outras anciãs e embora todas elas possam, por longo tempo, “curtir os embalos da vida noturna, adoidadas” nenhuma “vive” para sempre. A observação das estrelas de diferentes condições físicas, tamanhos, idades, cores e brilhos levaram os astrônomos a suspeitar, desde o século XIX, que elas não fossem eternas. Doutra forma, em um Universo extremamente dinâmico, era natural se supor que as estrelas tinham um início e um fim e que poderiam passar por alterações em seu ciclo de “vida”. No final do século XIX, alguns astrônomos já lançavam mão de hipóteses sobre como as estrelas poderiam mudar suas propriedades ao longo do tempo. Eles foram os precursores de um dos mais instigantes temas da Astronomia moderna: a evolução estelar.

Para compreender como as estrelas nascem, morrem e quanto tempo “vivem”, lançamos mão de



Acima

Um zoom na Nebulosa do Anel do Sul mostrando regiões (1 e 2) onde a matéria estelar flui para fora, possivelmente gerada pela interação das estrelas centrais há milhares de anos atrás (Crédito: NASA, ESA, CSA, O. De Marco, J. DePasquale/STScI).

teorias físicas, modelos matemáticos e computacionais e observações de um grande quantidade de estrelas em variadas faixas de idades. Embora muitas coisas possam estar em jogo, sabemos hoje que um dos parâmetros mais importantes para se determinar a duração da vida de uma estrela é sua massa, ou seja, sua quantidade de matéria. É ela quem vai determinar, em suma, em quanto tempo a estrela vai consumir sua energia. Hoje sabemos que estrelas “peso leve” como o Sol vivem muito, e as massudas, bem menos. O que aconteceu com a Nebulosa do Anel do Sul nos conta a história de uma pequena estrela que viveu por muito tempo, mas

agora está encontrando seu derradeiro fim. Como isso acontece?

Quando estrelas “peso leve” chegam na terceira idade, tudo muda, elas inflam, tornam-se enormes estrelas avermelhadas e suas camadas gasosas são literalmente expulsas para o espaço. A estrela, outrora esbanjando “vitalidade”, torna-se o que conhecemos como anã branca, uma espécie de cadáver estelar de tamanho reduzido. Claro que tudo isso ocorre lentamente, sem grandes explosões, ao contrário do que alguns imaginam. Todavia, esse final não deixa de ser cinematográfico. Ao expulsar suas camadas gasosas, a estrela gera um casulo de gás e poeira ao seu redor o qual, quando emite “luz”

induzida pela estrela anã, forma uma das grandes maravilhas da Astronomia: uma nebulosa planetária. Isso é exatamente o que vemos na Nebulosa do Anel do Sul e o que Herschel viu em seus astros coloridos do século XVIII. O que cria estes astros admiráveis é a interação da radiação da anã branca em processo de morte com os gases outrora expulsos pela gigante vermelha. Essa interação se dá de forma energética, em geral com a estrela bombardeando seus arredores com uma espécie de vento, contendo partículas (prótons e elétrons), além de potentes feixes de radiação ultravioleta. Todo este arsenal faz o gás ao redor da estrela se comprimir e emitir luz, enchendo de cores o espaço ao seu redor. São inúmeras as nebulosas planetárias famosas tais como a Nebulosa da Borboleta, a Nebulosa da Hélice, a Nebulosa Olho de Gato e o nosso destaque, a Nebulosa do Anel do Sul.

Desvendando a Nebulosa do Anel do Sul

Embora possa parecer que conseguimos explicar satisfatoriamente as nebulosas planetárias, as aparências enganam. Há muitas perguntas a serem respondidas e as imagens do JWST chegaram para, literalmente, lançar uma luz sobre algumas das questões que ainda fazem os astrônomos perderem o sono. Uma delas se refere a explicar as inúmeras formas diferentes observadas nas nebulosas

planetárias. Bolhas, arcos, formatos bipolares ou de cones duplos, espirais, assimetrias e coisas ainda mais estranhas são vistas em muitos destes objetos. Uma das hipóteses lançadas é que estes formatos podem ter resultado não apenas de uma, mas de duas ou mais estrelas. Esta hipótese foi lançada há algumas décadas e tem agora, nas imagens em alta resolução da Nebulosa do Anel do Sul, o cenário ideal para serem testadas.

As imagens do JWST foram escolhidas não só por serem as melhores até o momento, mas por detectarem a radiação infravermelha da nebulosa, que é invisível ao olho humano, mas, que neste caso, permite um estudo mais completo dos gases e poeira estelar. Utilizando filtros adequados e combinando-os para gerar as imagens coloridas, os dados nos revelam tanto a parte mais interna da nebulosa, onde o gás é mais quente por estar próximo à estrela, quanto as regiões mais exteriores, onde o gás é mais frio. Isabel Aleman comentou sobre as primeiras impressões da imagem frisando que *“o gás quente é bastante uniforme, mas o gás frio mostra esses pequenos nódulos, raios (jatos) e arcos. As imagens do Webb são muito ricas em detalhes”*.

As imagens não deixam dúvida de que a Nebulosa do Anel do Sul seja formada por um sistema estelar. Isto pode ser notado pela presença de duas estrelas bem juntas

Na próxima página
(Esquerda) imagem obtida com o filtro da faixa estreita centrada em 2120 nm, NIRCam/F212N. (Centro) imagem obtida com o filtro de faixa estreita centrada em 4700 nm, NIRCam/F470N. (Direita) imagem obtida com o filtro de faixa larga centrada em 7700 nm, MIRI/F770W. Repare que as faixas das capturas estão bem distantes da faixa do visível, que vai de aproximadamente 400 nm até 700 nm
(Crédito: JWST).

Como ver o que não vemos?

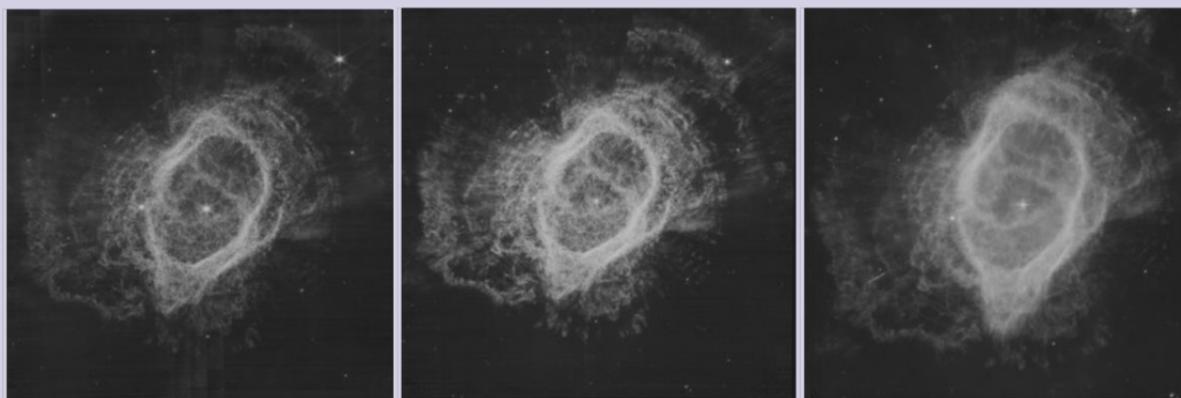
A geração de imagens coloridas através de dados do infravermelho do James Webb

O olho humano é capaz de detectar a radiação eletromagnética numa faixa que chamamos de luz visível. Essa faixa vai do vermelho ao violeta e é a mesma faixa que observamos em um arco-íris. Abaixo do vermelho (energia mais baixa) essa faixa é limitada pelo que chamamos de radiação infravermelha, e acima do violeta (energia mais alta) é limitada pela radiação ultravioleta, ambas invisíveis aos seres humanos.

A luz visível, ao atingir a retina do olho humano, estimula três tipos de células, chamadas cones, um para a luz vermelha, um para a luz verde e outro para a luz azul. Nosso cérebro recebe a informação do quanto cada uma dessas três cores de luz atingiu a retina e faz um processo aditivo das três cores: vermelho, verde e azul. O resultado desse processo é a cor que enxergamos, que pode ser qualquer cor dentro da faixa de luz visível. De forma resumida, podemos dizer que qualquer cor de luz visível é uma combinação das luzes vermelha, verde e azul (o famoso RGB – *Red, Green e Blue*).

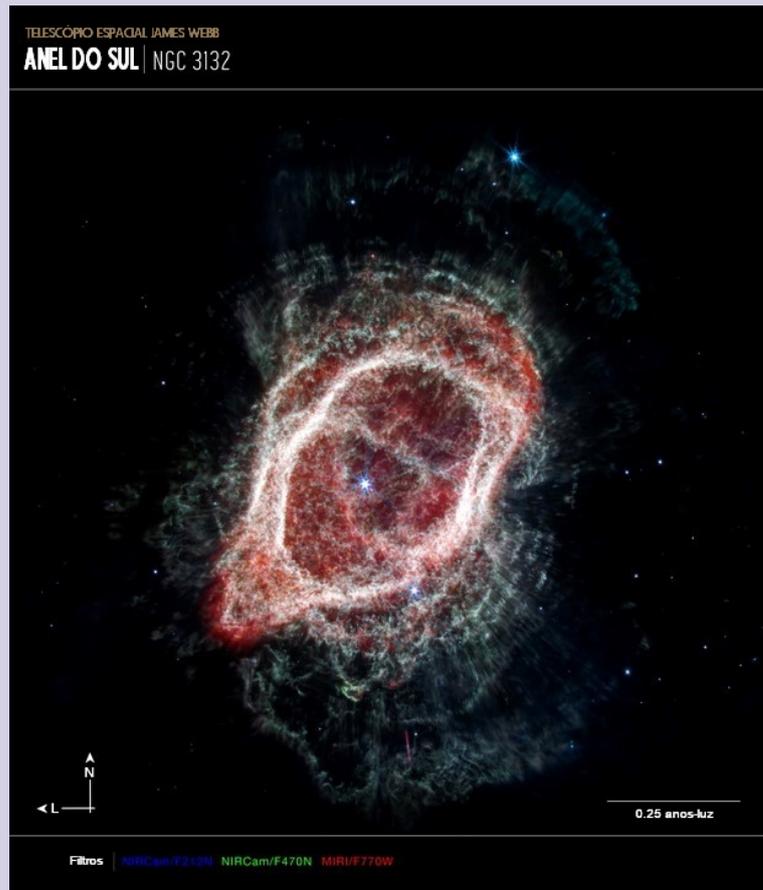
Mais recentemente um novo telescópio, o Telescópio Espacial James Webb, vem ocupando lugar de destaque na Astronomia ao revelar detalhes nunca antes vistos de objetos cósmicos dos mais variados tipos. Todos os seus instrumentos foram projetados para captar a luz na região do infravermelho, ou seja, numa região invisível aos nossos olhos. Como então são geradas imagens coloridas, que somos capazes de ver, a partir de um tipo de luz que não podemos ver?

Cada imagem capturada pelo James Webb é obtida coletando “luz” de uma determinada faixa do infravermelho. A posição e a largura dessa faixa são escolhidas pelos astrônomos, através de filtros, de forma a destacar características cientificamente relevantes do objeto. A imagem resultante é uma imagem monocromática, não tem cor, mas é suficiente para as análises científicas. Ao obtermos três dessas imagens monocromáticas, cada uma com um filtro diferente, podemos através de um software, atribuir cada uma dessas três imagens à tríade RGB e, através de um processo aditivo, combiná-las, e assim obter uma imagem colorida visível para nós.



Esse processo é o mesmo processo de geração de praticamente toda imagem astronômica colorida. Basta escolher três filtros, que selecionarão a luz de determinada faixa do espectro de radiação eletromagnética (visível ou não), associar cada uma das três imagens monocromáticas obtidas ao vermelho, verde e azul (RGB, que é visível) e finalmente combiná-las para obter uma imagem colorida, que nós seres humanos podemos enxergar.

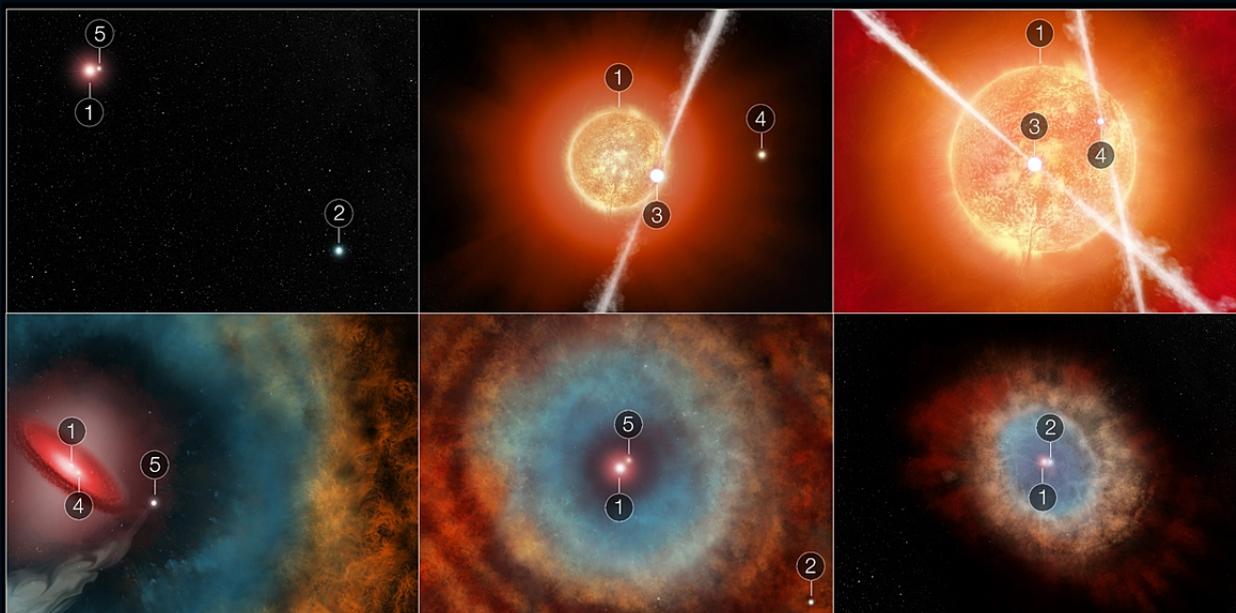
Eis um exemplo de como foi feita uma imagem colorida da Nebulosa do Anel do Sul com dados coletados pelo JWST. As três imagens na página anterior representam imagens monocromáticas obtidas em diferentes faixas do infravermelho, cada uma utilizando um filtro específico. A primeira das três imagens (esquerda) foi, via software, associada ao azul, a segunda (centro) associada ao verde e a terceira e última (direita) associada ao vermelho. Depois, novamente via software, elas são combinadas produzindo a imagem colorida vista neste quadro.



na região central da nebulosa: uma de cor azulada mais brilhante e outra de cor vermelha, mais tênue. Como entender este processo? À medida que os dados foram sendo reunidos, os pesquisadores lançaram hipóteses ainda mais ousadas, de que a estrutura da nebulosa seria formada pela interação entre mais de duas estrelas. As pistas começaram a surgir quando um disco de poeira estelar foi detectado ao redor da estrela mais vermelha. É essa poei-

ra que deixa a estrela avermelhada e foi exatamente dela que os gases que formam a nebulosa foram ejetados. Ela é, como podemos denominar, a estrela que desencadeou o processo de formação da nebulosa. O JWST também flagrou arcos e regiões filamentosas brilhantes, o que segundo a hipótese dos pesquisadores, poderiam ter sido criadas pela interação das duas estrelas centrais na forma de jatos de matéria, há milhares de anos atrás. Ao expandir

Acima
Imagem final colorida da NGC 3132 resultado da combinação das três imagens monocromáticas da Figura anterior (Créditos: NASA, ESA, CSA, O. De Marco, J. DePasquale).



Acima

Concepção artística de todos os processos físicos que devem ter ocorrido para gerar a Nebulosa do Anel do Sul. O painel 1 (superior à esquerda) mostra um campo mais amplo com as estrelas 1, 2 e 5, a última das quais orbita a estrela 1 (estrela mãe) bem mais próxima do que a estrela 2. O painel 2 amplia a cena e duas outras estrelas (3 e 4) são visíveis; a estrela 3 está produzindo jatos. O painel 3 mostra a estrela 1 expandindo à medida que envelhece. Ambas as estrelas 3 e 4 deram origem a uma série de jatos e enviaram material estelar para o espaço. No painel 4, recuamos o zoom para verificar como a luz e os ventos estelares estão gerando uma cavidade semelhante a uma bolha, já com a nebulosa planetária sendo criada. A estrela mãe (1) é cercada por um disco de poeira estelar que a obstrui. No quinto painel, a estrela 5 está interagindo com o gás e a poeira ejetados, gerando o sistema de grandes anéis vistos na nebulosa externa. O sexto painel (inferior à direita) retrata a cena como a observamos hoje, com a estrela mãe (anã branca, 1) e sua companheira mais brilhante (2). Crédito: NASA, ESA, CSA, E. Wheatley (STScI).

e se afastar das estrelas, estes jatos se tornam frios e geram arcos e coisas mais turbulentas.

Os autores usaram simulações computacionais para tentar reproduzir o cenário da nebulosa e obtiveram um excelente acordo com as observações. Essas simulações são geradas por modelos físicos que levam em conta as particularidades das estrelas tais como massa, temperatura, a velocidade com que camadas se expandem, e a composição química dos

gases presentes. Elas indicam que a nebulosa deve ter sido criada de forma a mostrar assimetrias no espaço e no tempo, ratificando ainda mais a hipótese de múltiplo sistema de estrelas. Ao tentar reproduzir a nebulosa em três dimensões via modelos computacionais, confrontados com as imagens do JWST, os pesquisadores enriquecem a ideia original: no passado, ao começar a se expandir e morrer, a estrela vermelha no centro deve ter interagido com

outras duas ou três estrelas, sendo ainda cercada por mais duas estrelas distantes, essas meras espectadoras do espetáculo. Tal hipótese é a única até o momento que poderia explicar os arcos e jatos assimétricos, embora nem todas tenham sido detectadas pelo JWST. Para De Marco, *“Assim que vimos os jatos, sabíamos que deveria haver outra estrela ou mesmo outras duas estrelas envolvidas na parte central, então acreditamos que haja uma ou duas companheiras muito próximas, uma adicional a meia distância e uma muito distante. Se for esse o caso, há quatro ou até cinco objetos envolvidos nessa morte confusa”*.

Essa descoberta surpreendente apoiada em fortes evidências oriundas das imagens do JWST e sendo reproduzida por modelos astrofísicos não deixa de ser audaciosa mesmo quando pensamos que sistemas estelares são bem comuns na nossa galáxia. Verificar as consequências de interações estelares em etapas evolutivas tardias nos permite compreender melhor estes estágios que são bastante curtos se comparados aos estágios iniciais da vida das estrelas.

Embora tenha nascido com quase 3 vezes a massa do Sol, a estrela anã branca responsável pela Nebulosa do Anel do Sul tem hoje aproximadamente 60% da massa da nossa estrela. Sua estrela companheira detectada pelas imagens do JWST é uma estrela ain-

da em idade adulta, mas que provavelmente não teve participação direta na formação da nebulosa por estar relativamente distante e ser bem mais fria que a estrela mãe.

Qual a importância desta descoberta? O cenário para formação da Nebulosa do Anel do Sul começa a ser desvendado pelas imagens do JWST e abre caminho para outras análises destes astros que desafiam os astrônomos há mais de dois séculos. Em mais de 5 bilhões de anos no futuro, espera-se que nosso Sol torne-se também uma nebulosa planetária, após seu longo período de vida como a estrela que conhecemos. Ao estudar NGC 3132, damos passos importantes para conhecer o futuro da nossa própria estrela. Os restos de astros como NGC 3132 contribuem para o enriquecimento químico da Via Láctea, indicando que elementos químicos tais como carbono, oxigênio e nitrogênio serão depositados nos braços da Galáxia, propiciando a formação de novas estrelas, planetas e quiçá, a vida.

Como que montando um quebra-cabeças, os autores do trabalho apresentam um enredo pomposo

Para saber mais

Artigo original sobre NGC 3132

The messy death of a multiple star system and the resulting planetary nebula as observed by JWST

De Marco, O. et al. 2022, *Nature Astronomy*, vol. 6, pp.1421–1432

<https://www.nature.com/articles/s41550-022-01845-2>

para um verdadeiro teatro da morte estelar: há aproximadamente 2500 a 5 mil anos um sistema estelar de 4 ou 5 estrelas começou a ruir quando sua estrela principal se tornou uma gigante vermelha e interagiu diretamente com uma ou duas estrelas em sua vizinhança. A interação entre estas estrelas pode ter produzido os jatos e arcos que observamos nas regiões exteriores de NGC 3132. A interação da estrela mãe com sua companheira mais próxima ou o par estelar produziu um disco de poeira estelar denso, o qual deixou a estrela mãe obstruída. Não se sabe se essas estrelas ainda estão lá ou foram engolidas pela estrela mãe. Um pouco mais afastado, a uma distância equivalente a 40–60 unidades astronômicas, uma outra estrela companheira deve estar presente e ter papel importante na formação da estrutura interna da nebulosa, direcionando, ou mesmo varrendo por ventos estelares, o material do centro para fora. Em uma órbita ainda mais longa, a estrela atualmente mais brilhante do sistema participa de forma mais modesta desta aventura. Muita coisa parece ter acontecido para gerar a nebulosa como a conhecemos hoje. Este processo, entretanto, não é imutável, ele não para.

Esta aventura espaço-temporal nos revela os restos de uma morte estelar sendo moldada por estrelas companheiras em um ce-

nário dramático. O ato final parece ser, entretanto, glorioso, estabelecendo novamente as nebulosas planetárias como verdadeiros tesouros cósmicos da Via Láctea. Com o JWST uma nova era de ouro da exploração das nebulosas planetárias se inicia, tal como verificamos há 30 anos com o surgimento do Telescópio Espacial Hubble. Certamente estes belos objetos continuarão a nos brindar com seu fascínio multicolor •

Daniel Mello, Igor Borgo & Denise Rocha Gonçalves
Univ. Fed. do Rio de Janeiro
mello@ov.ufrj.br



O satélite Gaia

Silenciosamente, e relativamente longe das manchetes, um satélite vem gerando dados ímpares sobre nossa Galáxia e seu ambiente. Conheça o satélite Gaia!

Uma das informações mais importantes sobre uma estrela é sua distância. Para podermos mapear a distribuição de estrelas na nossa Galáxia, precisamos de três coordenadas (necessárias sempre que quisermos localizar qualquer coisa no espaço tridimensional em que vivemos) para cada uma. Duas dessas são a ascensão reta e a declinação, que localizam a estrela na esfera celeste. Determinar essas coordenadas é relativamente

simples. A terceira coordenada vem da distância até a estrela. Uma outra utilidade muito importante da distância é permitir determinar o quão intrinsecamente brilhante a estrela é. Duas estrelas podem parecer ter o mesmo brilho mesmo quando uma delas emitir muito mais energia que a outra, caso esteja muito mais longe de nós. A distância compensa o brilho maior, e ambas estrelas terminam parecendo ter o mesmo brilho. Ao determinar a distância, po-

Página anterior

Representação do Gaia no espaço (Crédito: ESA).

Abaixo

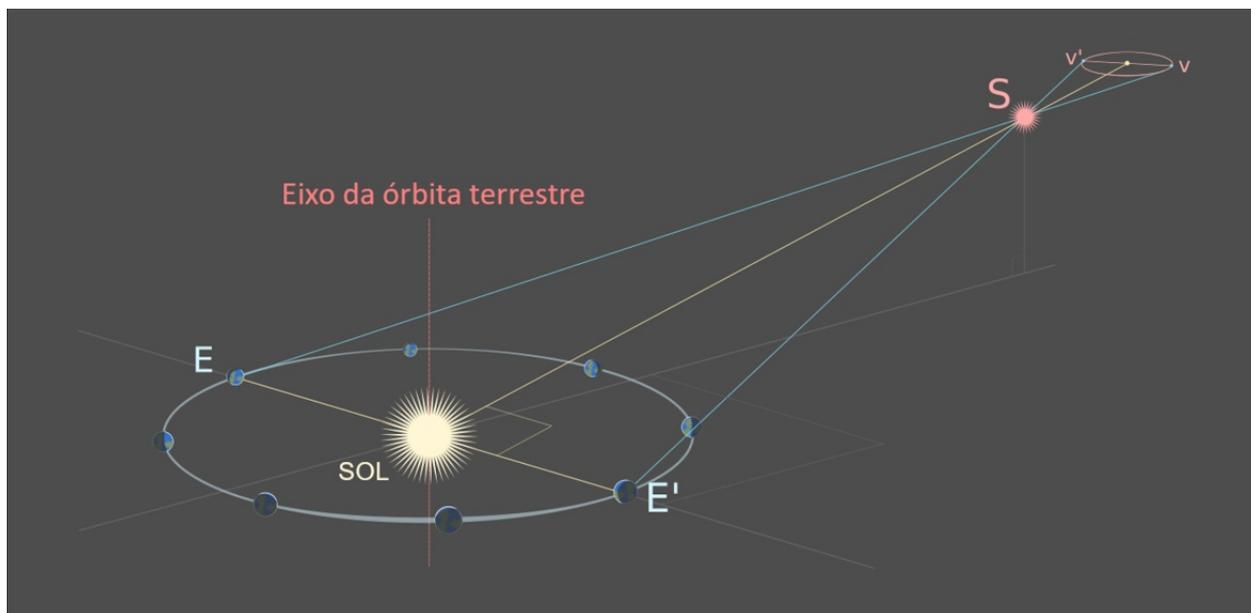
Representação da medição da paralaxe. Fotos da estrela S são tiradas a partir de dois pontos da órbita da Terra, E e E', pelos quais a Terra passa com 6 meses de separação um do outro. Conhecendo a distância da Terra ao Sol, a paralaxe (o ângulo do vértice S) da estrela determina sua distância (Crédito: WikiCommons).

de-se calcular qual brilho cada estrela teria se estivesse a uma distância padrão, e assim podemos comparar as duas. O brilho intrínseco de uma estrela é um dado muito importante, pois através dele pode-se determinar, de forma indireta, muitas outras informações como, por exemplo, a massa, o tamanho e a temperatura da estrela.

A separação típica entre as estrelas é muito grande. Por exemplo, a estrela mais próxima ao Sol que batizamos como Proxima Centauri, e está a 40.208.000.000.000 km (quarenta trilhões, duzentos e oito bilhões de quilômetros). Isso é tão longe que a sonda Voyager 1, um dos objetos mais velozes criados pelo ser humano, que se afasta do Sol a uma velocidade de 62.000 km/h, levaria 74 mil anos para chegar lá, se estivesse viajando em sua direção. São distâncias muito maiores que

essa que precisamos medir.

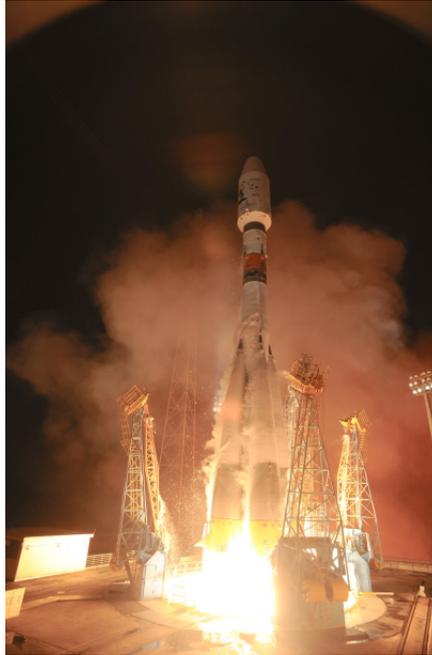
A única forma direta de determinar a distância até uma estrela é medir sua paralaxe. A técnica faz uso de conceitos básicos de trigonometria. Se conhecemos o tamanho da base de um triângulo isósceles e o ângulo subtendido por essa base, podemos facilmente calcular a altura do triângulo. Um exemplo mais (literalmente) pé no chão do uso dessa técnica é a medição de distâncias em terra para fins, geralmente, de engenharia civil ou cartográfica, usando um teodolito. O teodolito é um instrumento ótico que permite medir pequenos ângulos com grande precisão. Num ponto da reta que se deseja medir o tamanho, se coloca um alvo de tamanho conhecido. Pode ser, por exemplo, uma vareta de metal com 2 metros de altura. No outro ponto da reta, o teodolito é usado para medir o ângulo compreendi-



do pelo alvo. Pronto! Conhecendo o tamanho do alvo (ou seja, o tamanho da base de um dos lados desse triângulo) e o ângulo compreendido entre o alvo e a reta teodolito-alvo, um simples cálculo possibilita determinar a distância entre o teodolito e o alvo.

Como aplicar esta técnica à medição de distâncias estelares? O que se faz é fotografar a estrela em duas ocasiões separadas por 6 meses. Desta forma, as duas fotos são feitas em pontos do espaço separados por 2 vezes a distância da Terra ao Sol (porque em 6 meses a Terra dá meia volta em torno do Sol). Esta distância conhecida é a nossa base, equivalente ao tamanho do alvo. Só que no caso do teodolito, o alvo tem 1 a 2 metros de tamanho, enquanto que no caso da medição da paralaxe estelar, a base, isto é, o diâmetro da órbita da Terra, tem 300 milhões de quilômetros. O ângulo que precisamos medir corresponde àquele que subtende a base se visto a partir da estrela. E como se faz esta medição? Comparando a posição da estrela em relação a outras mais distantes que estejam na mesma foto, pode-se perceber que a posição muda. Essa variação é o ângulo desejado, denominado paralaxe.

Infelizmente, mesmo com uma base tão grande, as estrelas estão tão longe que os ângulos típicos que devem ser medidos são minúsculos. Vamos novamente comparar o uso do teodolito com a me-



Ao lado
Lançamento do Gaia em 19 de dezembro de 2013, a bordo de um foguete Soyuz a partir da base espacial Kourou, na Guiana Francesa.

dição da paralaxe estelar. Se a distância do teodolito ao alvo for de 500 metros e o alvo tiver 1 metro, o ângulo será de 0,11 graus, ou 7 minutos de arco. No caso da distância até Próxima Centauri, o ângulo é de 0,0002 graus, ou 0,8 segundos de arco. Este ângulo é 536 vezes menor que o do exemplo do teodolito. Pois bem, não é, na verdade, um ângulo tão pequeno assim, tão difícil de medir. Mas é a paralaxe da estrela mais próxima! É a maior paralaxe estelar existente. Qualquer outra estrela terá paralaxes ainda menores. Uma estrela localizada no centro de nossa Galáxia tem paralaxe de apenas 0,000125 segundos de arco, ou 125 μ s (125 microssegundos de arco), um valor 6.400 vezes menor que a paralaxe de Próxima Centauri.

Para facilitar as contas, criou-se uma unidade de medida de dis-

tância chamada parsec (abreviada como pc). Uma estrela está a 1 pc de distância do Sol se sua paralaxe for de 1 segundo de arco. O nome parsec é derivado de “*PARallax of 1 arcSECond*”. Usando essa unidade, a distância do Sol até uma estrela em parsecs vale 1 dividido pelo valor da paralaxe em segundos de arco. 1 pc é igual a 3,2616 anos-luz ou 31 trilhões de quilômetros. Nessa unidade, Proxima Centauri encontra-se a 1,3 pc de distância de nós.

Se a medida for feita usando telescópios em terra, só é possível obter paralaxes precisas para as estrelas mais próximas. O limite de distância para se conseguir medir com erro máximo de 10% é de 10 pc. Isso se deve a que variações nas condições atmosféricas, como turbulência, por exemplo, limitam a medição de ângulos com erro máximo de 10% a

10 mas (10 milissegundos de arco). Apenas 2.000 paralaxes estelares foram determinadas com erro máximo de 10% usando telescópios em terra.

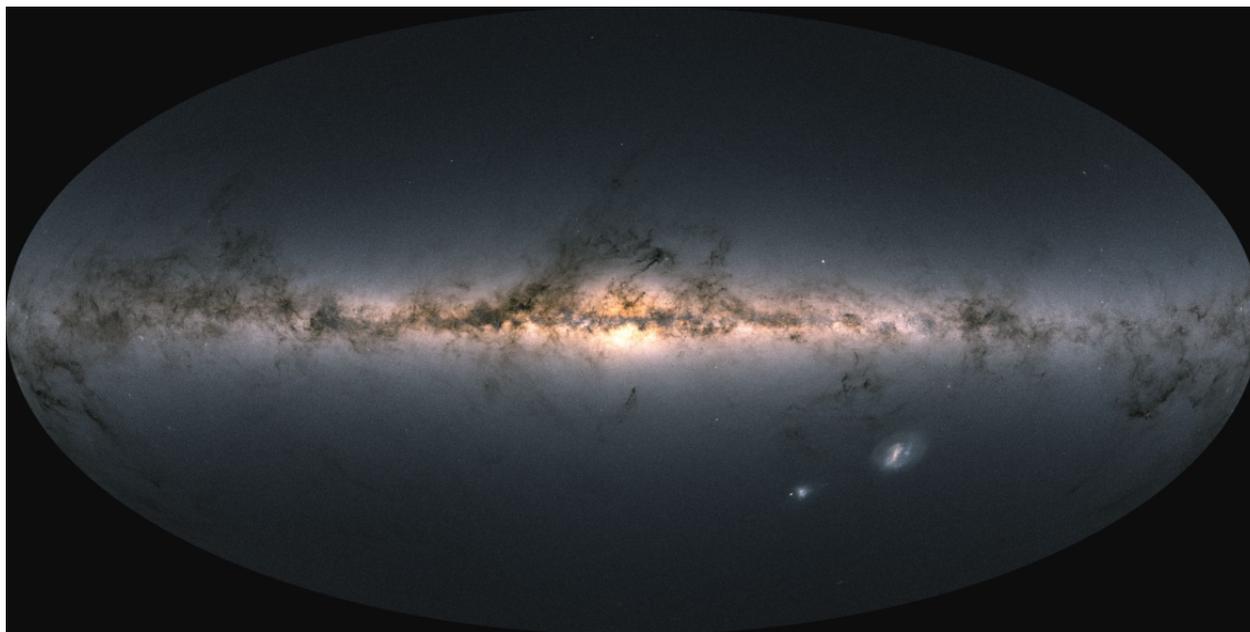
O uso de telescópios espaciais permite a determinação de paralaxes bem menores que 10 mas com erro máximo de 10 %, principalmente pela inexistência de atmosfera.

O primeiro grande levantamento de paralaxes estelares feito por um satélite foi o Hipparcos, desenvolvido pela Agência Espacial Europeia, e que operou entre 1989 e 1993. O Hipparcos conseguiu medir paralaxes de 1 mas com erro máximo de 10%. Isto aumentou o limite de distância de 10 pc para 100 pc, resultando em distâncias com erro máximo de 10% para 30.000 estrelas.

O sucessor do Hipparcos é o satélite Gaia, tema principal deste ar-

Abaixo

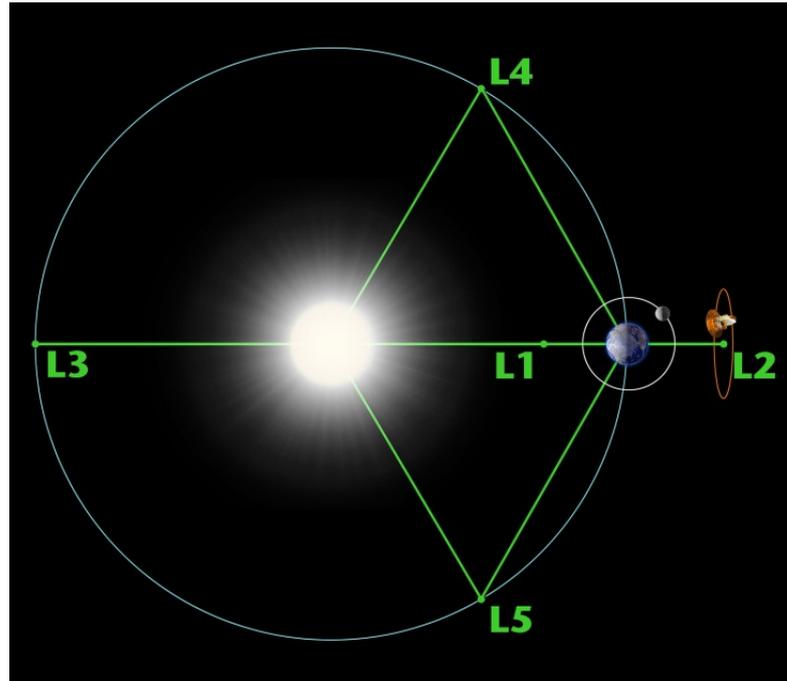
A Galáxia vista pelo Gaia em seu catálogo intermediário conhecido como EDR3. Cada ponto luminoso corresponde a uma de 1.8 bilhões de estrelas observadas pelo satélite. A cor com a qual cada objeto é representado se baseia nos dados fotométricos coletados pela missão (Crédito: ESA/Gaia/DPAC).



tigo. Gaia, também desenvolvido pela ESA, entrou em operação em 2014 e deve continuar até o começo de 2025. Ele consegue medir paralaxes de apenas 10 μ as com erro máximo de 10%. Isto aumentou muito a distância máxima, de 100 pc com o Hipparcos para 10.000 pc (ou 10 kpc) com o Gaia. Este limite permite determinar distâncias precisas para estrelas localizadas além do centro da Galáxia, que fica a 8 kpc do Sol. O catálogo mais recente do Gaia contém distâncias para cem milhões de estrelas com erro máximo de 10% (uma base de dados 3.300 vezes maior que a do Hipparcos).

O satélite orbita em torno do ponto de Lagrange L2 do sistema Terra-Sol. O L2 é um ponto no espaço onde a atração gravitacional do Sol anula exatamente a atração gravitacional da Terra. Um satélite que orbite o L2, como o Gaia, acompanha a Terra em sua revolução em torno do Sol de forma estável, sem ser atraído nem pela Terra, nem pelo Sol. O ponto de Lagrange L2 se localiza a 1.500.000 km (um e meio milhão de quilômetros) da Terra ao longo da reta que liga a Terra ao Sol, do lado mais afastado do Sol.

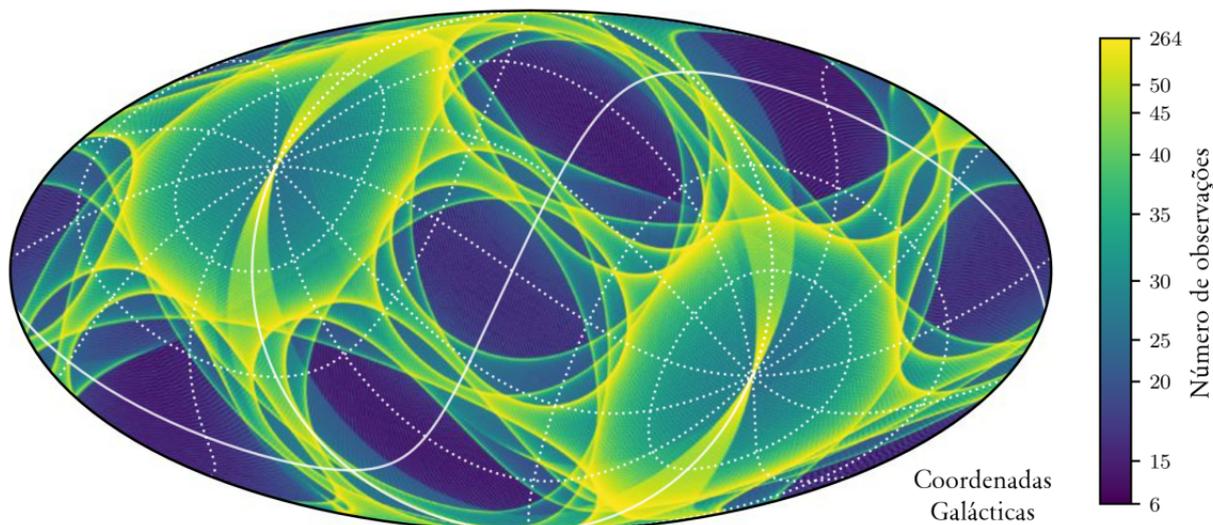
Gaia é composto por dois telescópios fixos na estrutura do satélite que apontam para duas direções diferentes, separadas por 106,5 graus. O satélite gira lentamente, a uma velocidade angular de 1 grau por minuto, completan-



do assim uma volta em torno de seu próprio eixo a cada 6 horas. Somado ao movimento de rotação há uma precessão. Este movimento pode ser percebido como uma modificação lenta e contínua da direção do eixo de rotação do satélite. Graças à precessão, o Gaia é capaz de varrer a esfera celeste completa. O movimento não é uniforme; algumas regiões da esfera são observadas mais vezes que outras. Em média, cada estrela é observada pelo Gaia uma vez a cada mês. Até o fim de sua operação, o Gaia terá observado cada uma das estrelas alvo, em média, 150 vezes.

Os dois telescópios do Gaia têm como instrumento um conjunto de 106 CCDs (o tipo de sensor que é responsável por gerar as imagens em máquinas fotográficas digitais) num total de quase 1 bilhão

Acima
Os pontos de Lagrange do sistema Terra-Sol. Nestes pontos a atração gravitacional da Terra anula a atração do Sol, permitindo que um satélite possa permanecer de forma estável nessa localização. O Gaia orbita o ponto de L2 do sistema Terra-Sol.



Acima

A cobertura do céu realizada pelo Gaia é bastante desigual. O mapa mostra que algumas regiões do céu foram visitadas muitas vezes mais do que outras. Isso se deve à posição do Gaia no ponto lagrangeano L2 do sistema Terra-Sol, bem como à precessão do satélite ao redor desse ponto. O mapa usa o sistema de coordenadas galácticas; a linha branca sólida corresponde ao equador celeste (Crédito: Douglas Boubert, Andrew Everall, Berry Holl).

de píxeis. Os CCDs são lidos continuamente, como se um vídeo estivesse sendo gravado, e não como se estivessem tirando fotos. Informações numéricas são obtidas para cada fonte observada, em tempo real, e apenas estas informações são armazenadas. Nenhuma imagem gerada pelos CCDs do Gaia é mantida. Mesmo sem guardar as imagens, os dados do satélite ocupam um volume da ordem de petabytes (PB), equivalente a 1000 TB (terabytes), tamanho típico de um HD atual.

Associados aos CCDs há diversos equipamentos, como, por exemplo, fotômetros que permitem medir a intensidade luminosa de cada estrela em duas faixas diferentes de cor (azul e vermelha) e um espectrômetro que permite determinar a velocidade radial.

Quando os dados de um instrumento são imagens, como é o caso do Gaia, é necessário transformar as imagens, de alguma for-

ma, em informação numérica, que pode então ser analisada. A essa transformação se dá o nome de “redução”. Normalmente a redução é realizada pelo cientista que iria analisar esses dados numéricos. No entanto, no caso do Gaia, tanto a redução quanto a análise são tão complexas, que estas são feitas antes dos dados serem disponibilizados aos cientistas, por uma equipe de 450 engenheiros e cientistas do projeto, reunidos no chamado DPAC (*Data Processing and Analysis Consortium* – Consórcio para Processamento e Análise de Dados). O DPAC é dividido em 9 Unidades de Coordenação (UC), cada uma responsável por um conjunto de atividades.

Os dados obtidos pela análise das observações do Gaia foram planejados para terem seu acesso liberado aos poucos, à medida que as observações forem sendo feitas e as análises forem sendo concluídas.

Conheça as Unidades de Coordenação (UC) do DPAC/Gaia

UC1: Arquitetura do sistema. Cuida de questões de arquitetura das facilidades utilizadas no projeto, como o gerenciamento da base de dados.

UC2: Simulações de dados. Criação de simulações para testar e validar os sistemas usados pelas outras UCs.

UC3: Processamento principal. É a mais importante do projeto e que conta com o maior número de pessoas. Esta UC é responsável pelo processamento e resultados mais fundamentais do projeto, os principais objetivos do Gaia: determinar posições e velocidades no espaço para as estrelas observadas, de forma autoconsistente e independente de referências externas. É nesta UC que eu trabalho, no grupo da Universidade de Heidelberg, Alemanha, responsável pelo “First Look”, que é a análise inicial dos dados recebidos do satélite durante um dia de operação. Esta análise tem como objetivo detectar possíveis problemas nos sistemas do satélite e sugerir soluções para esses problemas. Também é analisada a qualidade dos dados e sua adequação para uso científico.

UC4: Processamento de objetos. Responsável por processar dados astrométricos (posição e velocidade 3D) e fotométricos (medida da luminosidade) para objetos complexos não tratados pela UC3 e UC5, tais como estrelas binárias e sistemas múltiplos e objetos do Sistema Solar.

UC5: Processamento fotométrico. Medidas da luminosidade em diversas faixas de cor (ou seja, intervalos de comprimento de onda da luz).

UC6: Redução espectroscópica. Inclui a redução inicial dos dados, assim como a determinação das velocidades radiais (afastamento ou aproximação da estrela ao longo da linha de visada) e rotacionais de estrelas isoladas.

UC7: Processamento de variabilidade. Análise de estrelas de luminosidade variável, incluindo, por exemplo, a construção de curvas de luz (gráfico mostrando a luminosidade em função do tempo).

UC8: Parâmetros astrofísicos. Determinação de parâmetros fundamentais estelares (temperatura, gravidade, abundância de elementos químicos, idade, dentre outros).

UC9: Acesso ao catálogo. Esta UC trabalha na compilação dos resultados do Gaia em bancos de dados acessíveis livremente, sem custo, por absolutamente qualquer pessoa que tenha acesso à Internet, incluindo os leitores da Revista Brasileira de Astronomia! O acesso pode ser feito pelo Gaia Archive no seguinte link:

<https://gea.esac.esa.int/archive/>

Os dados são públicos e podem ser usados por qualquer um, para quaisquer fins, bastando para isto que o usuário agradeça e dê crédito ao “ESA/Gaia/DPAC”.

O Catálogo DR3, recentemente disponibilizado, nos permite construir o mapa mais preciso jamais visto de nossa Galáxia! São resultados importantíssimos e fundamentais para podemos compreender mais profundamente o nosso lugar no Universo.

O mais importante dos resultados é a determinação precisa dos 6 parâmetros astrométricos para 882 milhões de estrelas a distân-

cias de até 10 kpc do Sol. Estes 6 parâmetros são 3 coordenadas espaciais (ascensão reta e declinação, que localizam a estrela na esfera celeste, e distância) e 3 velocidades (movimentos próprios em ascensão reta e declinação, que correspondem aos movimentos na esfera celeste, e velocidade radial, que é a velocidade com que a estrela está se aproximando ou se afastando do Sol).

Produtos principais do Gaia

Eis um breve resumo sobre os principais catálogos do Gaia. Cada um deles é conhecido como “DR”, do inglês “Data Release” (Disponibilização dos Dados):

DR1

- Liberado em setembro de 2016.
- Baseado em 14 meses de observações (julho/2014 a setembro/2015).
- 1,1 bilhão de objetos observados. 2 milhões de estrelas com 5 parâmetros astrométricos medidos (posições 3D e velocidades projetadas na esfera celeste).

DR2

- Liberado em abril de 2018.
- Baseado em 22 meses de observações (julho/2014 a maio/2016).
- 1,7 bilhão de objetos observados. 1,3 bilhão de estrelas com 5 parâmetros astrométricos medidos.

DR3

- Liberado em junho de 2022.
- Baseado em 34 meses de observações (julho/2014 a janeiro/2020).
- 1,8 bilhão de objetos observados. 882 milhões de estrelas com 6 parâmetros astrométricos medidos.

DR4

- Previsto para não antes do fim de 2025.
- Baseado em 66 meses de observação, equivalentes à duração total da missão nominal do Gaia (julho/2014 a dezembro/2019).
- Deverá conter o resultado de todas as análises, sendo o catálogo completo com todos resultados esperados da missão nominal do Gaia.

DR5

- Previsto para não antes de 2030.
- Baseado em 10 anos de observações, equivalentes à missão nominal de 66 meses do Gaia somadas às extensões de operação que devem ocorrer até meados de 2025.
- Será o catálogo mais completo da missão, obtido pela análise de todos os dados coletados.

Apesar de não produzir fotos bonitas, de forte impacto visual, como o JWST, o Gaia é um projeto revolucionário e importantíssimo para o conhecimento da nossa Galáxia e do Universo. Nunca antes obtivemos informações ao mesmo tempo tão abundantes e tão precisas sobre tantas categorias de objetos celestes, de objetos do Sistema Solar (158 mil, no DR3) até o mais longínquos quasares (6,4 milhões de candidatos com distância estimada, no DR3) •

Eduardo Fernandez del Peloso
GAIA/DPAC/CU3
eduardodelpeloso@gmail.com

QUER ESTUDAR ASTRONOMIA?

Descubra onde

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Ingresso via ENEM/SiSU

<http://ov.ufrj.br/graduacao>

☎ (21) 2263-0685 ✉ ov@astro.ufrj.br

Universidade de São Paulo

Ingresso via ENEM/SiSU, vestibular da Fuvest
ou sendo medalhista em competições científicas (olimpíadas)

<http://www.iag.usp.br/bacharelado-em-astronomia>

☎ (11) 3091-2800 ✉ astronomia@iag.usp.br

Universidade Federal de Sergipe

Ingresso via ENEM/SiSU

<http://www.ufs.br>

☎ (79) 3194-6630 ✉ ufs.fisica@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ingresso via ENEM/SiSU e vestibular próprio

<http://ufrgs.br/astro>

☎ (51) 3308-6439 ✉ secretaria.astro@if.ufrgs.br





O evento Tunguska

Na manhã de 30 de junho de 1908, exatamente às 7 horas e 14 minutos, um objeto vindo do espaço, causava enorme destruição na Sibéria.

Naquele dia, na região de Tunguska, uma desolada e ampla taiga siberiana, tudo parecia normal para algumas tribos nômades, que usufruíam das temperaturas amenas do verão. Em momento algum poderiam imaginar que seriam testemunhas de um evento cósmico de proporções apocalípticas.

Subitamente ouviram um barulho ensurdecedor com um imenso clarão no céu seguido por uma cascata de fragmentos luminosos.

O solo tremeu, viram suas vestes rasgadas, incendiadas e foram atirados à distância. O céu se partiu em dois, um fulgor semelhante ao Sol e uma ardente coluna de fumaça escura se ergueu alcançando mais de 20 quilômetros de altura. Uma sucessão de trovões e tiros como se fossem de canhões, varreram um raio de 100 quilômetros atingindo homens, animais, cabanas e bosques. Não há relatos de perdas humanas, mas estimam-se que mil renas perderam

a vida. Durante um tempo interminável, a terra tremeu em sucessivas ondas e toda a região foi atingida por uma chuva negra. Milhões de árvores tombaram incineradas numa posição de cima para baixo por um súbito e instantâneo furacão de fogo e calor que secaram riachos e lagos. A explosão arrasou 3.100 quilômetros quadrados de taiga e milhares de russos da região compreendida entre o rio Tunguska e a estrada de ferro Transiberiana, assistiram perplexos um objeto cilíndrico de cor branco-azulado, silencioso, cruzar os céus a uma altura de 5 a 7 mil metros. O ruído foi ouvido num raio de 800 quilômetros de distância fazendo com que o maquinista parasse o trem convencido de um descarrilamento.

O míssil cósmico deveria ter 50 a 60 metros de diâmetro e desintegrou-se a uma altura de 5 a 7 mil metros a uma velocidade de 40 km/s num ângulo de 30 graus com relação à superfície terrestre e de 115 graus ao norte.

Em 1975, Ari Bem Menahem, sismólogo do Instituto de Ciência Weizmann em Behovot, Israel, analisando as ondas sísmicas deflagradas, estimou que a intensidade da energia liberada se situava entre 10 e 15 megatons, equivalente a mil bombas atômicas de Hiroshima! A explosão foi de tal magnitude que os sismógrafos de todo o mundo acusaram o impacto. Algumas horas após a explo-



são, nuvens prateadas imensas e luminosas, cobriram o norte da Rússia assim como boa parte da Europa. A luz noturna era tão intensa que durante dois dias em cidades como Londres, Viena e Berlim, foi possível ler jornal durante a noite sem ajuda de luz artificial.

Acima
Árvores retorcidas ao redor do epicentro de Tunguska (Crédito: Nicolay Sidorov/WikiCommons).

Abaixo
Região do epicentro do evento Tunguska, nos dias atuais (Crédito: A. Ol'Khovatov).



De acordo com os especialistas, nas cinco horas seguintes à explosão, violentas correntes de ar açoítaram o norte da Europa e durante 20 minutos os barômetros de seis estações inglesas calcula-

Página anterior
Representação artística do evento Tunguska (Crédito: William Hartmann).

ram que as massas de ar deram duas voltas ao redor do mundo! Distúrbios no campo magnético da Terra foram registrados a 900 quilômetros a sudoeste do epicentro pelo Observatório Irtusk, mais tarde comparado aos produzidos por uma explosão nuclear na atmosfera.

O isolamento físico da Sibéria Central, congelada de oito a nove meses do ano, dominada por florestas de taiga e pântanos infestados de mosquitos, e a precária falta de comunicação, fez com que somente em 1921 uma expedição liderada por Leonid Alexejewitsch Kulik, (1883-1942) especialista em meteoritos da Academia Russa de Ciências, obtivesse recursos para viajar até Tunguska.

Ao lado

Leonid Alexejewitsch Kulik, pioneiro no estudo do evento Tunguska.



Lá chegando, testemunhas e valiosos depoimentos confirmaram

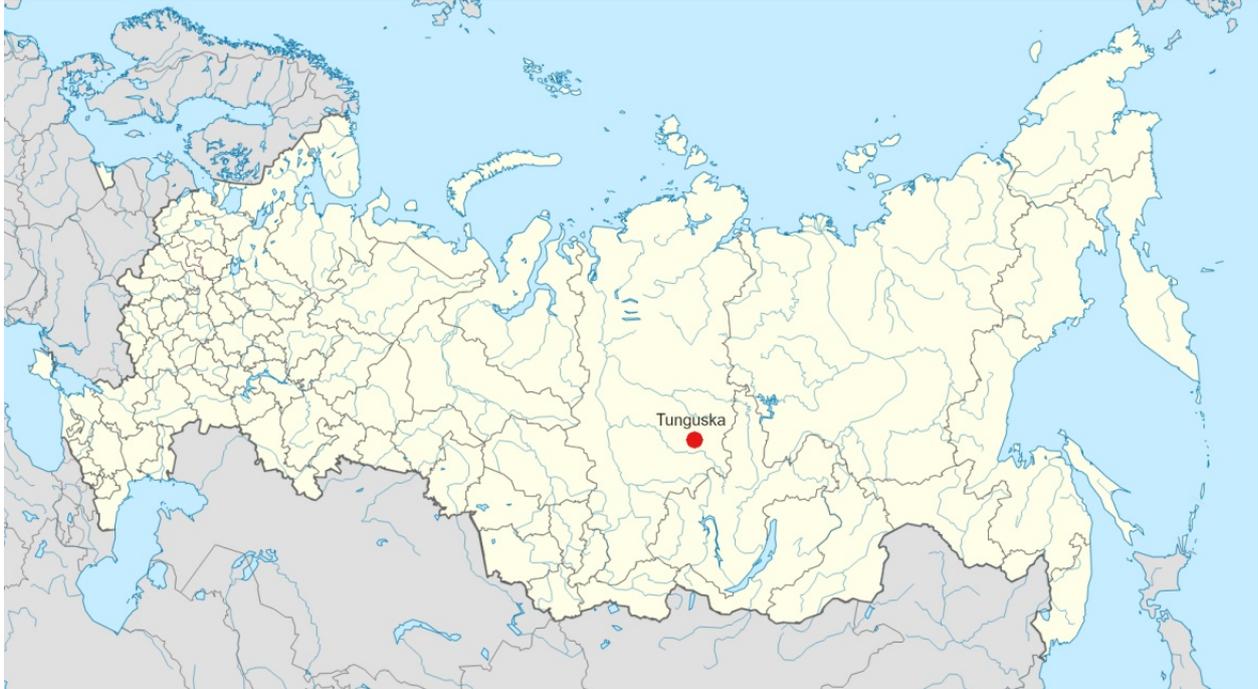
o já sabido, mas como era de esperar, o suposto objeto cósmico que seria um meteorito, não apareceu. A falta de meios e a proximidade do inclemente inverno, truncaram essa primeira tentativa. Mas Kulik não se rendeu e começou a agir e preparar uma segunda expedição que foi materializada em fevereiro de 1927.

Nesses seis anos trabalhou intensamente colhendo todo tipo de dados e informações que pudessem elucidar o enigmático quadro da explosão de 1908. Graças à colaboração de outros cientistas, continuou convencido que se tratava da queda de um importante corpo sideral.

Segundo o geólogo russo S. V. Obruchev que procurou ouvir os habitantes da região, constatou-se que eles tinham uma atitude de profundo respeito pelo fenômeno e que ele fora enviado em sinal de castigo e por isso procuravam até mesmo ocultar o local da queda do artefato.

Ao desembarcar em Kunsck, a 600 quilômetros do rio Tunguska, Kulik ficou impressionado com testemunhas que contaram que naquela manhã de 30 de junho de 1908, uma explosão subterrânea estremeceu toda a cidade fazendo os objetos caírem dos armários e prateleiras e os lustres balançarem inexplicavelmente.

Contudo, acompanhando os riachos Chambem e depois o Markirta, foi na aldeia de Vanavara, distante somente 65 quilômetros



do local da queda, que os relatos mais impressionantes foram colhidos.

No dia 8 de abril, Kulik viu que sua meta estava ao alcance da mão. Adentrou na taiga em companhia de seu guia e tradutor, Ilya Potacovich. No dia 13, após viagem de cinco dias vencendo intrincados e pestilentos pântanos de taiga, abriu-se o palco da grande explosão de 1908, excedendo a tudo que haviam contado as testemunhas e superado todas as expectativas de Kulik: um cenário devastador! Milhares de troncos de pinheiros e bétulas jaziam derubados pela onda expansiva apresentando estranhas queimaduras.

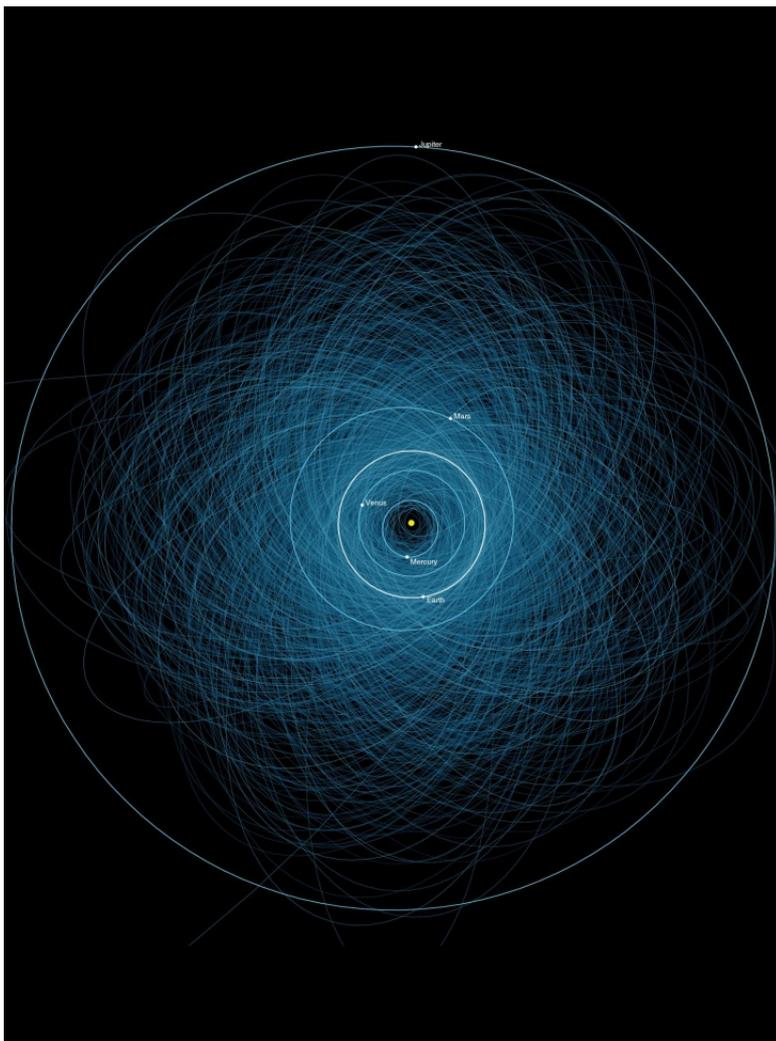
Kulik voltou em 1928 e depois em 1929. E não satisfeito, novamente em 1938/39. Muitas hipóteses têm sido feitas para a origem

do artefato que atingiu o local, desde pequenas quantidades de antimatéria, asteroide, meteoróide, pedaço de cometa e até mesmo explosão de uma nave extraterrestre.

Em 1946 o escritor de ficção científica Alexander Petrovich Kazantsev (1906-2012), engenheiro russo, explicando a cena enigmática, criou um cenário no qual uma nave alienígena teria explodido na atmosfera devido ao colapso de um gerador nuclear da espaçonave.

Essa hipótese criada por Kazantsev se baseou num cilindro branco-azulado observado por testemunhas. Mais tarde cientistas como E. Zolotov, Plenajov em 1959 e Nekrasov em 1961, demonstraram que o índice de radioatividade no epicentro da catástrofe era quase duas vezes superior ao

Acima
Mapa da Rússia, mostrando a localização de Tunguska (Crédito: Nicolay Sidorov/WikiCommons).



Acima

Visualização da órbita de todos os asteroides conhecidos que podem atingir a Terra em algum momento no futuro. Colisões entre a Terra e pequenos corpos do Sistema Solar não foram (e tampouco serão) infrequentes ao longo da história do planeta. O evento Tunguska se encaixa bem nessa hipótese. (Crédito: JPL/NASA).

admitido como normal. Nas amostras coletadas apareciam também restos de cobalto, níquel, cobre e germânio.

O astrônomo tcheco Lubor Krešák sugeriu que poderia ser fragmento que se separou do cometa Encke, responsável pela chuva de meteoros Beta Taurídeos, uma vez que o evento coincidiu com o pico dessa chuva. Em 1983, o astrônomo americano Z. Sekanina concluiu que o artefato teria sido um objeto denso, rochoso provavelmente de origem asteroidal do ti-

po Apollo que passam rasantes à Terra. Para se esfacelar com o atrito na alta atmosfera teria que ser do tipo E de baixa densidade onde predominam rochas.

Em 1993, os pesquisadores Chris Chyba, Paul Thomas e Kevin Zahnle estudando a explosão da Sibéria, concluíram que foi um tipo de meteoróide rochoso (aerólito) que explodiu na atmosfera. Essa conclusão foi reforçada quando pesquisadores russos encontraram fragmentos finos de partículas rochosas entranhadas nas árvores da região da colisão, combinando com a composição química dos aerólitos. A hipótese ganhou novo fôlego em 2001, após Farinella e Foschini publicarem um estudo que sugere que o objeto em questão veio da direção do cinturão de asteroides.

Novas explorações feitas por cientistas italianos, encontraram evidências de uma possível cratera de impacto no fundo do lago Cheko com 50 metros de profundidade no centro, encostas fortemente inclinadas reproduzindo a forma de um funil que teria se formado por destroços do astro intruso. No fundo do lago foram encontrados troncos de árvores semienterrados o que confirma sua existência anterior ao evento de 1908.

Outros estudos apontam para um pedaço do núcleo de um cometa extinto com um manto pedregoso. Após muitas passagens pelo periélio, os cometas perdem o seu

Surpresas e conspirações

Um fato intrigante é que depois da explosão, os anéis dos troncos de árvores haviam experimentado um nascimento muito superior ao de épocas anteriores. As sucessivas coletas de amostras confirmaram suspeitas que o acontecimento de Tunguska se assemelharia a uma explosão nuclear. Testes espectrográficos denunciaram a existência de célio 137 em proporções só explicáveis diante de uma deflagração atômica. Por outro lado, em 1997, Quantin e Peixue publicaram uma análise da camada de turfa nas quais descobriram partículas de irídio, com abundância 20 vezes maior que do normal, permitindo deduzir suas origens cósmicas. Isso foi confirmado também em 1963 com amostras de turfa examinadas num Laboratório de Leipzig, Alemanha, que descobriram isótopos de ^{13}C permitindo cogitar também de origens cósmicas. É importante assinalar que um grupo de jovens cientistas da Universidade Estatal de Tomsk mostraram que ocorreram, na região da catástrofe, mutações genéticas devido a ter havido ali uma enorme radiação em grande escala que poderia ser explicado pela explosão de um cometa na atmosfera.

Contudo, não existe consenso sobre várias dessas alegações; frequentemente um estudo desmente as conclusões do outro.

percentual de gelo restando um conglomerado de rochas e poeira.

A maior parte dos estudos continuam apontando para fragmentos de núcleo de um cometa e de meteoróide que se desintegrou com o atrito na alta atmosfera. Essa é a razão de não ter sido encontrado fragmentos do objeto intruso em Tunguska.

O interesse sobre esse caso foi mesmo reavivado após outro similar ocorrer sobre a Sibéria, em 2013. Conhecido como evento Chelyabinsk, esse foi amplamente documentado por aparelhos de celular, sismógrafos e demais instrumentos. Tratou-se de um pequeno asteroide, que explodiu na atmosfera, tal como provavelmente ocorreu em Tunguska.

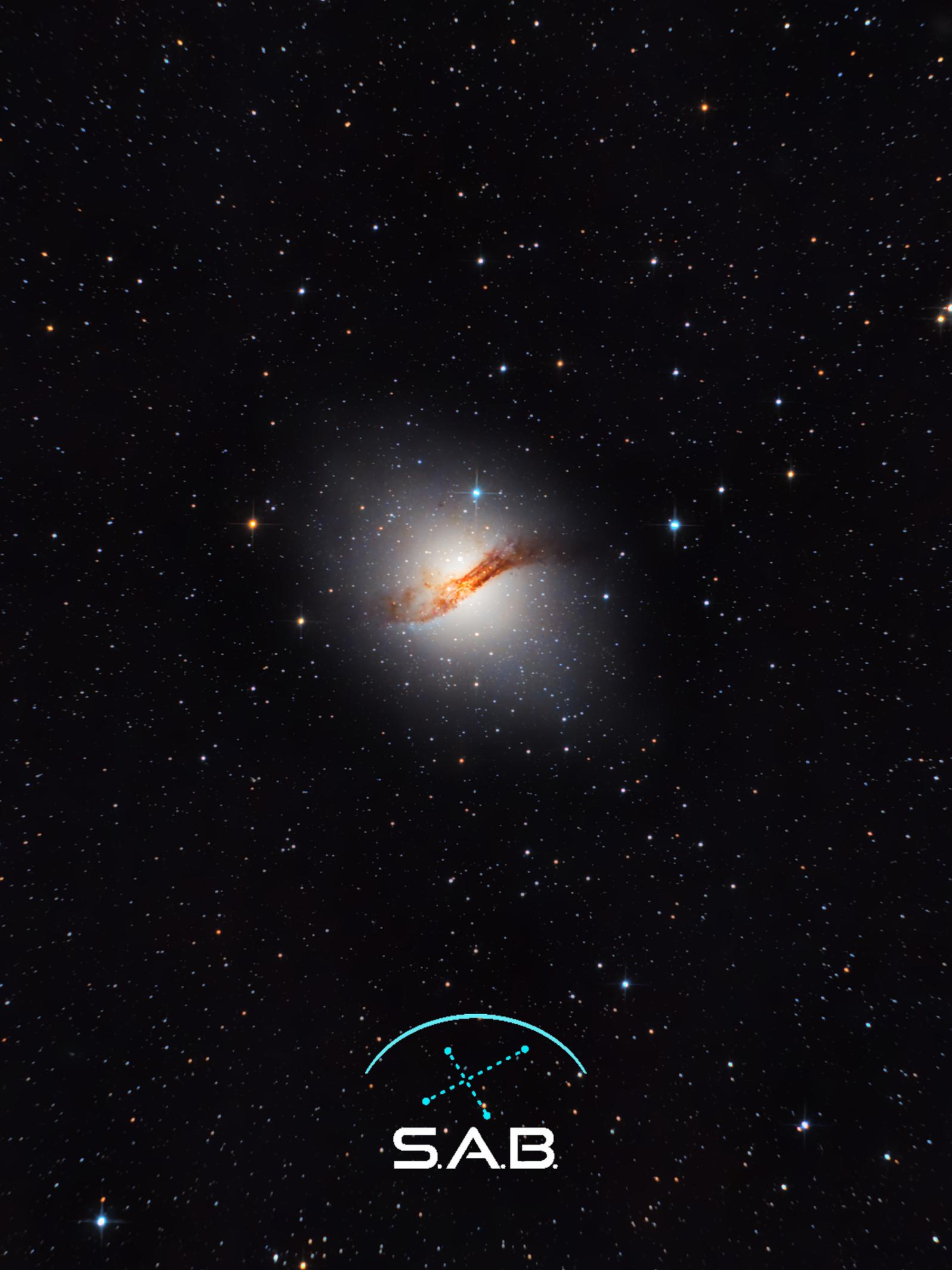
Ainda assim, podemos dizer que algum mistério sobre o que realmente aconteceu em Tunguska permanece. Sobre isso, já foram

escritos mais de 200 documentos científicos, quase 2 mil artigos e 60 romances, sem mencionar os programas e filmes de televisão.

O que realmente sabemos é que se o evento Tunguska tivesse explodido sobre uma cidade, teria provocado enorme devastação e milhares de mortos e feridos. O episódio de Tunguska é um testemunho vivo de que a bordo da nave Terra somos todos vulneráveis •

Nelson Travnik
nelson-travnik@hotmail.com

Contracapa
Galáxia NGC 5128,
popularmente conhecida
como Centaurus A (Crédito:
Luiz Ricardo Silveira).



S.A.B.