

Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 4 | Número 13

Segredos da

Via Láctea

Notícias do Universo

25 anos da supernova 1997 D

A beleza da nebulosa Hélix

Observatório SONEAR



Editorial

O ditado popular assevera que a curiosidade matou o gato. Ser curioso é próprio da natureza felina, tanto quanto da natureza humana. Exploramos o ambiente ao redor para compreender onde estamos. Sem isso, talvez os membros do gênero Homo ainda estaria caçando e coletando, restritos a uma cultura que pouco teria avançado em um milhão de anos.

Contudo, nosso cérebro tem a capacidade de formular questões, e a curiosidade as fomenta. Ainda em formação, as crianças se esmeram em perguntar sobre tudo pois o funcionamento do mundo lhes fascina e a criatividade que lhes é inata busca vias de expressão através desse entendimento.

Os amantes das ciências costumam ter ainda bem vívida essa curiosidade, pois é ela quem os move a xeretar além das aparências.

Nessa edição, vemos alguns exemplos de como a curiosidade humana promove novas descobertas: um fortuito achado de uma rara supernova durante uma missão de observação dedicada à espectroscopia de galáxias; alguns dos segredos que a Via Láctea vinha escondendo de nós; e um observatório construído com recursos privados, através do qual descobertas fascinantes puderam ser realizadas. Completando a revista, temos uma ode à beleza da Nebulosa Hélix.

Esperamos que esse número acenda sua curiosidade, colega leitor(a)!

*Helio Jaques Rocha Pinto
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira*

Esquerda

As Nuvens de Magalhães são satélites clássicos da Via Láctea. Elas são facilmente visíveis em um céu escuro (Crédito: J. C. Muñoz/ESO).

Capa

Via Láctea

(Crédito: Evgeni Tcherkasski/Pexels).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela
Sociedade Astronômica Brasileira

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, Mylena Larrubia, 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 Notícias do Universo

*Um compilado das principais notícias da
Astronomia neste trimestre, por David
Kappler.*

6 25 anos da Supernova 1997 D

*Duilia de Mello narra como sua
curiosidade a levou à descoberta de
uma supernova muito rara.*

14 A bela natureza da Nebulosa Hélix

*Conheça a nebulosa planetária mais
próxima ao Sol, neste artigo de Ricardo
Ferreira e Rodrigo Siqueira-Batista.*

18 Segredos da Via Láctea

*Hélio Perottoni e João Amarante
descrevem o que está mudando em nossa
compreensão sobre a estrutura da Via
Láctea*

26 O Observatório SONEAR

*Cristóvão Jacques escreve sobre o
Observatório SONEAR e suas atividades
que levaram à várias descobertas.*

NASA lança o Telescópio Especial James Webb

INSTRUMENTAÇÃO No final de 2021, o Telescópio Espacial James Webb (também conhecido como JWST ou Webb) foi lançado pela Nasa. O JWST é um grande telescópio infravermelho com um espelho primário de 6,5 metros. Após décadas desde o lançamento de seu antecessor, o Telescópio Espacial Hubble, JWST será o principal observatório da próxima década, servindo milhares de astrônomos em todo o mundo.

Ele poderá estudar todas as fases da história do nosso Universo, desde os primeiros brilhos luminosos após o Big Bang, até a formação de sistemas solares capazes de sustentar a vida em planetas como a Terra.

Muitas tecnologias inovadoras foram desenvolvidas para o JWST. Sua maior característica é dispor de um protetor solar de cinco camadas do tamanho de uma quadra de tênis que diminui o calor do Sol em mais de um

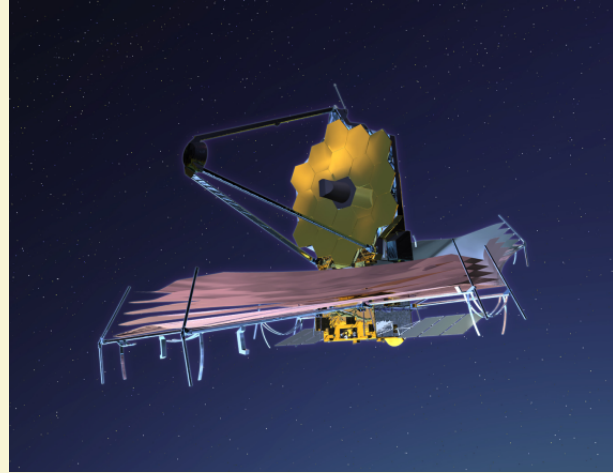
Possível maior radiogaláxia é detectada

GALÁXIAS Utilizando um dos maiores radiotelescópios existentes, o LOARE, na Europa, astrônomos da Universidade Cornell descobriram a maior radiogaláxia já encontrada. Os pesquisadores comprovaram o achado em um estudo que será publicado no periódico *Astronomy & Astrophysics*.

A galáxia encontrada tem um comprimento mínimo de 5 megaparsecs (16,3 milhões de anos-luz) — ela pode ser ainda maior, pois as imagens atuais ainda não permitem conhecer a profundidade real dos lóbulos de plasma.

A galáxia foi batizada de “Alcioneu”, em referência ao gigante de mesmo nome, filho de Urano, que representava o céu na mitologia grega.

Apesar de ser a primeira vez que uma galáxia de 16,3 milhões de comprimento seja vista por um telescópio, demorou para a equipe de astrônomos encontrá-la. Os lóbulos de plasma característicos das radiogaláxias são relativamente fracos e difíceis de detectar. Para conse-



NASA

milhão de vezes. Já seus espelhos, segmentados em 18 hexágonos, são feitos de berílio ultraleve. Essa segmentação permite que eles sejam ajustados de forma independente para obter uma imagem com qualidade excepcional.

O JWST já se encontra em sua órbita definitiva ao redor do ponto L2 do sistema Terra–Lua–Sol •

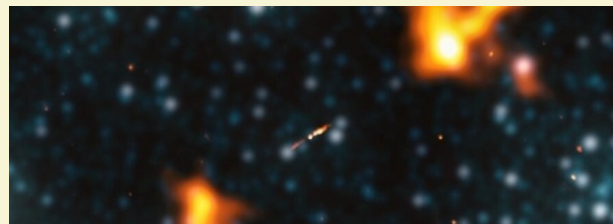


Foto: Oei et al., arXiv, 2022

guir visualizá-los, foi necessário reprocessar um conjunto de imagens existentes de tal forma que os padrões sutis se destacassem. Foi assim que esse gigante foi identificado. Martijn Oei, líder da equipe de astrônomos responsáveis pela descoberta, comenta que Alcioneu representa uma das radiogaláxias mais promissoras para sondar o meio intergaláctico.

Com a descoberta de Alcioneu, temos a prova de que galáxias podem interferir além de sua esfera de influência. Também se põe um novo problema para teorias sobre o crescimento de galáxias, tendo em conta que as galáxias gigantes costumam ser encontradas em aglomerados, e a grande radiogaláxia foi identificada em filamentos •

Fusão de buracos negros em órbitas excêntricas



Representação (Mark Myers, OzGrav)

OBJETOS COMPACTOS A provável detecção da fusão de dois buracos negros com órbitas excêntricas, por pesquisadores do Centro de Relatividade Computacional e Gravitação do Rochester Institute of Technology na Universidade da Flórida, pode ajudar a decifrar como algumas das fusões de buracos negros detectadas pelo LIGO e VIRGO são muito mais pesadas do que imaginava.

As órbitas excêntricas são um sinal de que buracos negros podem engolir constantemente outros durante encontros eventuais em áreas densamente povoadas por buracos negros, como o centro de galáxias. Os pesquisadores estudaram a onda gravitacional formada pelo sistema binário de buracos negros mais massivo até o momento.

Eles perceberam que a fusão é entendida melhor por um modelo de alta excentricidade e precessão. Para chegar a essa conclusão, a equipe efetuou centenas de novas simulações numéricas completas em supercomputadores de laboratórios locais e nacionais •

Uma estrela coberta por cinzas de hélio

ESTRELAS Astrônomos alemães da Universidade de Tübingen, liderados por Klaus Werner, descobriram um novo tipo de estrela coberta de cinzas resultantes da queima do hélio. É possível que elas tenham sido formadas por um raro evento de fusão estelar entre duas anãs brancas, astros pequenos e densos que são restos de estrelas maiores. A fusão ocorreria em sistemas binários próximos, por conta do encolhimento da órbita devido à emissão de ondas gravitacionais.

Uma outra curiosidade é que as estrelas do novo tipo não têm suas superfícies compostas por hidrogênio e hélio, mas sim por carbono e oxigênio, as cinzas da queima do hélio.



Representação (Nicole Reindl)

Esses novos astros têm temperaturas e raios que indicam que ainda estão queimando o hélio em seus núcleos. A diferença é que isso só é tipicamente visto em estrelas mais evoluídas. Klaus Werner acredita que essas novas estrelas sejam um grande desafio para nossa compreensão da evolução estelar •

Quarenta quintilhões de buracos negros

OBJETOS COMPACTOS Cientistas da Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA), em Trieste, na Itália, estimaram a quantidade de buracos negros presentes no nosso Universo observável em cerca de 40 quintilhões (o mesmo que o número 5 seguido de 19 zeros). Com essa pesquisa, foi possível descobrir que aproximadamente 1% da matéria comum do Universo se encontra dentro de buracos negros estelares.

Para conseguir chegar nesse resultado, os pesquisadores tiveram que montar um método inédito para efetuar o cálculo, trabalhando com um modelo preciso de evolução estelar e binária, formação de estrelas e en-

riquecimento de metais em galáxias individuais.

O estudo também buscou “canais” mediante os quais buracos negros de diferentes massas são formados como sistemas binários, aglomerados e estrelas. A formação dos buracos negros estelares mais massivos ocorre a partir de eventos específicos nos aglomerados estelares.

Segundo os cientistas, a pesquisa pode ser o ponto de partida para avaliar também o número de buracos negros de massa estelar no universo primitivo, o que ajudaria a investigar a origem de “sementes cósmicas” e o crescimento de buracos negros supermassivos •



25 anos da Supernova 1997 D

Como a curiosidade levou à descoberta da supernova hoje considerada uma das menos luminosas já observadas.

Quando eu resolvi fazer astronomia, eu não sabia muito sobre o assunto e nunca tinha visto por um telescópio. Mas eu era fascinada pela ciência espacial e foi essa curiosidade em saber mais que me levou a prestar o vestibular para astronomia na UFRJ. Eu achava maravilhoso ver as imagens das sondas espaciais que

passeavam pelo sistema solar durante os anos 70 e 80, mas durante o curso eu cada vez mais me interessava pelos objetos celestes longínquos e inexplicáveis. Foi essa sede de conhecimento também que me levou a escolher a área de radioastronomia. Eu achava incrível sabermos usar radiotelescópios para detectar sinais emitidos dos astros. Foi assim que

resolvi fazer mestrado em radioastronomia extragaláctica no INPE usando a antena de 14 m no Radiobservatório Pierre Kaufman, que na época se chamava Itapeitinga. Com o radiotelescópio, detectei sinais provenientes das regiões de formação estelar em galáxias de formato peculiar. Já no doutorado na USP, optei por deixar a radioastronomia e fui aprender a usar o telescópio de 1,6 m do Pico dos Dias para observar outras galáxias peculiares. Foi nessa época, no final dos anos 80, que comecei a pensar nas supernovas extragalácticas e como era interessante ver uma estrela explodindo em uma outra galáxia a milhões de anos-luz. Uns dez anos depois, já doutora, todo o fascínio que me levou a cursar astronomia renasceu quando, em 14 de janeiro de 1997, descobri uma supernova. E foi por acaso!

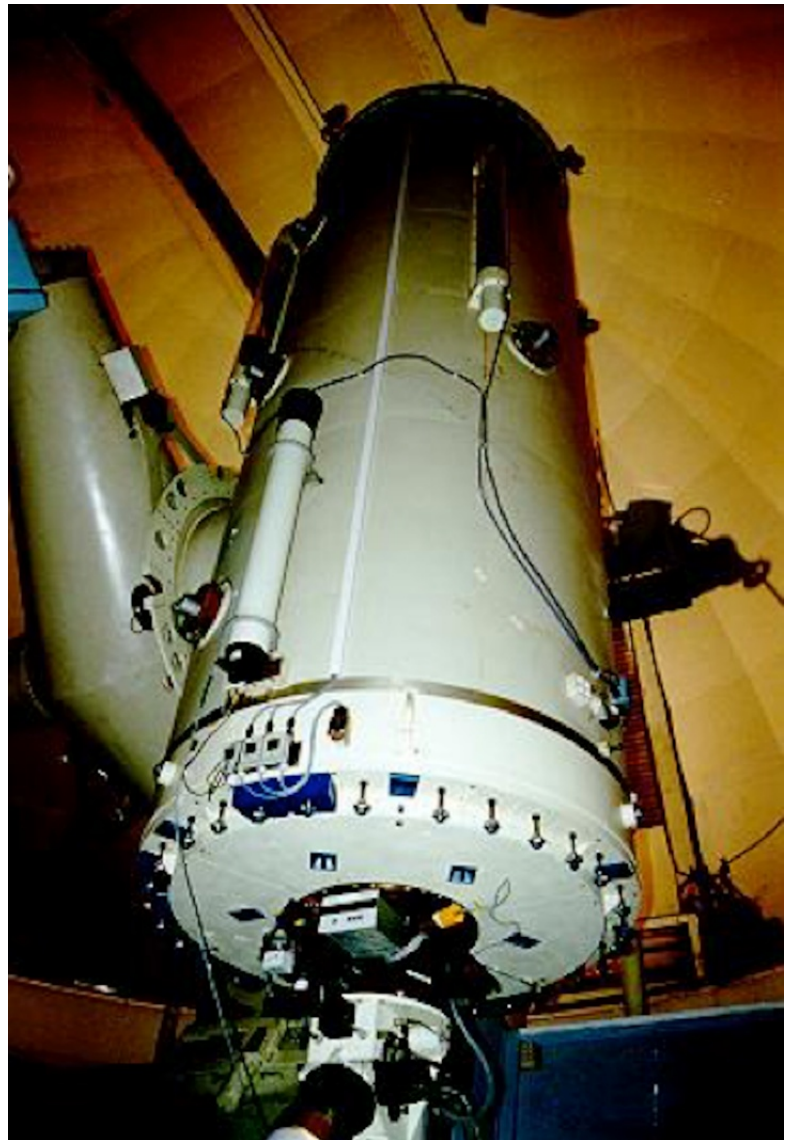
A descoberta da SN 1997 D

Na ocasião, eu era bolsista recém-doutora do CNPq no Observatório Nacional, Rio de Janeiro, e estava em La Silla, no Chile, observando uma amostra de galáxias em processo de colisão. Este era o primeiro turno de observações dos astrônomos do Observatório Nacional no telescópio de 1,52 m que estávamos alugando do Observatório Europeu do Sul, ESO. Eu já era uma observadora experiente, havia utilizado este telescópio em outras oportunidades e não necessitava de assistente

noturno pois dava conta do telescópio sozinha. O projeto que eu tinha selecionado para observar comparava a composição química de uma amostra de galáxias que possuíam outras galáxias na redondeza com galáxias isoladas. A ideia era ver se a presença de galáxias próximas estimulava a formação de estrelas e, daí, se a taxa de enriquecimento químico delas seria diferente.

Na página anterior
Galáxia NGC 1536 (Crédito: NASA, ESA e Hubble).

Abaixo
Telescópio de 1,52 m de diâmetro e espectrógrafo Boller & Chivens do Observatório Europeu do Sul em La Silla, Chile. A buscadora (luneta do lado esquerdo) foi utilizada para a descoberta da SN 1997 D.





Acima

Cúpula do telescópio 1,52 m, do Observatório Europeu do Sul, com o qual foi feita a descoberta da SN 1997 D. Ao fundo, se vê a Via Láctea (Crédito: Dave Jones/ESO).

Comecei a observar assim que escureceu e seguia a lista de prioridades que eu havia feito para aquela noite. Cada vez que mudava de objeto, eu consultava o mapa da região do céu onde estava a galáxia que eu deveria observar. Lá pela 1 da madrugada, após apontar o telescópio para as coordenadas de uma das galáxias, comecei a contar estrelas identificando precisamente quem era quem no mapa do céu e no campo visual da buscadora. A ga-

Nomenclatura de supernovas

Hoje em dia não damos mais nomes dos descobridores às supernovas. A regra adotada pela União Astronômica Internacional para a designação de supernovas é a seguinte: usa-se o prefixo SN seguido pelo ano de descoberta e uma sequência de uma, duas ou três letras. Essa sequência corresponde à ordem de descoberta. As 26 primeiras supernovas são anotadas com uma letra maiúscula que vai de A até Z. Após isso, usa-se pares de letras minúsculas que começam com aa, ab, ac, ..., az, ba, bb, bc, etc. Caso se encontre mais do que $26 \times 26 + 26 = 702$ supernovas em um ano (isto é, após o par zz), reinicia-se em uma trinca de letras aaa, aab, etc. Por exemplo, a última supernova de 1997 foi a SN 1997 fg ($26 \times 6 + 7 = 163$), ou seja, foi a 163.^a do ano.

lália em questão, NGC 1536, praticamente não aparecia no campo, pois é um objeto muito distante, situado a 53,8 milhões de anos-luz. Contudo, próximo à galáxia, havia uma estrela no campo que não estava no mapa. Por triangulação, calculei a posição da estrela intrusa em relação à galáxia e, para minha surpresa, verifiquei que a estrela estava superposta à galáxia. Foi aí que decidi ligar o instrumento que eu iria utilizar na observação da galáxia, um espectrógrafo, e centrá-lo exatamente sobre a posição do objeto estranho. Eu poderia ter continuado a observar apenas o núcleo da galáxia sem incluir a estrela na fenda do espectrógrafo, mas curiosidade é um dos meus pontos fracos e não pude resistir. Ao ver o espectro registrado, percebi que era típico de uma explosão pois as linhas estavam bem alargadas, mas tive que esperar até a manhã seguinte para confirmar com o astrônomo especialista em supernovas, Stefano Benetti, que acabara de chegar no observatório, se mais alguém tinha observado essa supernova. Na noite seguinte, ele e o astrônomo Giuseppe Massone observaram NGC 1536 usando o telescópio holandês de 0,9 m, situado ao lado daquele que eu usava. Foi somente ao ver a imagem da galáxia que eles obtiveram que abri um sorriso e tive a certeza de havia descoberto uma supernova. Naquela noite, enviamos u-

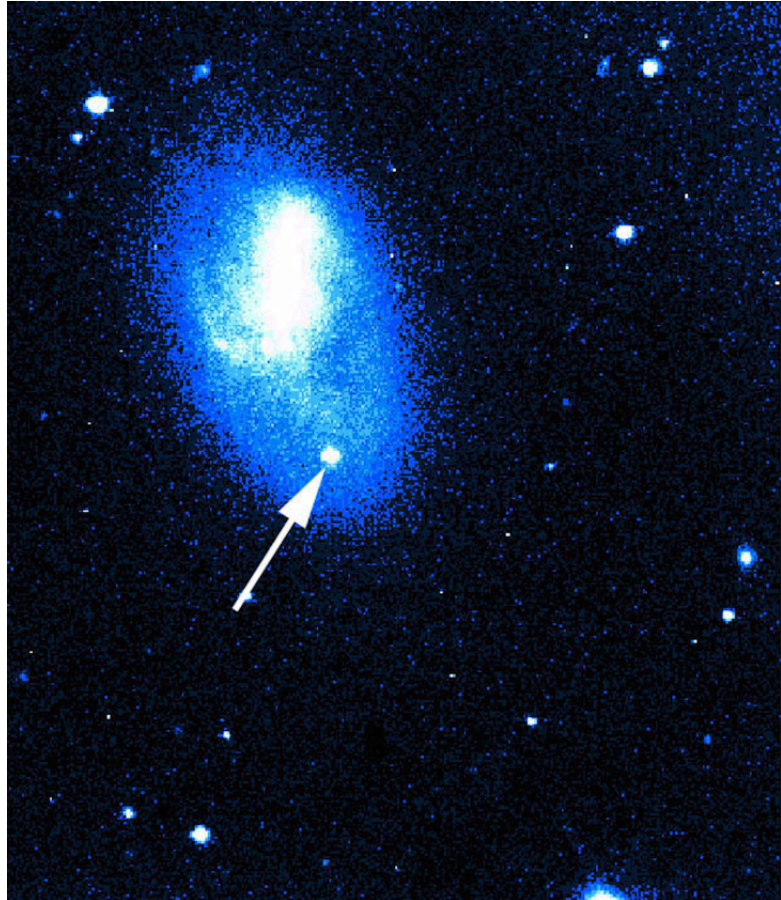
ma mensagem para a União Astronômica Internacional relatando a descoberta. A partir daí, ela ganhou a letra D, por ter sido a quarta supernova descoberta no ano de 1997.

Mas a emoção da descoberta de SN 1997 D não terminou aí e ainda hoje ela me surpreende. Tudo indica que eu a descobri 33 dias depois da explosão e ela continuou a ser observada por mais um ano. Nos 170 artigos que a mencionam, ela é classificada como supernova do tipo II-P, designação dada às supernovas que ficam um certo tempo com o mesmo brilho, ao invés de apagarem linearmente com o tempo como as classificadas no tipo II-L. Ela foi a primeira conhecida dentre as duma nova classe de supernovas conhecidas como atípicas ou II-P de baixa luminosidade, por ter brilho fraco e velocidade de expansão baixa. Ela virou até exemplo na Wikipédia deste tipo de supernovas e está sempre nas discussões sobre o destino das supernovas e a massa das estrelas progenitoras. Este assunto ainda está em aberto e ela tanto pode ter sido uma estrela de baixa massa, entre 9 e 11 massas solares quanto uma estrela de 25 massas solares. Num estudo realizado em 2003, sob a liderança do astrofísico japonês Ken'ichi Nomoto, ela é a mais fraca e menos energética, ficando bem no limite de massa entre um buraco negro e um pulsar. Mais recentemente, nos es-

tudos de Andrea Reguitti acerca da supernova II-P de baixa luminosidade, SN 2018 hwm, argumenta-se que a massa de objetos desse tipo estaria entre 9 e 11 massas solares.

Abaixo

Imagem obtida com o telescópio holandês de 0,9 m do Observatório Europeu do Sul em La Silla, Chile, no dia seguinte da descoberta (Crédito: Giuseppe Massone).



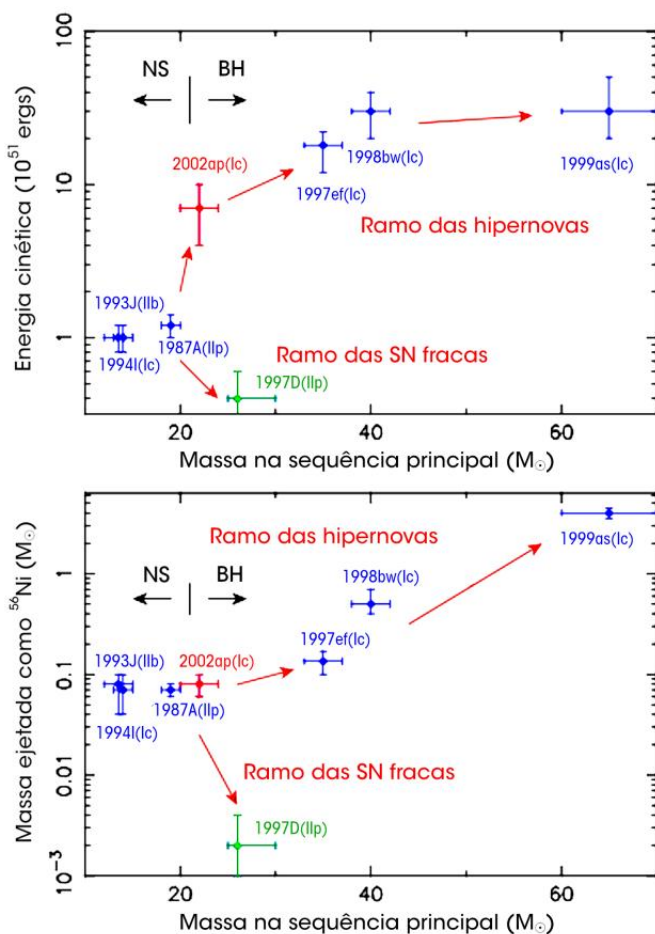
Recentemente fui olhar nos arquivos do Telescópio Espacial Hubble e achei uma imagem da galáxia tirada em 2020 por Julianne Dalcanton. Nem mesmo o Hubble consegue ver estrelas individuais a essa distância, mas dá para ver a região onde a supernova explodiu e imaginar onde agora existe um buraco negro ou, quem sabe, um pulsar.

A importância das supernovas

No início dos anos 80 quando eu estava no início da graduação, eu fui a uma palestra do Professor da USP, Augusto Damineli, em um ciclo de palestras no Rio de Janeiro da qual me lembro bem até hoje. O título da palestra era *Nascimento, Vida e Morte das Estrelas*. Foi lá que pela primeira vez ouvi o termo “poeira de estrelas” e entendi a importância do estudo de supernovas. Quando a estrela explode, ela envia toda aquela sopa de elementos químicos que

Abaixo

Energia da explosão e a massa ejetada de ^{56}Ni como função da massa da estrela progenitora para várias supernovas. A SN 1997 D (em verde) é a mais fraca, menos energética e no limite entre Buraco Negro (BH) e Estrela de Nêutrons (NS). Crédito: Ken'ichi Nomoto).



ela produziu durante a sua vida para o meio interestelar. Esse material se juntará às nuvens gasosas que formarão uma outra geração de estrelas, planetas e até da vida. É por isso que falamos que somos feitos de poeira de estrelas. Todos os elementos químicos da natureza foram feitos nas estrelas. O oxigênio que respiramos é estelar e o ferro dos nossos sangue é o mesmo ferro ligado à explosão das estrelas.

Depois da explosão, além da sopa química que se espalha pelo meio interestelar sobra também um caroço central. Esse caroço é tão compacto que os elementos químicos se desintegram, sobrando apenas nêutrons. A massa é o que vai determinar o destino do objeto e como ele entrará em equilíbrio. Os caroços que tiverem massa inferior a 1,4 massas solares formarão o que chamamos pulsares, ou estrelas de nêutrons em rotação, como o pulsar da nebulosa do Caranguejo que gira em torno do seu eixo 30 vezes por segundo. Já os de massa superior a 1,4 massas solares continuarão a colapsar depois da explosão e atingirão o equilíbrio apenas quando virarem um buraco negro, onde a gravidade é tão alta que nem a luz conseguirá escapar.

Nascimento, vida e morte

As estrelas passam pelo ciclo da vida, ou seja, elas nascem, vivem e morrem. É durante a morte que algumas delas explodem e

viram supernovas. As explosões podem ser tão energéticas que uma única estrela pode chegar a irradiar tanta luz quanto uma galáxia inteira que contém bilhões de estrelas.

O fator que vai determinar se o fim de uma estrela será explosivo é a massa da estrela. Podemos até falar que as estrelas já vêm com o destino escrito desde o berço, quando nascem de uma nuvem gasosa gigante que se fragmentou em milhares de nuvens de diversos tamanhos. Os fragmentos de maior massa (que tenham, pelo menos, 8 vezes a massa do Sol) formarão estrelas de alta massa que viverão alguns milhares de anos até explodirem no final da vida. Já os menores formarão estrelas de menor massa, viverão bilhões de anos e terão uma vida mais tranquila até virarem uma anã branca e, aos poucos, param de produzir energia.

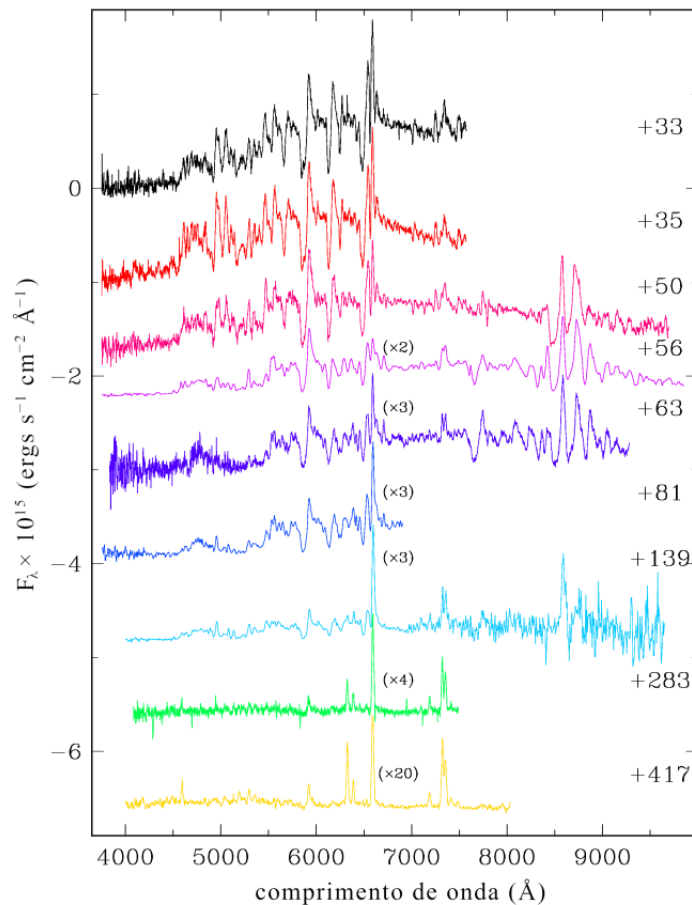
Mas antes de falar da morte, vamos falar da vida. A força da gravidade fará com que os fragmentos se contraiam a tal ponto que a densidade e a temperatura interna ficarão tão altas que farão com que o gás entre em fusão nuclear. Ou seja, o hidrogênio, que é o gás mais abundante, se combinará com outro hidrogênio formando um átomo de hélio e produzindo energia no seu caroço central. É a produção de energia que estabiliza a estrela pois consegue conter a força da gravidade que tende a esmagá-la. Isto

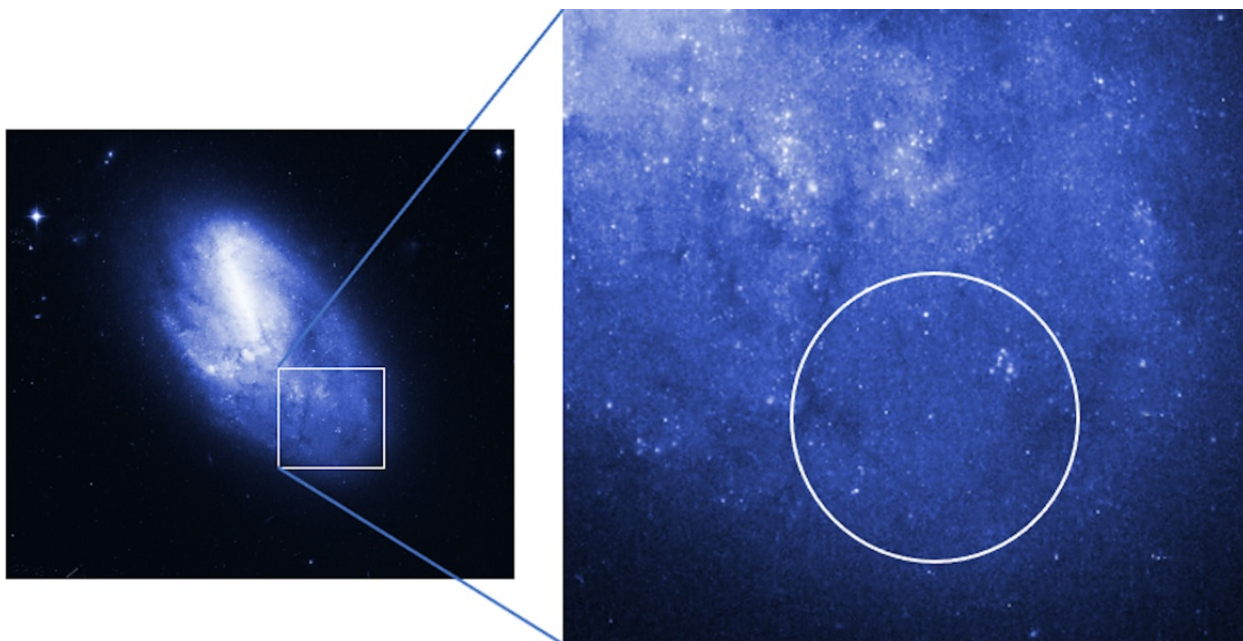
acontece em todas as estrelas, independentemente da massa. Porém, quando acabar o hidrogênio central e a estrela não estiver mais produzindo energia, ela terá que se rearranjar para evitar o colapso.

As estrelas como Sol, começarão a produzir hélio fora do caroço, em uma camada superior, e se esfriarão ao se expandir, virando uma gigante vermelha, equilibrando-se. Em seu interior, o caroço central se acende e começa a produzir o carbono. Quando o caroço for apenas de carbono

Abaixo

Evolução espectral da SN 1997 D desde a descoberta (+33 dias depois da explosão) até 417 após a explosão. O eixo vertical corresponde ao dia 33 e valores de 1, 1.7, 2, 3, 3.9, 4.2, 5.6, 6.6×10^{-15} foram adicionados para possibilitar a comparação. Os valores em parêntesis se referem aos valores que foram multiplicados ao fluxo para facilitar a visualização (Crédito: Stefano Benetti).





Acima
 NGC 1536 imageada em 2020 por Julianne Dalcanton com a câmara ACS, filtro V, do Hubble. Em destaque, à direita, a região onde a SN 1997 D se encontrava (Crédito: NASA, Hubble, ESA)

no não haverá mais massa para produzir energia e a estrela ejetará suas camadas formando uma nebulosa planetária e uma anã branca no interior.

Já as estrelas de alta massa (as que têm mais de 10 vezes a massa do Sol) viram supergigantes e começam a produzir não apenas carbono, mas também oxigênio, neônio, magnésio e silício nas suas diversas camadas e, com isso,

conseguem contrabalançar a gravidade. Mas quando o caroço tiver apenas o elemento químico ferro, ele não conseguirá mais produzir energia pois o ferro consumirá energia ao invés de produzir. A interrupção na produção de energia provoca o colapso do caroço e uma avalanche das camadas exteriores sobre o caroço faz com a estrela exploda como uma supernova.

Para saber mais sobre supernovas

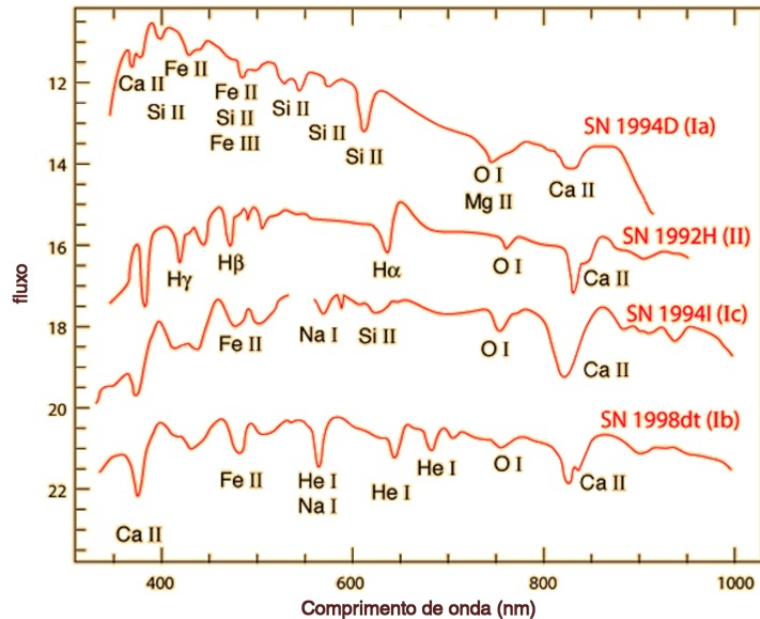
- Benetti, S., Turato, M., Balberg, S., et al. 2001, *The fading of supernova 1997D*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 322, 361.
- Nomoto, K., Maeda, K., Umeda, H., et al. 2003, *Nucleosynthesis in Black-Hole-Forming Supernovae and Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars*, Carnegie Observatories Astrophysics Series, Vol. 4: Origin and Evolution of the Elements, 2003
- Reguitti, A., Pumo, M. L., Mazzali, P. A., et al. 2021, *Low-luminosity Type II supernovae – III. SN 2018hwm, a faint event with an unusually long plateau*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 501, 1059.

Quando observamos uma estrela que explodiu, além de observar a luminosidade e sua variação com o tempo, também registramos seu espectro eletromagnético para saber a sua composição química e classificá-la.

Existem dois tipos de espectros de supernovas, por isso as classificamos grosseiramente em tipo I e de tipo II — e ambos os tipos contêm subtipos.

As supernovas de tipo I não contêm linhas de hidrogênio no espectro, ao contrário daquelas de tipo II. A maioria das supernovas de tipo I são formadas pela deflagração termonuclear em anãs brancas de sistemas binários e são conhecidas como supernovas de tipo Ia. Quando uma das estrelas atinge o estágio de gigante vermelha e a outra de anã branca, material da gigante pode ser transferido para a anã até que a anã colapsa em uma supernova. Como as anãs brancas não possuem hidrogênio em sua composição, o espectro estará desprovido dessas linhas. Contudo, algumas estrelas de alta massa que tenham perdido quase toda a atmosfera por ventos estelares também podem exibir um espectro de tipo I. Classificamo-las como supernovas de Tipo Ib ou Tipo Ic, se o espectro apresenta ou não linhas do hélio, respectivamente.

Por outro lado, as supernovas de tipo II são o produto da evolução de estrelas de alta massa. As do tipo II que se apagam linearmente com o tempo são chama-



das de tipo II-L, e as que ficam um certo tempo com o mesmo brilho são chamadas tipo II-P.

Quando reflito sobre os últimos 25 anos, me deparo com uma mistura de orgulho e agradecimento. Sou muito agradecida pela educação que o Brasil me deu. E é com orgulho que vejo o amadurecimento da astronomia brasileira e da nova geração que surge. Só é preciso resiliência para enfrentar as crises políticas e coragem para mergulhar nessa aventura que é ser cientista. Mas as crises passam e com um pouquinho de sorte e muita curiosidade a aventura é compensadora •

*Duilia Fernandes de Mello
duiliafdemello@gmail.com
Univ. Católica de Washington, DC*

Acima
Espectros característicos das supernovas de tipo Ia, Ib, Ic e II (Dados de Thomas Matheson/NOAO).



Nebulosa Hélix

A bela natureza

Uma das mais belas nebulosas conhecidas, Hélix surpreende a cada imagem em um novo comprimento de onda.

A Nebulosa Hélix — ou NGC 7293, conforme sua designação no catálogo — é a nebulosa planetária mais próxima do Sol. Estimativas de distância, ainda que incertas, situam-na a uns 700 anos-luz. É também conhecida como “Olho de Deus” ou “Nebulosa de Hélice”, em razão do

formato produzido pela expulsão dos gases que a constituem. Trata-se de uma das maiores nebulosas planetárias conhecidas e está localizada na constelação de Aquário. O diâmetro dos seus anéis principais tem cerca de 1,5 ano-luz, mas aparenta metade do diâmetro da lua cheia. Seu halo externo tem o dobro da extensão

dos anéis principais. Este corpo celeste é um exemplo dramático do estágio final experimentado por estrelas como o Sol antes do colapso final. A estrela agonizante, situada no centro da nebulosa, está destinada a se tornar uma anã branca, e, enquanto estiver consumindo toda sua energia, continuará a expelir matéria para o meio interestelar. Foi descoberta pelo astrônomo alemão Karl Ludwig Harding, em 1824 e, graças ao seu tamanho e proximidade, foi extensivamente estudada e fotografada. Imagens detalhadas da borda interna do anel circundando a estrela central revelaram “gotículas” de gás mais frio (girinos cósmicos), com o dobro do diâmetro do Sistema Solar, irradiado para fora por bilhões de quilômetros. A estrutura se formou, provavelmente, quando uma camada de gás com alta velocidade colidiu com material de menor velocidade, ejetado milhares de anos antes.

As nebulosas planetárias são, na verdade, os restos de estrelas que antes se pareciam muito com o Sol, as quais passam a maior parte de suas vidas transformando hidrogênio em hélio em enormes reações de fusão nuclear em seus núcleos. Tal processo fornece toda a luz e calor, por exemplo, que a Terra recebe do Sol. Este se transformará em uma nebulosa planetária quando perecer, em aproximadamente 5 bilhões de anos, o que ocorre quando o combustível de hidrogênio para

a reação de fusão se esgota, dada sua transformação em hélio. Este, então, se torna a fonte de combustível, cuja queima produzirá uma mistura ainda mais pesada de carbono e oxigênio. Eventualmente, o hélio também se esgota, e a estrela morre, expelindo suas camadas externas. Sobra dela apenas um núcleo denso e quente: uma anã branca. Esta tem aproximadamente o tamanho da Terra, mas uma massa muito próxima à da estrela original; na verdade, uma colher de chá de uma anã branca pesaria tanto quanto alguns elefantes!

Na página anterior
Nebulosa Hélix observada no infravermelho pelo Telescópio VISTA (Crédito: ESO/VISTA/J. Emerson).

Abaixo
Nebulosa Hélix observada pelo Telescópio Canada-France-Hawaii (Crédito: CFHT, Coelum, MegaCam, J.-C. Cuillandre & G. A. Anselmi).





Acima

Nebulosa Hélix observada no infravermelho pelo satélite Spitzer (Crédito: NASA, JPL-Caltech, Spitzer Space Telescope, Judy Schmidt).

A intensa radiação ultravioleta da anã branca aquece as camadas de gás expelidas, que brilham intensamente no infravermelho. O telescópio espacial Galex (capaz de detectar ultravioleta) identificou tal radiação da Nebulosa Hélix, a qual é demonstrada em tons de azul, enquanto o telescópio espacial Spitzer (capaz de detectar de radiação infravermelha) capturou a assinatura infravermelha detalhada da poeira e do gás, em amarelo (veja a figura acima). Uma parte do campo estendido além da nebulosa, que não foi observada pelo Spitzer é do *All-sky Wide-field Infrared Survey Explorer* (WISE) da NASA, outro telescópio espacial de radiação infravermelha. A pró-

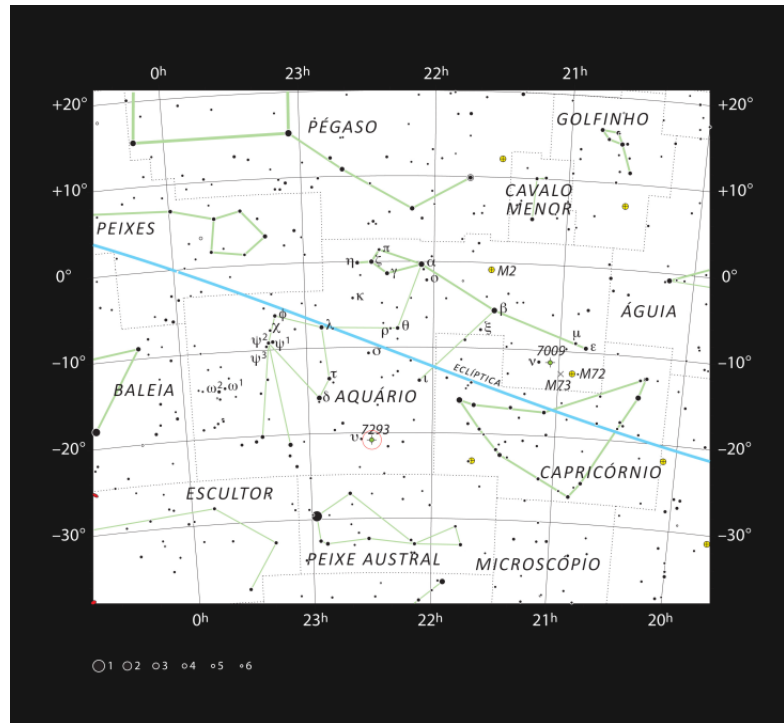
pria estrela anã branca é uma minúscula alfinetada branca bem no centro da nebulosa. O círculo roxo mais brilhante no centro é o brilho ultravioleta e infravermelho combinado de um disco empoeirado circulando a anã branca (o próprio disco é muito pequeno para ser especificado). Essa poeira provavelmente foi levantada por cometas que sobreviveram à morte de sua estrela.

As nebulosas planetárias ajudam a distribuir muitos elementos de volta ao meio interestelar (o gás e a poeira que existe entre as estrelas). Compreender a estrutura desses corpos celestes pode ajudar a entender a distribuição do gás e da poeira que even-

tualmente é usada não apenas na formação de estrelas, mas na formação dos sistemas solares (como o que contém a Terra). Sem dúvida, mais imagens da Nebulosa Hélix serão produzidas à medida que cientistas e astrônomos amadores continuarem olhando para ela — uma pesquisa no repositório do Hubble fornece uma riqueza de imagens de luz visível existentes (com foco em características específicas, bem como em todo o objeto). Cada vez que um novo satélite ou telescópio aponta para a Hélix, e cada vez que esta é observada em outro comprimento de onda ou através de um filtro diferente, são produzidas mais revelações sobre sua estrutura, as quais contribuem para o melhor entendimento do Universo •

Ricardo Alves Ferreira
dieselferreira@gmail.com
 Univ. Federal do Rio de Janeiro

Rodrigo Siqueira-Batista
rsbatista@ufv.br
 Universidade Federal de Viçosa e
 Fac. Dinâmica do Vale do Piranga



Acima
 Mapa celeste que mostra a posição da Nebulosa Hélix (marcada como 7293) na constelação de Aquário (Crédito: IAU, ESO, Sky & Telescope).

Para saber mais

O'Dell, C. R., McCullough, P. R., Meixner, M. 2004, *Unraveling the Helix Nebula: Its Structure and Knots*, The Astronomical Journal, v. 128, p. 2339-2356.

Bublitz, J., Kastner, J., Hily-Blant, P., et al. 2020, Irradiation investigation: exploring the molecular gas in NGC 7293, *Galaxies*, v. 8, n. 2, p. 1-6.



Segredos da Via Láctea

A formação da Via Láctea está longe de ter sido totalmente entendida. Novos dados apontam para uma complexas interações com mais de uma galáxia satélite, que deixaram traços só agora descobertos.

Quando olhamos para um céu escuro vemos estrelas por toda a parte, mas talvez você já tenha notado uma faixa mais brilhante, um pouco esfumada, que passa pela constelação do Cruzeiro do Sul e bem perto das famosas Três Marias. Se você tiver a sorte de observar o céu noturno longe da poluição luminosa das grandes cidades, verá essa faixa ainda mais marcante e perceberá que ela é formada por muitas estrelas. Essa faixa do céu, chama-

da de Via Láctea, corresponde à região de maior concentração de estrelas que compõem nossa Galáxia. Há cerca de 100 anos, a Galáxia era tida como todo o Universo: tudo que era observado supostamente estava contido dentro dela. Porém, a partir da segunda década do século XX, os astrônomos descobriram que ela é apenas uma entre bilhões de outras galáxias também compostas principalmente de estrelas, gás, poeira e matéria escura. Todos esses componentes podem ser estu-



dados individual e coletivamente para descrever a história de formação das galáxias.

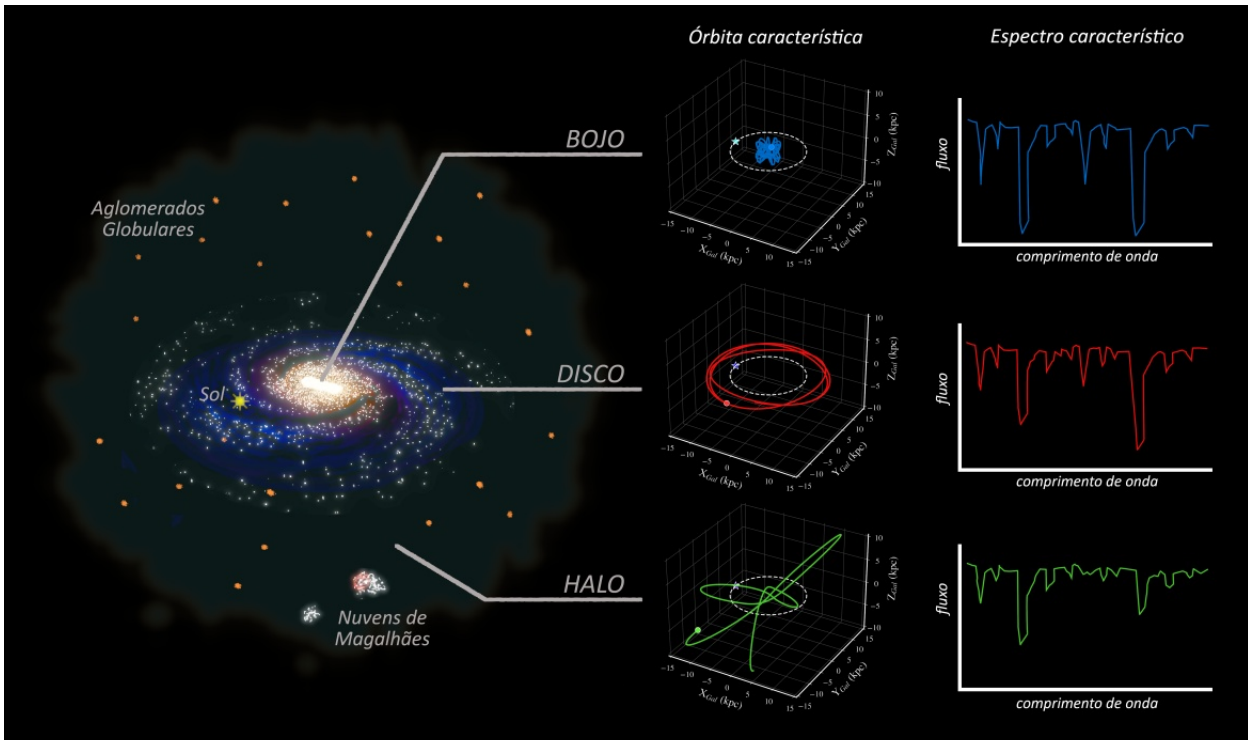
Em particular, as estrelas carregam a memória do local onde se formaram em sua composição química e, às vezes, em sua órbita. Essas propriedades nos dão pistas sobre a sua origem e a qual componente galáctica elas pertencem. Os parâmetros orbitais são obtidos a partir do estudo da órbita da estrela ao redor do centro da nossa Galáxia. Alguns desses parâmetros são mais diretamente entendidos. A excentricidade

orbital indica o quão distante de um círculo é a órbita da estrela ao redor do centro da Galáxia; a direção de rotação mostra se a estrela segue a rotação do disco da Galáxia ou se move retrogradamente; e, por fim, a altura máxima mede o quanto a estrela se afasta do plano Galáctico. Essas características mudam de acordo com a componente galáctica. As estrelas que nasceram no disco vão ter órbitas majoritariamente prógradas, praticamente circulares e com pequena excursão além do plano galáctico. Já as estrelas pertencentes ao halo estelar (chamaremos apenas de halo) ou capturadas de outras galáxias podem ter órbitas retrógradas, extremamente excêntricas e que se afastam significativamente do plano galáctico.

Um outro ponto importante é que as galáxias evoluem quimicamente, por sucessivas gerações estelares, através da formação de elementos químicos no interior das estrelas. As estrelas que não evoluem rapidamente — de forma geral aquelas menores e mais frias —, mesmo após bilhões de anos, quando estão distantes e dispersas do local onde foram formadas, mantêm a composição química do local onde se formaram. Assim, se analisarmos uma grande quantidade de estrelas, conseguimos discriminar as populações estelares de blocos constituintes da Via Láctea, como o disco, o bojo e o halo. Dessa forma, através

Página dupla

Via Láctea (Crédito: Florian Kurz/Pixabay).



Acima

Na visão clássica, nossa Galáxia é classificada como uma galáxia espiral barrada e possui três principais populações estelares: um disco com 60 mil anos luz de raio e uma altura média de 400 anos luz; um bojo estelar localizado na região central e um halo estelar difuso com uma extensão de cerca de 650 mil anos-luz! Duas galáxias satélites da Galáxia, as Nuvens de Magalhães, são conhecidas desde séculos atrás.

da composição química da estrela, podemos identificar seu local de origem e distinguir populações que são da Via Láctea daquelas que sofreram fusão com ela.

A partir da segunda metade do século XX, propriedades orbitais e químicas de estrelas da vizinhança solar já permitiam concluir que a Galáxia se formou quando enormes nuvens de gás e poeira colapsaram sob a força da gravidade. Segundo modelos de colapso gravitacional, este evento poderia vir a formar as principais estruturas da Galáxia: o disco, o halo e o bojo. Isso teria acontecido há quase 14 bilhões de anos.

É no halo onde grande parte das estrelas mais velhas se encontram e, por isso, onde a história do início de nossa Galáxia é, de certa forma, melhor contada. No

entanto, estudar o halo é como montar um quebra-cabeças, uma vez que ele é um componente estelar muito esparsa e muito estendido. Mas trata-se de um quebra-cabeças do qual cada peça conta uma história diferente. Por isso vários astrônomos encontraram lacunas na proposta simplista do colapso gravitacional de uma nuvem de gás.

No universo local, ou seja, nas galáxias mais próximas, astrônomos já observavam que as galáxias passam por constantes processos mais violentos de fusões — ou “canibalismo galáctico”. Sabemos que nossa Galáxia passará por um evento dessa natureza daqui a alguns bilhões de anos com Andrômeda. Isso decorre do gradativo movimento de aproximação entre elas. Podemos também

antecipar que futuramente as forças de maré galáctica levarão as Pequena e Grande Nuvem de Magalhães, visíveis ao olho nu no Hemisfério Sul, a colidirem com a Via Láctea.

Chamamos de acreção o fenômeno pelo qual uma galáxia maior incorpora ao seu inventário o conteúdo de uma galáxia satélite. Popularmente, a acreção é conhecida como canibalismo galáctico.

Além das evidências observacionais, simulações de formação de estruturas do Universo indicam que acreções são especialmente comuns nas primeiras etapas do processo de formação galáctica. Será então que podemos identificar que a Via Láctea passou por processos semelhantes?

Acresções antigas e atuais

A primeira evidência de que nossa Galáxia passou por processos de acreções de galáxias satélites foi a descoberta do núcleo remanescente da Galáxia Anã Elíptica de Sagitário em 1994. A relativa proximidade dela sugeriu que poderia estar sendo gravitacionalmente dissolvida pela Via Láctea. A confirmação desse fenômeno e consequente descoberta da mais evidente — e a mais extensa — estrutura do halo galáctico veio da distribuição espacial de estrelas gigantes M: aquelas presentes no halo estão preferencialmente dispostas em uma grande corrente, chamada "corrente de Sagitário", que só foi encontrada em 2003,



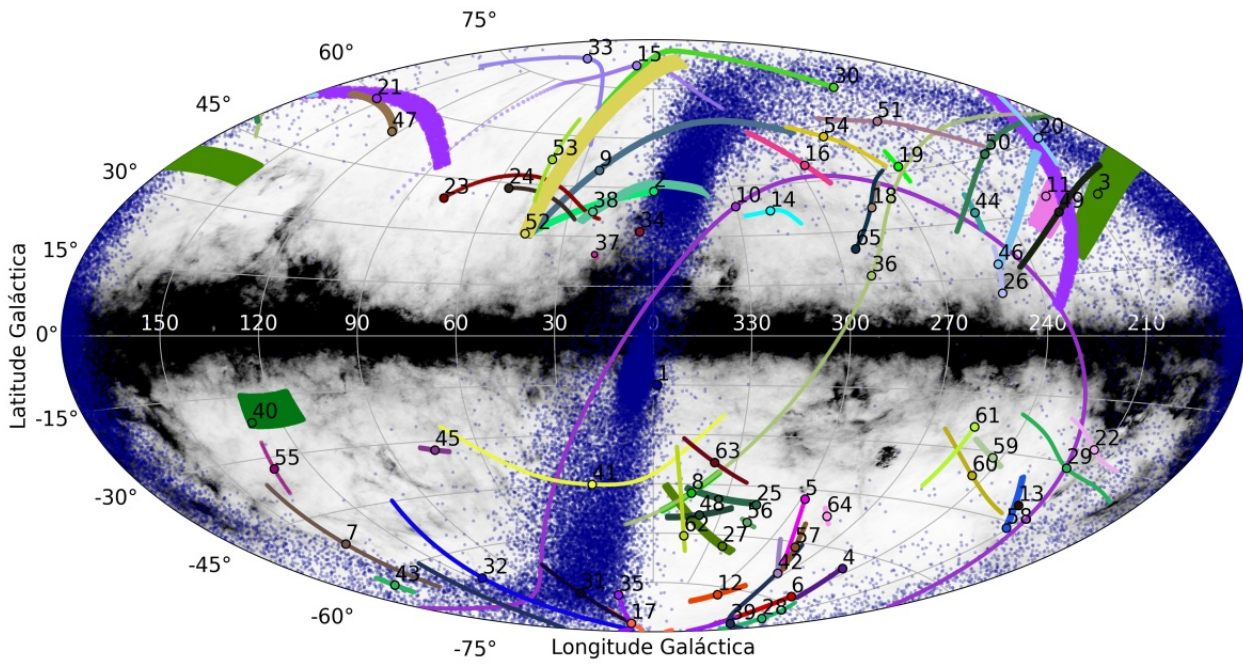
graças ao mapeamento da Galáxia em luz infravermelha.

Desde sua descoberta, foram identificadas cerca de 60 correntes estelares em nossa Galáxia e, aparentemente, há muitas outras para serem descobertas, a partir de observações que conseguem detectar estrelas menos luminosas e/ou mais distantes de nós. A busca por tais estruturas se popularizou devido sua importância pa-

Acima
As galáxias NGC 4038 e NGC 4039 em processo de fusão (Crédito: NASA, Hubble).

Correntes estelares

São formadas quando uma galáxia anã ou o aglomerado globular passa a interagir com uma galáxia de massa consideravelmente maior (por exemplo a Via Láctea). A força gravitacional da Galáxia irá perturbar a estrutura interna através de forças de maré, fazendo com que as estrelas sejam arrancadas. Esse processo ocorrerá até que a galáxia anã ou o aglomerado globular seja completamente destruído e orbitando a galáxia de maior massa. Como as estrelas se depositam ao longo de uma órbita, ao aspecto filamentar dessa distribuição de estrelas foi dado o nome de corrente estelar.



- | | | |
|-------------------|---------------------|--------------------|
| ● 1 - Sagittarius | ● 23 - Hermes | ● 45 - PS1-C |
| ● 2 - Achernon | ● 24 - Hyllus | ● 46 - PS1-D |
| ● 3 - ACS | ● 25 - Indus | ● 47 - PS1-E |
| ● 4 - Aliqa_Uma | ● 26 - Jet | ● 48 - Ravi |
| ● 5 - Alpheus | ● 27 - Jhelum | ● 49 - Sangarius |
| ● 6 - ATLAS | ● 28 - Kwando | ● 50 - Scamander |
| ● 7 - Cetus | ● 29 - Leiptr | ● 51 - Slidr |
| ● 8 - Chenab | ● 30 - Lethe | ● 52 - Styx |
| ● 9 - Cocytos | ● 31 - Molonglo | ● 53 - Svoll |
| ● 10 - Corvus | ● 32 - Murrumbidgee | ● 54 - Sylgr |
| ● 11 - EBS | ● 33 - NGC5466 | ● 55 - Tri-Pis |
| ● 12 - Elqui | ● 34 - Ophiuchus | ● 56 - Tucanalll |
| ● 13 - Eridanus | ● 35 - Orinoco | ● 57 - Turbio |
| ● 14 - Fimbulthul | ● 36 - Orphan | ● 58 - Turranburra |
| ● 15 - Fjorm | ● 37 - Pal15 | ● 59 - Wambelong |
| ● 16 - Gaia-1 | ● 38 - Pal5 | ● 60 - WG1 |
| ● 17 - Gaia-2 | ● 39 - Palca | ● 61 - WG2 |
| ● 18 - Gaia-3 | ● 40 - PAndAS | ● 62 - WG3 |
| ● 19 - Gaia-4 | ● 41 - Phlegethon | ● 63 - WG4 |
| ● 20 - Gaia-5 | ● 42 - Phoenix | ● 64 - Willka_Yaku |
| ● 21 - GD-1 | ● 43 - PS1-A | ● 65 - Ylgr |
| ● 22 - Gjol | ● 44 - PS1-B | |

Acima

Distribuição espacial em coordenadas galácticas das correntes estelares atualmente conhecidas. Figura feita utilizando o pacote GalStreams.

ra diversas questões como a quantidade de matéria escura da Galáxia que pode ser estimada uma vez que a distribuição espacial e dinâmica das estrelas das correntes estelares dependem da massa e do formato do campo gravitacional da Galáxia. Além disso, o número de correntes estelares e sua natureza servem para auxiliar a compreensão da história da formação da Galáxia a partir

do número de eventos e de quando ocorreram. Finalmente, a comparação do número de estruturas e galáxias satélites observadas com aqueles preditos em modelos ajudam a refinar os modelos de simulações cosmológicas.

As mesmas buscas que levaram à descoberta de uma enorme quantidade de correntes estelares, permitiu identificar, até agora, que a Galáxia tem mais de 50 galáxias satélites, das quais a Pequena e Grande Nuvem de Magalhães são as maiores, que ainda orbitam nossa Galáxia mas que não foram destruídas. Essas pequenas galáxias também trouxeram respostas em relação à formação do halo e às previsões teóricas, para pequenas escalas, regime no qual os modelos de matéria escura fria, tão adequados para explicar a formação de estruturas no Universo em grande escala, apresentam discrepância em relação aos dados observados.

Até então, falamos sobre corren-

tes estelares e galáxias anãs que formam a parte mais externa do nosso halo galáctico. Apesar de tantos objetos que foram e estão em processo de fusão, a contribuição total de massa estelar não chega a 1% de toda a massa estelar da Via Láctea. Sabemos que o maior evento de colisão da Via Láctea também está por vir com Andrômeda. No entanto, na última década, graças a grandes levantamentos espectroscópicos, foram-se acumulando diversos indícios sobre o que pode ter sido o maior evento de acreção que aconteceu em toda a história de nossa Galáxia. Com o advento da missão Gaia, foi finalmente confirmado que, durante seus primeiros três bilhões de anos, ou seja em sua "infância", a Via Láctea passou por um processo de fusão com uma galáxia anã que tinha entre 10-25% da massa total da Galáxia àquela época! Este even-

Grandes levantamentos espectroscópicos

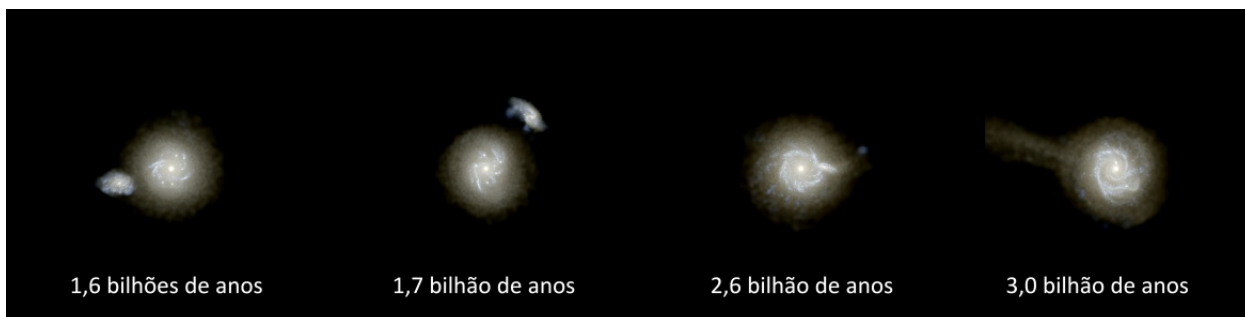
Ao invés de usar um telescópio para observar uma estrela por vez, nesses grandes projetos, o telescópio é equipado com instrumentos que permitem observar centenas, e por vezes milhares, de estrelas ao mesmo tempo. Isso permite que em alguns meses, obtenha-se dados com boa precisão e características espectroscópicas de algumas centenas de milhares de estrelas.

to foi tão significativo que, além de formar o halo estelar local, perturbou gravitacionalmente o disco que estava ainda em processo de formação. Esta perturbação fez com que as estrelas do disco ganhassem mais energia, fazendo com que suas órbitas atingissem maiores distâncias do plano galáctico. À galáxia anã que influenciou significativamente a formação da Via Láctea deu-se o nome Gaia-Enceladus, em referência a um dos Titãs, filho de Gaia, da mitologia grega.

Curiosidade

A estrela ν Indi, na constelação do Índio, visível a olho nu a partir do hemisfério sul terrestre, é uma das estrelas do disco que foi gravitacionalmente perturbado durante a acreção de Gaia-Enceladus. Ela é a estrela mais luminosa no centro da imagem ao lado.





Acima

Vista de cima de resultados de uma simulação de um processo de acreção que se assemelha ao que pode ter ocorrido durante a acreção de Gaia-Enceladus com a Via Láctea. O processo tem início nos primeiros 1,6 bilhões de anos, quando o disco da galáxia principal ainda está em processo de formação. Em 2,6 bilhões de anos, a galáxia anã vai para seu último "mergulho" quando é totalmente destruída pela galáxia principal tornando-se parte dela (Crédito: High Performance Computing Facility/ Univ. of Central Lancashire).

Você pode estar se perguntando: se foi o maior evento de acreção em nossa Galáxia, por que só agora foi descoberto? O principal motivo era a escassez de dados químicos e dinâmicos de estrelas para distingui-las entre diferentes componentes da Galáxia e de Gaia-Enceladus. De fato, numa esfera centrada no Sol com raio de 7000 anos-luz, estima-se que uma em cada 250 estrelas pertenceu a Gaia-Enceladus. Percebe-se então a importância dos grandes levantamentos espectroscópicos para aumentar a estatística que temos dessa estrutura e o motivo de apenas recentemente termos confirmado tal evento.

Uma vez que as estrelas do Gaia-Enceladus estão misturadas com as estrelas da nossa Galáxia, como podemos distinguir as suas estrelas daquelas estrelas nascidas

na nossa Galáxia? As estrelas do Gaia-Enceladus possuem características cinemáticas diferentes das estrelas nascidas na Via Láctea, o que permite separar quais estrelas pertencem a cada galáxia. Por exemplo, a velocidade média de rotação das estrelas de Gaia-Enceladus em torno do centro galáctico é igual a zero. Enquanto que a velocidade média de rotação do disco na posição do Sol é de 220 km/s. Além disso, essa diferença nas velocidades é suficiente para estimar a quantidade de estrelas de Gaia-Enceladus que estão na nossa Galáxia.

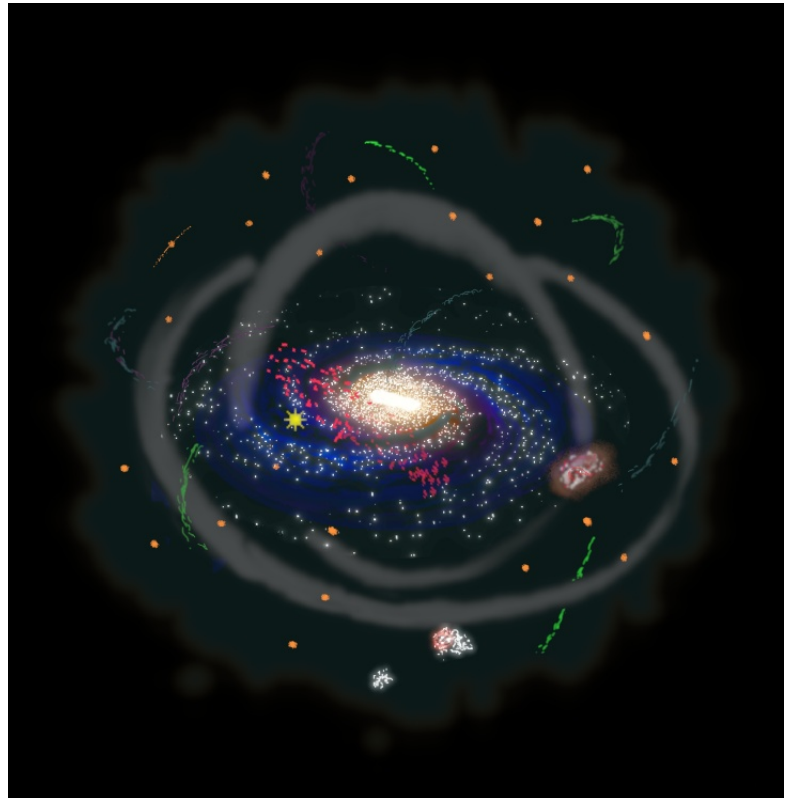
Além da cinemática distinta, a química das estrelas do Gaia-Enceladus também difere da nossa Galáxia. Isso ocorre pois, como mencionamos no começo do texto, as estrelas trazem o registro químico do ambiente a partir do qual nasceram. Isso significa que, mesmo quando as estrelas estão dispersas de seus locais de nascimento, elas retêm informação sobre sua origem em sua composição química. E utilizando uma técnica chamada espectroscopia, astrônomos conseguem medir a quantidade de cada elemento químico que a estrela possui através

Gaia

O satélite Gaia foi desenvolvido pela Agência Espacial Europeia com o ambicioso intuito de mapear com grande precisão 1,3 bilhão de estrelas, ou seja 1% da população total de nossa Galáxia. Esse mapeamento 3D consiste em determinar das estrelas sua posição no céu através de suas coordenadas, distância através de paralaxe e velocidade com que se movem pela Galáxia..

da luz que elas emitem. Assim, estrelas com padrões similares de abundâncias químicas provavelmente têm uma origem comum. Logo, a análise de padrões químicos permitiria identificar se uma dada estrela apresenta química similar àquela das componentes da Galáxia ou de galáxias satélites. Portanto, com a grande quantidade de espectros estelares medidos, novamente graças ao advento dos grandes levantamentos espectroscópicos, pode-se caracterizar melhor as estrelas do Gaia-Enceladus. Isso ajuda os astrônomos a entender o quão massiva era Gaia-Enceladus e estimar quando deve ter ocorrido a fusão com a Via Láctea.

A aparente ideia de que as estrelas são imóveis ao observar o céu noturno esconde o quão dinâmica e violenta é a evolução de nossa Galáxia. Porém, a escala de tempo em que isso ocorre é para além do que possa ser compreendido na escala de vida do ser humano. Por isso, além das observações estelares que nos ajudam a montar o quebra-cabeças da história de nossa Galáxia, simulações de evolução de galáxias como a nossa, nos ajudam a entender melhor esse quebra-cabeças. Por exemplo, modelos que simulam o evento de acreção de Gaia-Enceladus nos ajudam a entender o real efeito que teve em deixar o disco mais espesso, além de ajudar a entender melhor os padrões químicos e dinâmicos



Acima

A nova visão da Galáxia inclui não apenas seus componentes tradicionais, mais também as correntes estelares e destroços mareais de Gaia-Enceladus (em magenta) e de Sagitário (em cinza).

observados no halo estelar.

A missão Gaia que ajudou a confirmar o maior evento de acreção de nossa Galáxia ainda está na metade de sua duração. Até 2025 a qualidade e quantidade dos dados disponíveis vai aumentar ainda mais. Que outros segredos mais se encontram escondidos na Via Láctea? •

Hélio D. Perottoni
hperottoni@gmail.com
Universidade de São Paulo

João A. S. Amarante
joaoant@gmail.com
Universitat de Barcelona



As atividades do Observatório **SONEAR**

Um pequeno observatório privado instalado no interior de Minas Gerais destaca-se pela quantidade de descobertas e consistência de seu trabalho. Conheça aqui essa história!

O Observatório SONEAR (*Southern Observatory for Near Earth Asteroids Research* — Observatório Austral para pesquisa de asteroides próximos à Terra), como o próprio nome indica, foi criado para o estudo de asteroides próximos à Terra. O seu principal trabalho é a buscas de NEOs (*Near Earth Objects* — Objetos próximos da Terra) no hemisfério sul celeste, além de acompanhamento de objetos recém-descobertos

para refinamento dos parâmetros orbitais.

O telescópio principal, um 450 mm $f/2.9$, começou a ser construído com a encomenda do espelho primário para Sandro Coletti, que o concluiu em 2010.

Em 2012, em visita à cidade de Oliveira (Minas Gerais), decidimos com João Ribeiro de Barros, sócio e proprietário do terreno, pela instalação do observatório na zona rural, pois havia infraestrutura da parte elétrica e inter-

net disponível. Todos os recursos financeiros são próprios. Coube a João o aporte para a parte da edificação e a mim os recursos para aquisição de todo o equipamento.

A construção começou no fim de 2012, sendo concluída em meados de 2013. Paralelamente a estas atividades, o engenheiro Marcelo Moura foi incumbido do projeto e execução da montagem do tubo óptico (OTA).

As atividades de comissionamento começaram no segundo semestre de 2013, coincidentemente com o fechamento das atividades do Observatório Siding Springs na Austrália, que era o único localizado no Hemisfério Sul que fazia busca de NEOs. Próximo à latitude 21° Sul, o SONEAR está bem localizado para observar todo o céu do Hemisfério Sul celeste e boa parte do Hemisfério Norte.

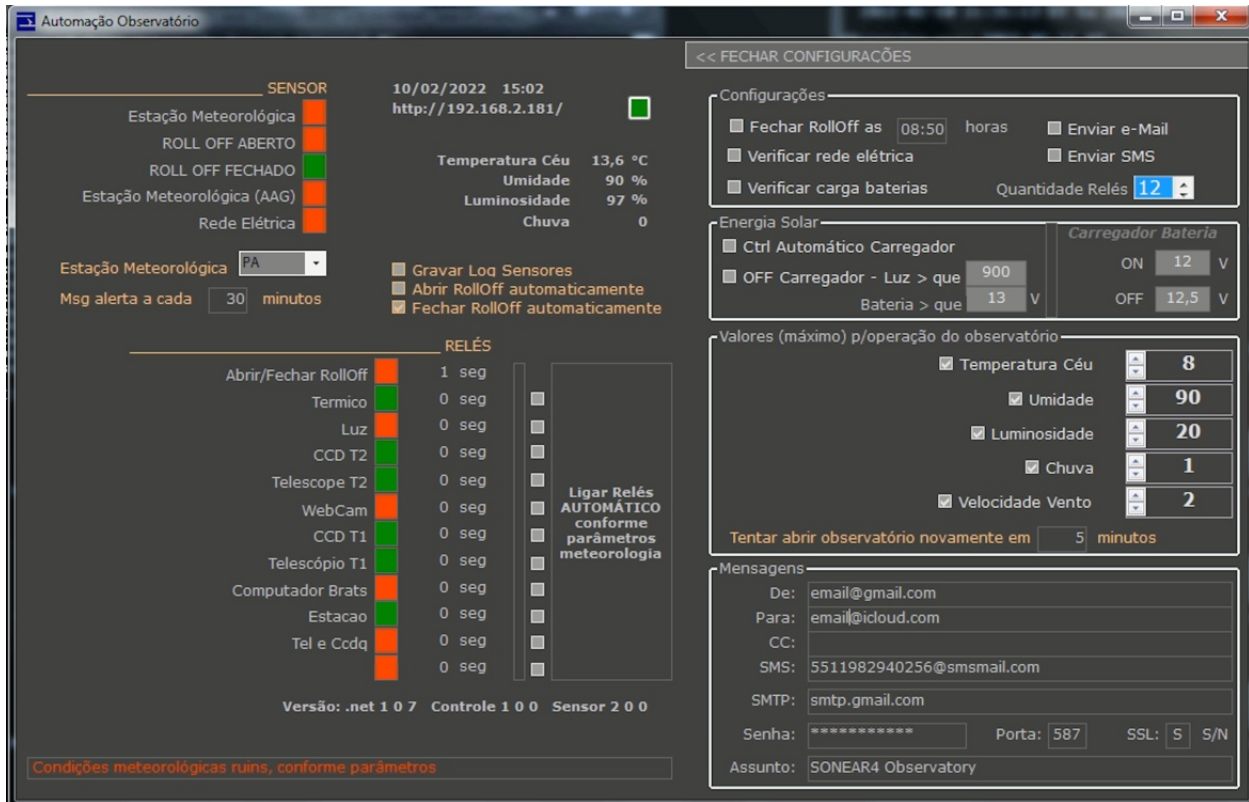
O controle de automação do observatório foi desenvolvido por Paulo Azevedo. Tal procedimento permite ligar e desligar até três conjuntos de telescópios-câmera de maneira remota, além de se integrar à estação meteorológica também desenvolvida por ele e que possui sensores de temperatura, umidade, pressão atmosférica, anemômetro, indicador de direção de vento e sensor de chuva e de nuvens. O teto é um *roll-off* com dimensões de 4 × 6 metros, comandado por 2 motores de 0.5 HP sincronizados. O sistema foi desenvolvido para a-

brir e fechar o teto automaticamente, conforme parâmetros pré-definidos de vento, umidade, chuva e cobertura de nuvens (temperatura do céu no infravermelho) e sensor de iluminação (dia/noite). Para complementar o monitoramento, temos uma câmera AllSky. Todo o controle do observatório é feito remotamente pela internet. Casos específicos de manutenção *in loco* ficam a cargo de João Ribeiro de Barros.

Na página anterior
Observatório SONEAR com seu roll-off.

Abaixo
Em primeiro plano, telescópio RASA-Celestron 280mm f/2.2 e, ao fundo, o 450mm f/2.9.





Acima
Tela de controle de automação do observatório.

Toda a experiência observacional e de automação de observatório foi adquirida durante duas experiências anteriores: no Observatório Wykrota (código MPC 859) pertencente ao Centro de Estudos Astronômicos de Minas Gerais localizado na Serra da Piedade, a 60 km de Belo Horizonte. Nesse observatório, foram desenvolvidas as primeiras atividades de buscas de asteroides e de supernovas. No período de 1999 a 2004, foram descobertos 14 asteroides do cinturão principal e duas supernovas com o programa Brass (*Brazilian Supernovae Survey*), constituído em conjunto com Carlos Colesanti, Eduardo Pimentel e Tasso Napoleão. Uma vez que não havia a disponibilidade de in-

ternet, as observações só eram possíveis de forma presencial, fazendo uso do TAO (*Tools for Automated Observing*), software de agendamento de observações desenvolvido por Paulo Holvorcem. Como a cúpula desse observatório não era automatizada, deixava-se a trapeira aberta em posição paralela ao meridiano local de maneira fixa, e o programa TAO se encarregava de agendar alvos somente nesta posição.

A outra experiência foi no Observatório CEAMIG-REA (código MPC I77), dentro de Belo Horizonte, no bairro Céu Azul, próximo à Lagoa da Pampulha. Apesar da poluição atmosférica e luminosa de uma grande cidade como BH, foram desenvolvidos al-

guns programas observacionais como a continuidade do programa de Buscas de Supernovas e *Follow up* e confirmação de NEOs recém-descobertos. Devido à disponibilidade de internet, ele era controlado remotamente com um teto *roll-off* de 2×3 metros. Esse observatório ficava na casa de Eduardo Pimentel. Foram descobertas 13 supernovas entre 2004 e 2009.

As primeiras observações no SONEAR foram feitas usando-se um telescópio LX200 Meade de 12" e uma montagem Paramount MEII para obtenção do código MPC (código Y00) e também *follow up* de NEOs da página NEOCP (NEO Confirmation Page).

Em outubro de 2013, o tubo óptico ficou pronto, em conjunto com uma câmera CCD FLI 16803, que produzia um campo 1.6×1.6 graus e escala de placa $1.44''$ /pixel.

Após o início da operação deste telescópio, 95% do tempo disponível era direcionado para buscas e 5% para *follow-up* de objetos, principalmente aqueles que estavam mais bem localizados no Hemisfério Sul celeste. Posteriormente, foi adicionado um segundo telescópio de 280 mm f/2.2 (RA-SA/Celestron e montagem Paramount MX) escala de placa de $3''$ /pixel, com um campo de 3.5×3.5 graus.

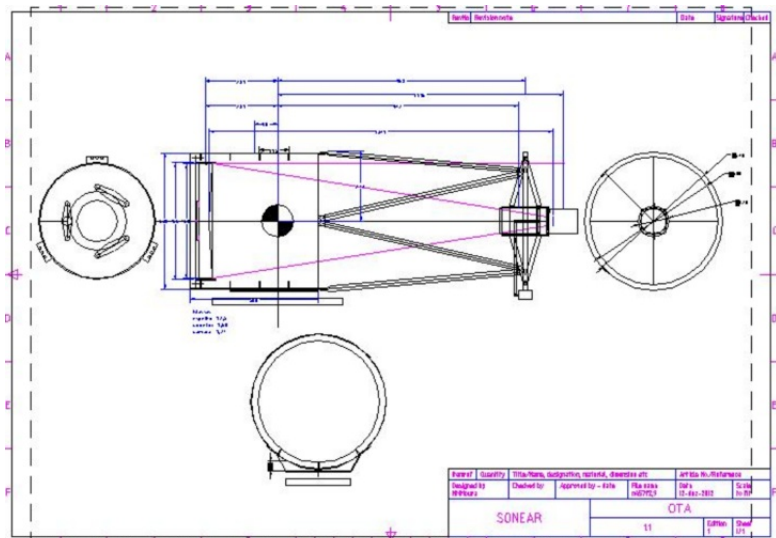
No mês de janeiro de 2014, demos início às atividades de buscas limitadas ao Hemisfério Sul



Acima
Câmera Allsky. À direita, poluição luminosa de Oliveira e, acima e à esquerda, poluição de Belo Horizonte.

celeste. Em geral, o histórico do mês de janeiro se mostra inviável para observações devido ao período de chuvas. Entretanto, naquele período, houve 20 dias de céu limpo e seco, o que nos permitiu fazer a descoberta do primeiro objeto: o cometa C/2014 A4. Em uma primeira análise visual, o objeto não aparentava ter aspecto cometário e, por isso, reportamos ao MPC (*Minor Planet Center*) como um possível asteroide. Após

Abaixo
Projeto do tubo óptico. Autoria de Marcelo Moura.



o objeto ser colocado na página de confirmação de NEOs (NEOCP) outros observadores com telescópios maiores confirmaram a natureza cometária e, uma semana após o achado, o MPC oficializou a descoberta dando ao cometa o nome SONEAR. Isso se deu visto que, pela regra do MPC, o nome do cometa deve ser o do observatório e não do observador que o descobriu. No caso, tal cometa tem uma órbita hiperbólica e retrógrada, com excentricidade de 1.0004463 e inclinação de 121.36°.

Em março de 2014, instalamos duas câmeras para detecção de meteoros. Durante o tempo de funcionamento destas câmeras, mais de 4000 mil meteoros foram ob-

servados entre 2014 a 2018. O resultado dessas detecções foi enviado para a BRAMON (Rede Brasileira de Monitoramento de Meteoros), a fim de parear com os mesmos meteoros detectados por outras estações próximas para cálculo de órbitas. Como resultado, alguns meteoros das duas primeiras chuvas de meteoros descobertas no Brasil tiveram participação de detecções realizadas no SONEAR. Foram denominadas como *Epsilon Gruids* e *August Caelids* e reconhecidas pelo Meteor Data Center.

Em maio de 2014 descobrimos o asteroide 2014 KP₄₂, primeiro NEO descoberto no Brasil que também foi classificado como um PHA (As-

Abaixo

Telescópio 450 mm f/2.9 em atividade de buscas.



teroiide Potencialmente Perigoso).

Descobertas

Apesar de o foco principal ser descobrir NEOs em declinações austrais, a partir do ano de 2018, fizemos uma atualização no *software* de detecção, com a finalidade de aproveitar as imagens de buscas de asteroides e detectar transientes.

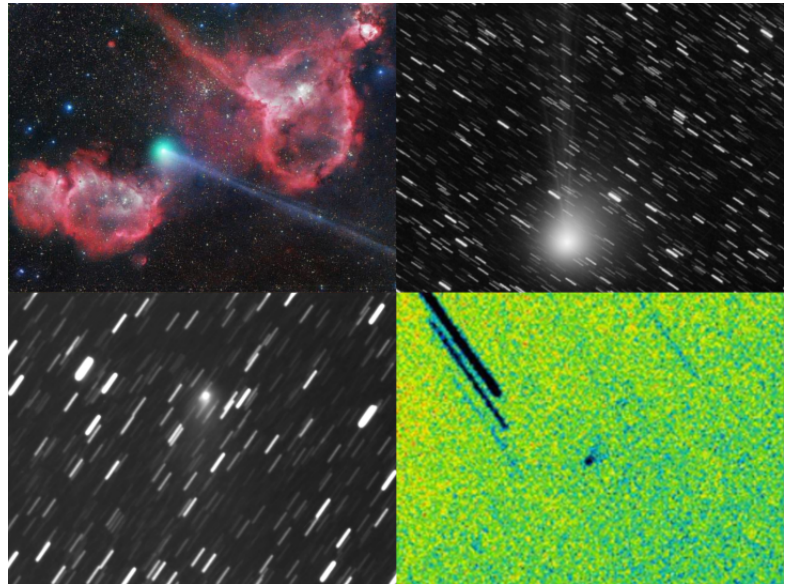
Desde 2014, quando foi iniciada a operação para buscas de NEOs foram descobertos:

- 36 NEAs (*Near Earth Asteroids* — Asteroides próximos à Terra) sendo 8 deles PHA (asteroides potencialmente perigosos).
- 9 Cometas — sete cometas de longo período e dois periódicos.
- 28 MBA, isto é *Main Belt Asteroids* (Asteroides do cinturão principal).
- 3 MCR — (*Mars Crossers*, Asteroides que cruzam a órbita de Marte).
- 35 transientes galácticos.

Até o momento foram realizadas 6879 observações de NEOs, sendo 70% de confirmações de objetos na página NEOCP e 30% de observações de NEOS em múltipla oposição em modo *survey*.

Softwares, procedimentos e estratégias

Os softwares Maxim/DL integrado ao ACP (*Astronomer Control Panel*) gerenciam os controles da câmera CCD ou CMOS, em conjunto com as montagens dos telescópios. Um script desenvol-



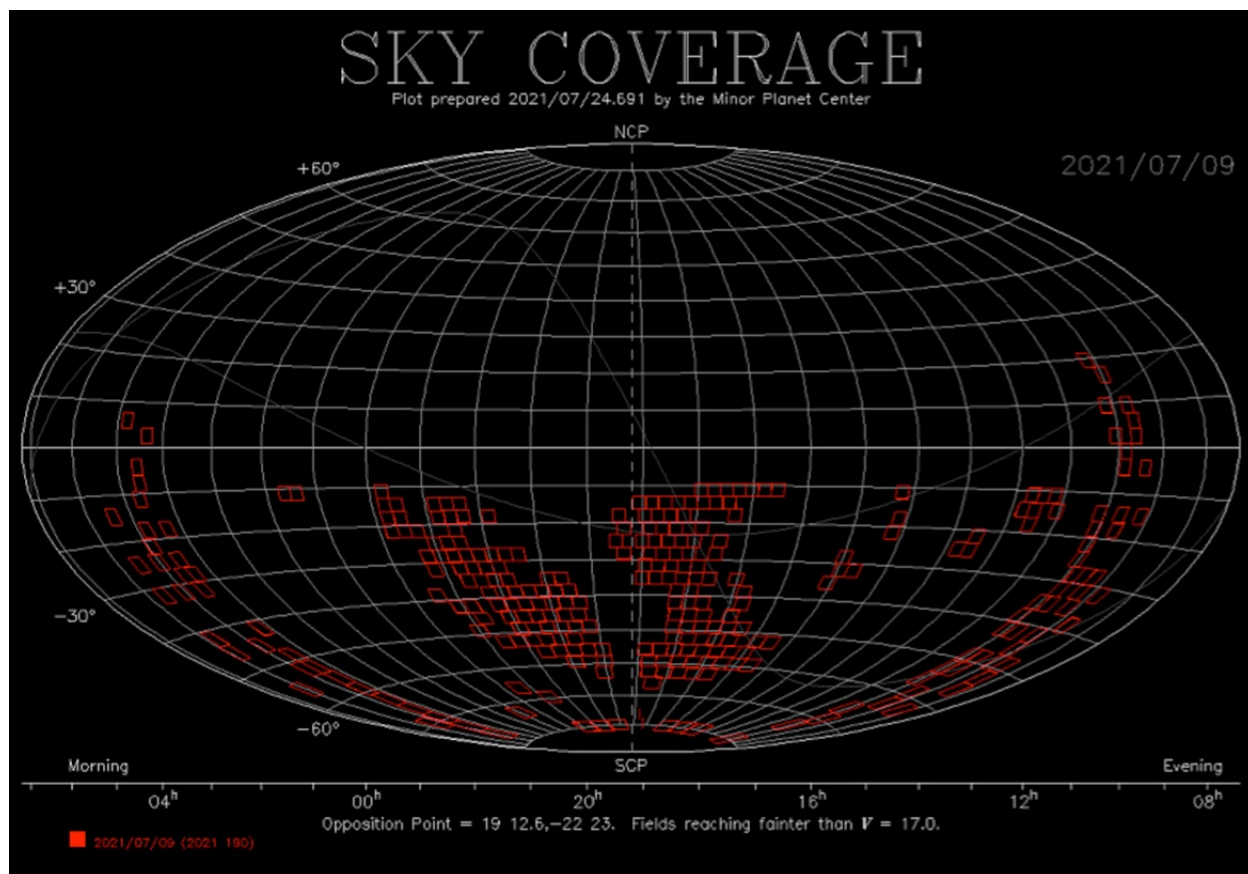
vido por Paulo Holvorcem é processado pelo ACP e faz leitura de um arquivo preparado pelo programa de agendamentos de observações chamado de TAO (*Tools for Automated Observing*). A geração do agendamento dos campos de buscas pode ser automatizada diariamente em função dos campos já observados em noites anteriores, ou então escolhidos de forma manual, dependendo da estratégia de buscas utilizadas para determinada noite.

Normalmente temos duas estratégias de buscas. São agendadas três imagens de um mesmo campo com intervalo entre as imagens conforme estratégia:

1. *Slow* — Cadência de 15 minutos entre as imagens e exposições entre 60 a 120 segundos que permite fazer buscas de NEOs com velocidades entre 0.5 a 10 graus/dia, com limite de magnitude igual a 19.5.
2. *Fast* — Cadência de dois minu-

Acima

Os quatro primeiros descobertos pelo SONEAR. No canto superior esquerdo, cometa C/2014 E2 (Jacques), fotografado por Michael Jäger; no canto superior direito, cometa C/2014 A4 (SONEAR), fotografado por Gianluca Masi e Pier Luigi Catalano; no canto inferior esquerdo, cometa C/2015 F4 (Jacques), fotografado por Efrain Morales; no canto inferior direito, cometa P/2015 Q2 (Pimentel), fotografado por A. Maury e J. F. Soulier.



Acima

Cobertura típica de áreas do céu para uma noite de observação no inverno. Este *sky coverage* mostra ao centro a região da oposição; à direita, o oeste; à esquerda, o leste. Cada quadrado corresponde à área de um campo de observação que é visitado três vezes por noite.

tos entre as imagens e exposições entre 10 a 15 segundos para buscas NEOs rápidos e brilhantes com velocidades entre 0.8 a 1000 graus/dia e magnitude limite de 17.5.

O software responsável pela detecção de objetos móveis é o *Skysift*, que também foi desenvolvido por Paulo Holvorcem. Uma hora antes do início da noite, atualizamos o banco de dados de asteroides e cometas já conhecidos conectando-se à base central do Minor Planet Center.

O software funciona em modo *Pipeline*, ou seja, cada imagem obtida é processada imediatamente e, a cada lote de três imagens de um mesmo campo, é analisada a

possível existência de objetos móveis. Caso isso seja confirmado, identificam-se os asteroides e cometas já conhecidos e são separados em outra lista de candidatos não identificados. Esses candidatos são analisados manualmente para verificar se são falsos positivos. Caso sejam reais, fazemos as devidas verificações e enviamos imediatamente para o MPC através de um e-mail como uma possível descoberta.

Nesse mesmo processamento para identificação de objetos móveis são verificados possíveis transientes como novas ou supernovas. As imagens feitas na noite são comparadas com uma biblio-

teca de imagens das mesmas regiões. Através de uma rotina de subtração, são verificados novos candidatos a transientes.

A análise dos candidatos a novos asteroides e cometas é feita ao longo da noite até o momento de dormirmos e na primeira hora da manhã para o restante que não foi analisado. Cada noite um observador fica responsável por tal análise. Para integrar a equipe do observatório, convidamos Eduardo Pimentel, já que ele havia participado do projeto de descobertas de supernovas.

A estratégia de buscas FAST permite-nos descobrir objetos rápidos e brilhantes, além de ser responsável por 60% das descobertas do observatório. O objeto de maior velocidade aparente em relação ao plano do céu descoberto foi o 2020 RM₁, com 54.48 graus por dia.

Essa estratégia também permite detectar vários satélites artificiais e lixo espaciais. Desde 2014, dez objetos com órbita geocêntrica e não catalogados foram descobertos.

Desde 2021, temos utilizado uma nova técnica para buscas chamada *Synthetic Tracking* através do software *Tycho-tracker*. Essa técnica melhora a razão sinal-ruído (SNR) de alvos em movimento, sem precisar saber sua velocidade e direção. A *Synthetic tracking* é um processo que envolve o empilhamento de dezenas de imagens obtidas de milhares de ma-

Principais descobertas do SONEAR

2015 BL₃₁₁ — Classificado como asteroide potencialmente perigoso (PHA) para quatro planetas (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte)

2016 QA₂ — passou a 84000 km da Terra, com tamanho estimado entre 25 a 55 metros

2017 NT₅ — Lista de risco do Sentry (serviço da NASA para monitoramento de impactos de asteroides na Terra)

2018 HW₁ — Lista de risco do Sentry

2019 OK — passou a 71000 km da Terra, com tamanho estimado entre 57 e 130 metros. Considerado o maior asteroide a passar tão perto da Terra em um século

C/2014 E2 (Jacques) — Cometa de longo período, que passou a 12.7 milhões de km de Vênus e chegou a uma magnitude máxima de 6.0

P/2020 J1 (Pimentel) — Cometa periódico da família de Júpiter, considerado um *Near Earth Comet* ou cometa próximo à Terra

Transientes em parceria com o BRaTs (*Brazilian Transient Search*)

Três novas galácticas, duas novas na Grande Nuvem de Magalhães e diversas novas anãs e outras variáveis cataclísmicas

Chuvas de meteoros, em parceria com a BRAMON (Trindade et al.)

Cinco chuvas, sendo que três dessas têm o corpo parental associados a asteroides que o SONEAR descobriu:

- 17 Capricornids, associada ao 2019 OK
- Omega Sagittarids, associada ao 2017 NT₅
- Southern May Ophiuchidis, associada ao 2015 BL₃₁₁

neiras diferentes (variando-se a velocidade e direção). O software *Tycho* aproveita os milhares de núcleos da placa de vídeo GPU pa-

Para saber mais

2016 QA₂

<https://www.space.com/33891-newfound-asteroid-buzzes-earth-2016-qa2.html>

2019 OK

<https://cneos.jpl.nasa.gov/news/news203.html>

Lista completa das descobertas feitas pelo Observatório SONEAR

<http://shorturl.at/yzCLY>

Contracapa

Centro da Via Láctea mapeado em ondas de rádio pelo radiotelescópio MeerKAT. As cores representam a intensidade da radioemissão, enquanto as emissões mais fracas são apresentadas em cinza (Crédito: I. Heywood, SARAO).

ra acelerar o processo. Esse método recém-adquirido nos permitirá descobrir novos asteroides entre a magnitude de 19.5 a 20.5. O primeiro NEO descoberto com essa técnica foi o 2021 NW₅. Ele também bateu nosso recorde de detecção, sendo achado com magnitude de 19.8.

Sempre que possível, participamos de campanhas para observação de ocultações de asteroides e TNOs que estejam previstas para as nossas coordenadas geográficas.

Em 2019, o SONEAR foi aceito como um dos signatários da IAWN (*International Asteroid Warning Network*). Participamos das reuniões virtuais do *Steering Committee* e da campanha de observação do Apophis, sendo a única entidade brasileira a fazer parte dessa organização.

Em fevereiro de 2022, fomos contemplados com o Grant NEO-Shoemaker, patrocinado pela Planetary Society. O valor recebido do Grant será usado para um upgrade de uma câmera CMOS com 90% de eficiência quântica e uma

GPU para processamento de imagens usando o software *Tycho-Tracker*.

Este artigo homenageia o que consideramos madrinha do SONEAR a Tereza Beatriz Roque Braga (1948-2016). Ela foi psicóloga, psicopedagoga e professora, esposa do João. Amante das estrelas, ela fez muito para difundir a astronomia entre as crianças em idade escolar.

Cristóvão Jacques Lage de Faria
SONEAR / Canal AstroNEOS
cjacqueslf@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

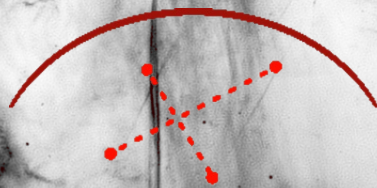
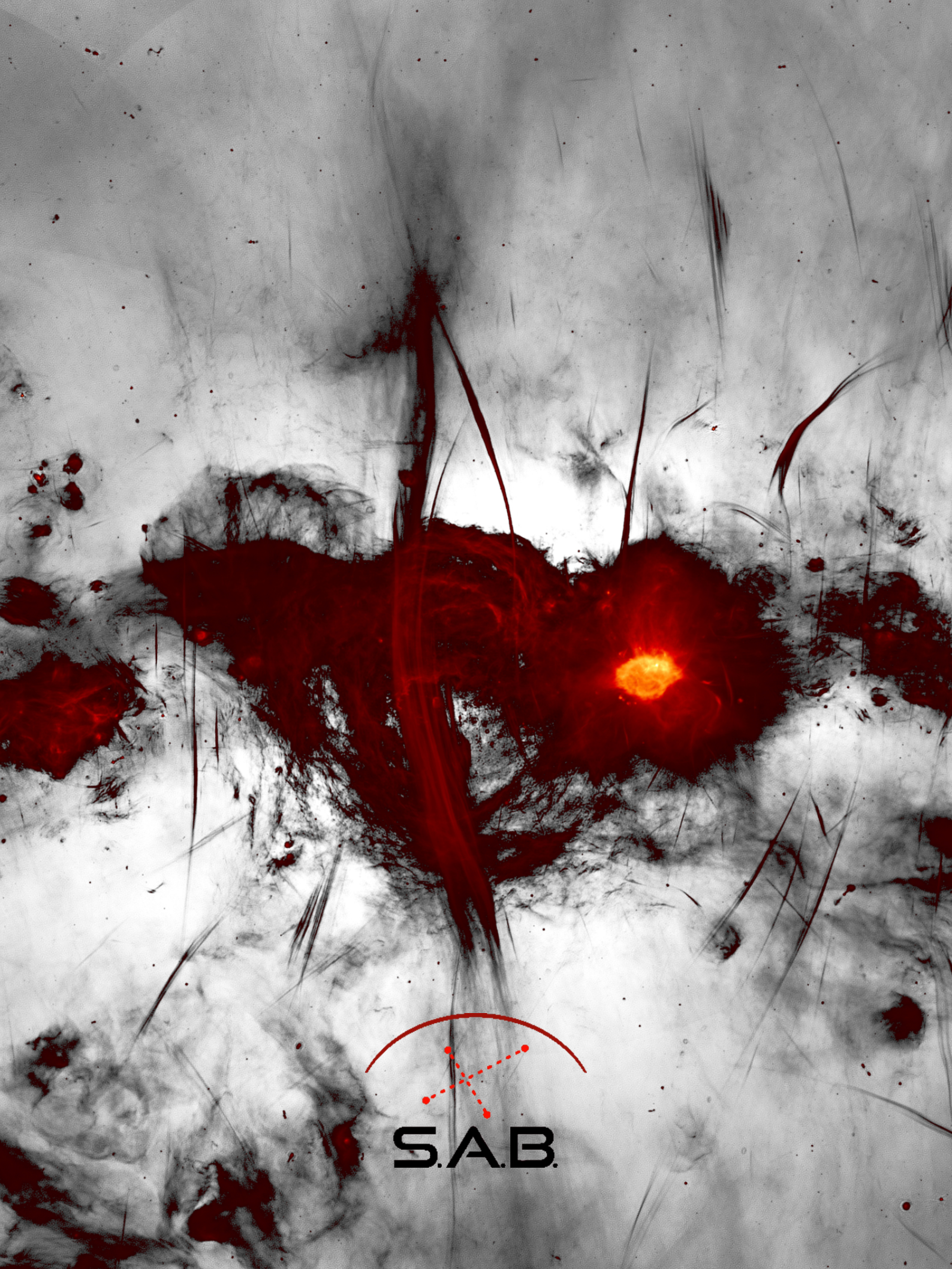
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ingresso via ENEM/SiSU e vestibular próprio

<http://ufrgs.br/astro>

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





S.A.B.