

Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 4 | Número 14

Matéria Escura

Uma onda de formação estelar

Entrevista: Zulema Abraham

100 anos da Luneta 46



Editorial

Há poucos dias ouvi uma pergunta que pode soar de forma provocativa: "se os astrônomos desaparecessem, quem sentiria falta de vocês?" A dúvida era legítima, fundava-se na curiosidade de quem buscava encontrar vínculos pouco explorados entre áreas do conhecimento que tradicionalmente não possuem conexão clara.

Isso ocorreu na mesma semana em que a observação de um eclipse total da Lua viralizou pelas redes sociais. Foram inúmeros os comentários de quem não possui conhecimento formal em Astronomia, mas que buscou registrar o evento em seus celulares. Pois nessa era de conexões globais, um fenômeno celeste presenciado por milhões repercute intensamente por todo lado, sem distinção de divisões sociais ou fronteiras nacionais; gera curiosidade e encantamento.

Mais do que pensar o que aconteceria se os astrônomos desaparecessem, talvez possamos pensar o que aconteceria se não mais tivéssemos um céu noturno. Se o impacto da atividade humana sobre a Terra se tornar tão desenfreado a ponto de a poluição atmosférica e luminosa nos privar do céu e de seus fenômenos, o que esperar da humanidade futura? Temo que o céu noturno deixaria de ser um espaço de contemplação e passaria a ser a cúpula opaca de nosso próprio alheamento às maravilhas (e ameaças) celestes.

Se os astrônomos desaparecessem, talvez quem mais sentiria falta seriam aqueles que veem a Terra como um local a mais em um cosmos incomensurável, já que a exploração dos céus é motivada pelo desejo de conhecer o ambiente que nos cerca. Sem isso, somos como indivíduos perdidos em um quarto escuro, incapazes de saber o que está ao redor.

O astrônomo, seja profissional, seja amador, trabalha para ampliar o raio da esfera do conhecimento humano. Se não houvesse astrônomos, quem lembraria as pessoas de olhar para a cima?

*Helio Jaques Rocha Pinto
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira*

Esquerda

Detalhe da grande galáxia espiral M 51 e sua satélite anã NGC 5195 (Crédito: Hubble/NASA).

Capa

Simulação da distribuição de matéria escura ao redor da Via Láctea (Crédito: Ralf Kaehler/Ethan Nadler/SLAC National Accelerator Laboratory).

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 Matéria Escura

*O que é a matéria escura? Como ela foi
avetada? Há perspectiva de descobrir
do que é feita? Rubens Machado faz um
didático compêndio sobre essas
questões.*

16 Entrevista: Zulema Abraham

*Desde sua chegada ao Brasil, Zulema teve
papel fundamental na formação de jovens
astrônomos e radioastrônomos.*

23 Onda de Radcliffe

*Uma estrutura galáctica próxima ao Sol
passou despercebida até agora. Sua
descoberta coloca em cheque a existência
de outra estrutura também pouco
entendida, como nos conta Phillip Galli.*

30 A luneta equatorial do Obs. Nacional

*Josina Nascimento e Simone Daflon
escrevem sobre a Luneta 46, que por
décadas reinou como a maior do país.*

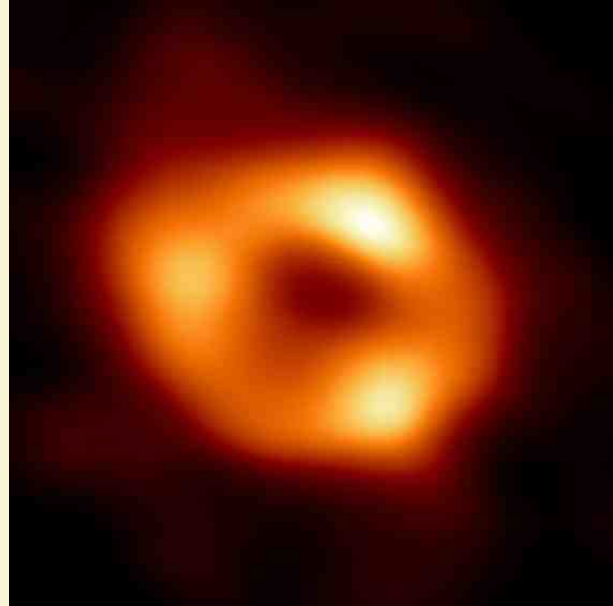
Primeira imagem do buraco negro central da Via Láctea

OBJETOS COMPACTOS A primeira imagem do buraco negro supermassivo do centro da Via Láctea foi revelada no dia 12 de maio deste ano pelo Event Horizon Telescope (EHT). Essa foi a segunda imagem revelada de um buraco negro, sendo a primeira a do M87*, em 2017.

Não foi fácil capturar a imagem do Sgr A*. Na verdade, nenhuma imagem de um buraco negro é fácil de ser capturada, mas uma das principais dificuldades é a poeira densa e opaca no centro galáctico, que impede a radiação emitida pelo ambiente ao redor do buraco negro de chegar até nossos telescópios. Além disso, a intensidade da radiação do Sgr A* não é tão grande quanto a do M87*.

A imagem que tivemos do buraco negro mostra, na verdade, o gás ao seu redor, formado por matéria que se aproximou demais do objeto central e gira ao seu redor com velocidade próxima à da luz. O buraco negro, em si, encontra-se na sombra que vemos dentro do anel luminoso.

Sgr A* está localizado à 27 mil anos-luz da Terra e tem cerca de 4,3 milhões de vezes a massa do Sol. Para fotografar o M87*, foi necessária uma rede de 7 radiotelescó-



Event Horizon Telescope

pios; já o Sgr A*, foi necessário usar oito radiotelescópios, espalhados pelos cinco continentes, que atuaram como se fossem um aparelho gigante.

A imagem obtida, na verdade, é a média de milhares de imagens criadas usando diferentes métodos computacionais. Vale lembrar que as cores são falsas, porque os dados são obtidos principalmente em ondas de rádio, que são invisíveis aos olhos humanos •

Descoberto um novo tipo de explosão estelar: as micronovas

ESTRELAS Tal como as novas e supernovas, as micronovas estão ligadas às explosões tardias em anãs brancas. As anãs brancas são remanescentes de estrelas. Elas são pequenas, muito densas, não queimam hidrogênio e são mantidas pela pressão de degenerescência de elétrons, apesar de existir um limite de peso que os elétrons podem sustentar.

Assim como o nome sugere, as micronovas são explosões energéticas menores que as supernovas e novas. Apesar de o nome ter a palavra "micro", essa explosão ainda é muito forte. Em uma única micronova, podemos queimar uma massa de 20.000.000 trilhões de kg.

Por conta de durarem poucas horas, essa foi a primeira vez que foi possível observar uma explosão de micronovas, mas acredita-se que essas explosões sejam mais co-

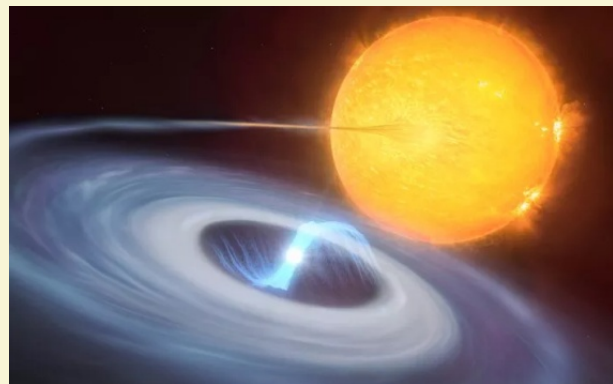


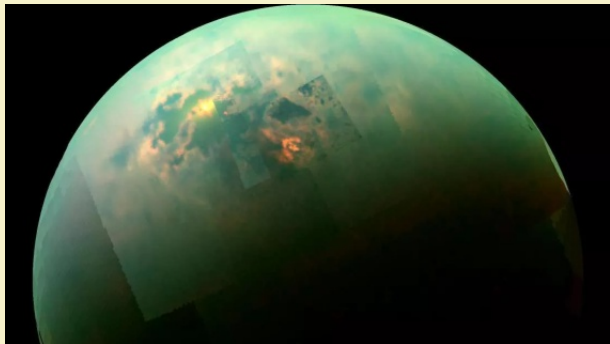
Foto: ESO/M. Kornmesser, L. Calçada

muns do que parecem. A equipe que realizou a descoberta é da Universidade de Durham, confirmando que a origem das micronovas são anãs brancas •

Novas semelhanças entre a Terra e Titã são encontradas

SISTEMA SOLAR A lua de Saturno, Titã, é bem parecida com a Terra por conta da presença de rios e mares, apesar de eles serem de compostos de metano e etanol líquidos ao invés de água. Recentemente, pesquisadores acreditam ter descoberto em Titã um mecanismo parecido com a dinâmica do ciclo da água terrestre. Isso permitiria a formação de ambientes sedimentares no satélite.

A pesquisa foi publicada na revista *Geophysical Research*



Titã (Foto: NASA)

Letters, sendo liderada pelo geólogo da Universidade de Stanford, Mathieu Lapôtre, nos Estados Unidos. O estudo revela de que modo o ciclo de transporte de líquido impulsiona grãos sobre a superfície de Titã.

A atmosfera dessa lua é formada por ventos de nitrogênio que, no solo, modelam dunas de areia de hidrocarbonetos. Os cientistas determinaram o processo pelo qual esses grãos e até rochas se formam no satélite, dependendo da frequência com que os ventos sopram e os riachos fluem. Como consequência, eles acreditam ter descoberto como todos os ambientes sedimentares da lua se formaram.

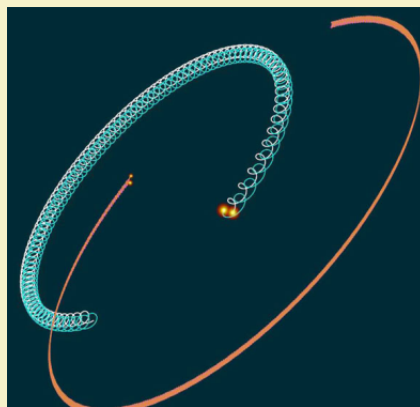
Em um comunicado Lapôtre disse que se entendermos como as diferentes peças do quebra-cabeça se encaixam e sua mecânica, podemos começar a usar as formas de relevo deixadas por esses processos sedimentares para entender mais sobre o clima ou a história geológica de Titã e como estes podem afetar a perspectiva para a existência de vida na lua.

"Estamos mostrando que em Titã, assim como na Terra — e como costumava ser em Marte —, temos um ciclo sedimentar ativo que pode explicar a distribuição latitudinal das paisagens", completa o líder do estudo •

Sistema estelar quádruplo pode dar origem a supernovas

ESTRELAS O sistema estelar quádruplo, também conhecido como binária dupla HD 74438, foi descoberto na constelação Vela em 2017 nos dados do Gaia-ESO Survey. Após anos de monitoramento de HD 74438 durante vários anos, foi possível rastrear com precisão as órbitas das estrelas no sistema estelar quádruplo. As observações foram feitas no Observatório Mt. John da Universidade de Canterbury, na Nova Zelândia, e no Grande Telescópio da África do Sul, utilizando espectrógrafos de alta resolução.

Recentemente a *Nature Astronomy* publicou um artigo no qual se aponta que os efeitos gravitacionais do sistema binário externo estão mudando as órbitas do par binário interno, fazendo com que ele se torne mais excên-



Simulação (Univ. de Canterbury)

trico. Com isso foram feitas simulações. Estas sugerem ser possível que a dinâmica gravitacional do sistema (ao lado) possa levar a uma ou múltiplas colisões e eventos de fusão, produzindo anãs brancas com massas pouco menores que o limite de Chandrasekhar. Tais fusões e transferência de massa entre anãs brancas podem produzir uma explosão de supernova termonuclear, se a massa delas se torna superior a esse limite.

A evolução de sistemas estelares binários duplos, como HD 74438, representa assim um novo canal promissor para explicar a origem das explosões de supernovas termonucleares no Universo, diz a Dr.^a Karen Pollard, uma das autoras do estudo •



Matéria escura

A maior parte da massa do Universo é algo que não emite luz. Deduzimos que a matéria escura está presente pelos efeitos gravitacionais nas galáxias, mas ainda não sabemos do que ela é feita..

Logo no primeiro capítulo das suas *Lectures on Physics*, Richard Feynman se coloca a seguinte questão: se algum cataclisma viesse a destruir todo o conhecimento científico da humanidade, e se fosse possível transmitir uma única frase para as próximas gerações, qual seria a frase com a maior quantidade de informação? Feynman

propõe que o conceito de que "tudo é feito de átomos" condensa muito do que sabemos sobre o funcionamento do mundo. De fato, a física do século XX tinha tido um sucesso estrondoso ao explicar a estrutura da matéria. Entendemos que tudo era feito de átomos: a água, o ar, as rochas, nossos próprios corpos, todos os objetos à nossa volta e até mes-

mo os planetas e estrelas são feitos de combinações dos diferentes elementos da tabela periódica. Até recentemente, parecia que essa questão estava definitivamente resolvida. Ironicamente, agora sabemos que tudo isso é apenas uma parte da história — a menor parte —, e que a principal componente de massa do Universo não é essa matéria comum feita de átomos, mas sim um outro tipo de matéria, chamada de matéria escura.

Na Astronomia, usamos imprecisamente o termo *bárions* quando queremos nos referir a átomos em geral, pois a maior parte da massa do átomo está no núcleo, ou seja, nos prótons e nêutrons, que são bárions.

Nesse vocabulário, matéria bariônica é toda a massa que não for matéria escura.

O que é a matéria escura?

A resposta é: ninguém sabe. Ainda não sabemos de que substância a matéria escura é composta, mas conseguimos inferir a sua presença graças aos seus efeitos gravitacionais. É chamada de *matéria* pelo fato de ela ter massa, isto é, ela sente e exerce força gravitacional normalmente. É dita *escura* pois ela não emite e nem absorve luz. Mais precisamente, a matéria escura seria transparente: a luz a atravessa sem ser absorvida ou refletida. Essa invisibilidade merece um comentário adicional. Muitas coisas no Universo são invisíveis aos nossos olhos humanos, apesar de emitirem ra-

dição eletromagnética em outros comprimentos de onda: infravermelho, ultravioleta, rádio, raios X. Isso é comum e temos telescópios com detectores sensíveis a essas radiações fora do espectro óptico. Já a matéria escura tem um comportamento excepcional pois ela não emite (nem absorve) radiação em nenhum comprimento de onda. Aparentemente ela não participa das interações eletromagnéticas, diferentemente dos átomos. Por exemplo, quando a luz das estrelas é absorvida ou espalhada pelo gás e poeira no meio interestelar, trata-se de interação eletromagnética entre a luz e átomos. Não existe tal interação entre luz e matéria escura, até onde sabemos.

Como podem os astrônomos acreditar na existência de algo invisível, que não se detecta com os telescópios? Bom, existem coisas na natureza cuja presença é deduzida a partir de efeitos indiretos. Pense em campos elétricos e magnéticos. Eis, ainda, um exemplo mais banal: o vento em si é invisível, mas a existência do vento pode ser deduzida de dentro da casa observando pela janela as folhas que balançam nos galhos das árvores. Da mesma forma, o que os astrônomos fazem é observar cuidadosamente o movimento das estrelas e assim deduzir a presença da matéria escura à sua volta.

A matéria escura é cerca de 5 vezes mais abundante que a ma-

Na página anterior
Galáxia NGC 5033. As velocidades de rotação das galáxias espirais são muito altas e indicam a presença de matéria escura. (Crédito: Adam Block, Mt. Lemmon Skycenter, Univ. Arizona).

Abaixo

Aglomerado de galáxias Hércules (Abell 2151). Em aglomerados, as velocidades das galáxias indicam a presença de matéria escura (Crédito: Howard Trottier/Final Frontier Telescope).

téria comum. Pode parecer surpreendente que algo desse porte tenha passado despercebido por tanto tempo. Ocorre que a matéria escura só se manifesta no domínio das galáxias e, por isso, só pôde ser inferida a partir de observações astronômicas suficientemente detalhadas. Veremos a seguir quais são os tipos de observações que nos indicam a presença de uma massa não-bariônica em galáxias e em aglomerados de galáxias. Na ciência é sempre importante entender quais são as evidências empíricas que nos le-

vam ao entendimento que temos sobre a natureza.

Rotação das galáxias espirais

As galáxias espirais têm o formato de um disco achatado e são compostas por bilhões de estrelas que orbitam o centro da galáxia. As velocidades orbitais das estrelas dependem da massa total da galáxia. Aqui podemos pensar numa analogia com o sistema solar: se a massa do Sol fosse maior, a força gravitacional que ele exerceria sobre os planetas seria maior e, portanto, os planetas precisariam ter velocidades orbitais mais altas para conseguir se manter às mesmas distâncias. O conceito essencial é: quanto mais massa, mais velocidade. Pois bem, nas galáxias, podemos calcular por outros meios a massa visível, isto é, a soma das massas das estrelas. Resulta que as galáxias não teriam massa luminosa suficiente para reter as estrelas em suas órbitas. Dito de outra forma, as velocidades que observamos para suas estrelas são altas demais. Inexplicavelmente altas. A maneira de entender como as estrelas podem ter tais velocidades é supor que, além da massa luminosa, deva existir uma outra massa na galáxia. Essa massa adicional estaria distribuída na forma de um halo aproximadamente esférico, que envolve e permeia a galáxia: é o halo de matéria escura, cuja massa precisa ser tipicamen-



te o quántuplo da soma das massas das estrelas. Em galáxias, há mais matéria escura do que estrelas.

Velocidades de galáxias em aglomerados

Aglomerados de galáxias são grandes arquipélagos que podem conter centenas ou milhares de galáxias. As galáxias, por sua vez, não estão paradas: todas se movem ao redor do centro do aglomerado, como em um enxame de abelhas. Aqui, mais uma vez, a velocidade das galáxias depende da massa total do aglomerado. As velocidades observadas de cada galáxia são bem maiores do que seria de se esperar pela soma da massa bariônica. Somos novamente levados a concluir que as galáxias estão imersas em um enorme halo de matéria escura, que engloba o aglomerado como um todo e precisa ter uma massa que é aproximadamente o quántuplo da massa bariônica.

Gás entre galáxias

Em aglomerados, o vasto espaço entre as galáxias não é um vázio: ele está ocupado por um gás tênue e muito quente. A temperatura desse gás também está atrelada à massa total do aglomerado. Quanto maior a massa total, mais fundo é o poço de potencial gravitacional. Para se manter em equilíbrio nesse poço, o gás precisa ter uma temperatura alta e proporcional à massa total. A tem-

peratura desse gás pode ser medida através de telescópios espaciais de raios X. Com essas temperaturas, podemos calcular qual a massa total do aglomerado, que mais uma vez resulta ser por volta de 5 vezes maior que a massa bariônica, consistentemente com os resultados anteriores.

Lentes gravitacionais

Existe na teoria da relatividade geral um efeito chamado de lentes gravitacionais. A presença da massa deforma o tecido do espaço-tempo e faz com que a trajetória dos raios de luz deixe de ser uma linha reta. Por isso, um aglomerado de galáxias opera como uma lente. Um raio de luz proveniente de alguma galáxia distante, ao passar pelo aglomerado, é defletido. O resultado é que a imagem daquela galáxia distante chega até nós levemente distorcida, pelo fato de ter atravessado essa lente gravitacional que é um aglomerado. Analisando detalhadamente os padrões de deformação da imagem, é possível reconstruir as propriedades da lente, isto é, a massa do aglomerado. O que deforma o espaço-tempo é a massa total, seja ela qual for, bariônica ou matéria escura. Então este método nos dá uma estimativa da massa total do aglomerado, mais uma vez indicando que a massa total é muito maior que a massa bariônica. Existem até mesmo casos espetaculares de aglomerados

em colisão, onde a matéria escura se separou do gás. Em aglomerados desse tipo, a análise conjunta de lentes gravitacionais e de dados de raios X nos evidencia com clareza onde está a maior

parte dos bárions e onde está a maior parte da massa.

□□□

Vemos portanto que existem várias fontes de informação que apontam na mesma direção. É im-

portante perceber que essas fontes de informação são independentes entre si. É por esses motivos que os astrônomos foram gradualmente ganhando confiança na noção de que matéria escura precisa existir. Isoladamente, cada uma dessas evidências poderia estar sujeita a erros e incertezas. No entanto, tomadas em conjuntos, seria muito improvável que vários dados independentes entre si conspirassem todos para uma mesma conclusão errônea.

Cosmologia e matéria escura

Há também outras evidências observacionais além dessas apresentadas acima, mas que não serão detalhadas aqui. Como exemplo, mencionamos brevemente algumas das outras evidências na escala cosmológica. Na teoria de formação de estrutura em larga escala, é necessária uma fração substancial de matéria escura; caso contrário, as galáxias não se teriam formado a tempo. Na nucleossíntese do Big Bang, é necessária uma proporção muito específica de bárions com relação à massa total, para que a abundância de hélio no Universo seja aquela que medimos. As análises da radiação cósmica de fundo em microondas também exigem uma proporção bastante bem estabelecida entre bárions, matéria escura e energia escura. O atual modelo cosmológico padrão é um

consenso que emergiu nas últimas décadas como resultado do acúmulo de medições fantásticamente precisas. O fato de que a cosmologia requer matéria escura na mesma proporção quantitativa exigida pelas galáxias corrobora ainda mais as conclusões anteriores.

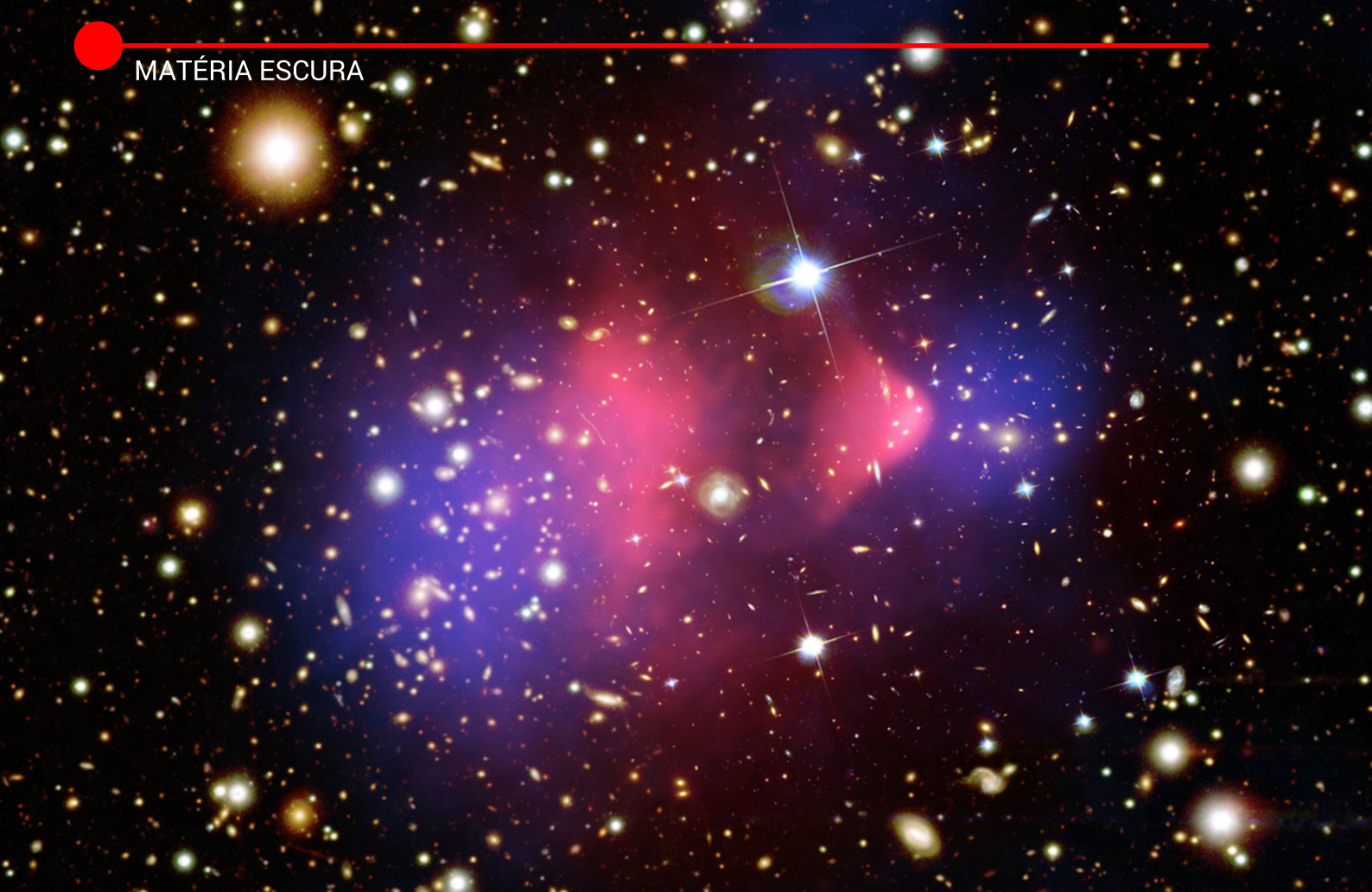
Do que é feita a matéria escura?

Mesmo que estejamos convencidos de que a matéria escura precisa existir, continuamos sem saber qual a sua composição. Várias idéias já foram propostas, testadas e descartadas. Aparentemente, a matéria escura não tem como ser feita de poeira, nem gás, nem buracos negros, nem asteroides. Se fosse o caso, já teríamos sido capazes de observar seus efeitos indiretos. Resta a possibilidade de a matéria escura ser composta, em última análise, de alguma partícula elementar diferente das que conhecemos atualmente na Física. Há hipóteses especulativas nesse sentido que estão sendo exploradas atualmente pelos físicos.

Tentativas de detecção da matéria escura

Gostaríamos de um dia conseguir detectar efetivamente essas supostas partículas. As atuais tentativas de detecção de matéria escura são de dois tipos: direta e indireta. A detecção direta seria feita em laboratórios terrestres,

Página anterior
Aglomerado Abell 370. Os aglomerados de galáxias funcionam como lentes gravitacionais. Sua massa é capaz de distorcer os raios de luz (Crédito: NASA, ESA, Hubble, Rogelio Bernal Andreo/DeepSkyColors.com)



Acima

O Aglomerado da Bala é, na verdade, uma colisão entre dois aglomerados de galáxias. A figura mostra onde está majoritariamente a matéria comum, em vermelho, e a matéria escura, em azul (Crédito: NASA, Hubble, ESA)

como os que detectam neutrinos, mas esses experimentos de laboratório, por enquanto, não tiveram resultados conclusivos. Já a detecção indireta viria da interpretação de fenômenos astrofísicos observados com telescópios. Por exemplo, sabemos que partículas e antipartículas se aniquilam gerando como resultado radiação gama — isso é parte da física conhecida. Talvez as supostas partículas de matéria escura sofram algum tipo de auto-interação, se aniquilando e produzindo radiação eletromagnética. Esse mecanismo, caso exista, deve ser raro, e o local mais provável para ocorrer seriam regiões de alta densidade de matéria escura: os centros das galáxias. Então se fôssemos capazes de detectar um certo excesso de

radiação gama proveniente dos centros galácticos, talvez ele pudesse vir a ser atribuído à autoaniquilação de partículas de matéria escura. Ocorre que centros galácticos são locais extremamente conturbados do ponto de vista energético e é muito complicado ter confiança de que todos os fenômenos astrofísicos normais já estão plenamente compreendidos. Por essas dificuldades, a detecção indireta também não trouxe resultados conclusivos até o momento. Segue o mistério e por isso mesmo essa é uma área de pesquisa tão ativa atualmente.

Um paralelo histórico

E se a matéria escura não existir? Para a matéria escura não existir, é preciso que a Física atual

esteja errada. Não seria a primeira vez que algo assim acontece. A história da astronomia tem dois episódios que nos ajudam a pensar sobre a situação atual. No fim do século XIX, as órbitas dos planetas eram conhecidas com grande nível de detalhe. As observações eram suficientemente acuradas e os cálculos teóricos eram feitos heroicamente sem calculadora ou computador. Detectou-se um problema: a órbita observada de Urano discordava um pouco da órbita calculada teoricamente. Postulou-se a existência de um novo corpo: se existisse um planeta com uma certa massa numa certa órbita, então a perturbação gravitacional introduzida explicaria a órbita de Urano. Esse planeta é Netuno, cuja existência foi deduzida teoricamente antes que ele fosse efetivamente observado com telescó-

pio. Foi um épico triunfo da mecânica clássica e uma demonstração assombrosa do poder preditivo da Física. Nesse episódio, mantivemos as leis conhecidas da Física — gravitação newtoniana — e postulamos a existência de uma massa ainda não observada. O próximo exemplo é o oposto. Aproximadamente na mesma época, reconheceu-se que Mercúrio também apresentava uma pequena discrepância na sua órbita, chamada de precessão do periélio. Dessa vez, as tentativas de detectar um perturbador oculto não revelaram nenhum planeta novo. Não faltava levar em conta um massa ignorada; era a teoria que estava errada. Foi apenas décadas mais tarde, com o advento da teoria da relatividade geral, que a órbita de Mercúrio pôde ser finalmente compreendida. Esses acontecimentos são interes-

Dúvidas Comuns

Existe matéria escura no sistema solar?

Não temos nenhuma medida direta, o que é esperado. Embora a massa total da matéria escura seja grande, sua densidade local não é tão elevada, pois ela está distribuída por volumes gigantescos. Aqui na posição em que o Sol se encontra na Via Láctea, a densidade esperada de matéria escura seria equivalente a algo da ordem de 1 kg por volume da Terra, algo minúsculo em termos gravitacionais. Por isso, mesmo estando presente, a matéria escura não seria capaz de afetar perceptivelmente as órbitas dos planetas, cometas e asteróides.

A energia escura tem relação com matéria escura?

Até onde se sabe, não há relação. A energia escura é uma outra componente misteriosa do Universo. Na cosmologia, ela é a responsável pela expansão acelerada. A composição total de energia e matéria do Universo é aproximadamente:

- energia escura: 70%
- matéria escura: 25%
- bárions: 5%

Abaixo

Em aglomerados, o espaço entre as galáxias é permeado por um gás quente, observados por telescópios espaciais de raios X (roxo). (Crédito: Telescópio Chandra)



santes pois ilustram dois problemas com o mesmo sintoma — dinâmica orbital anômala — mas com explicações distintas. Num caso, a solução foi confiar na teoria e postular uma massa invisível; no outro, a solução foi aceitar que não havia massa oculta e abandonar a teoria por uma teoria melhor. A relatividade geral substitui a gravitação newtoniana.

Teorias alternativas

Voltando para o problema da matéria escura, podemos dizer que a situação atual tem analogia com

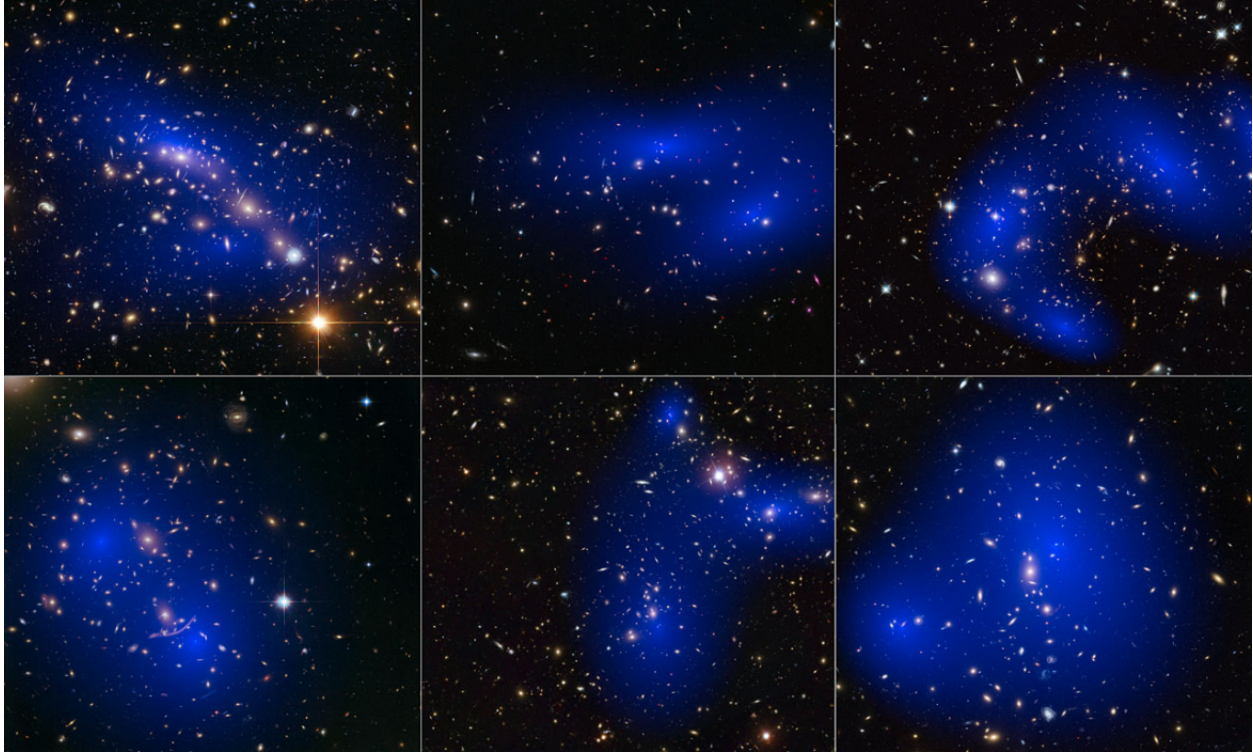
a de Netuno. Por enquanto, o consenso da maioria dos astrônomos é que a relatividade geral continua sendo nossa melhor explicação para os fenômenos gravitacionais do Universo e que, portanto, precisa haver uma quantidade substancial de matéria escura. Ainda assim, é prudente lembrar que, na Ciência, as teorias são sempre provisórias. É concebível que um dia a relatividade geral venha a ser suplantada por alguma futura teoria. É natural que físicos e astrônomos explorem também teorias alternativas de gravidade ou de dinâmica modificada e que essas idéias sejam testadas em face aos dados observacionais.

Um problema de décadas

Do ponto de vista histórico, a necessidade da matéria escura em galáxias só passou a ser efetivamente compreendida pela comunidade astronômica por volta dos anos 1970 ou 1980, com as curvas de rotação de galáxias espirais obtidas por Vera Rubin e Albert Bosma, entre outros. Em retrospecto, podemos reconhecer que a dispersão de velocidades medida por Fritz Zwicky no aglomerado de Coma já era uma manifestação da matéria escura, embora nos anos 1930 não houvesse a noção de matéria não-bariônica.

Status atual

No atual momento, a situação da matéria escura segue um pou-



co estranha. É praticamente impossível hoje em dia pensar em qualquer aspecto de astronomia extragaláctica ou cosmologia sem levar em conta a matéria escura. Embora saibamos fazer os cálculos de seus efeitos gravitacionais, continuamos no escuro quanto à sua natureza fundamental. Se por um lado, há um enorme acúmulo de evidências observacionais convincentes e quantitativas, por outro lado, ainda falta a almejada detecção direta. Não é exagero dizer que a matéria escura é atualmente uma das principais questões em aberto da astronomia e quiçá da ciência, pois afinal diz respeito a nada menos que a composição do mundo •

Rubens Machado
 Univ. Tecnol. Federal do Paraná
 rubensmachado@utfpr.edu.br

Acima
 Imagens de seis aglomerados de galáxias, da esquerda para a direita, e de topo a baixo: MACS J0416.1-2403, MACS J0152.5-2852, MACS J0717.5+3745, Abell 370, Abell 2744 e ZwCl 1358+62. O mapa de matéria escura de cada aglomerado é apresentado com luz azul sobreposta à imagem óptica (Crédito: NASA, ESA, D. Harvey, R. Massey, the Hubble SM4 ERO Team, ST-ECF, ESO, D. Coe, J. Merten, HST Frontier Fields, Harald Ebeling, Jean-Paul Kneib, Johan Richard).



Entrevista

Zulema Abrahama

Nesta edição, entrevistamos a Prof.^a Zulema Abraham.

Zulema nasceu em Buenos Aires, no dia 13 de setembro de 1942. Graduou-se em Física pela Universidade de Buenos Aires em 1965. Inicialmente seu doutorado seria realizado na mesma universidade, mas o golpe militar na Argentina interviu nas universidades, levando-a a doutorar-se pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em 1971, onde ela se especializou em neutrinos solares sob a orientação de um dos papas da evolução estelar: Icko Iben. Ainda neste ano ela veio ao Brasil para trabalhar na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde ficou por 7 anos. A história profissional de Zulema a fez transitar pelas quatro principais instituições de pesquisa astronômica no Brasil. Em 1978, ela se junta a Pierre Kaufmann no Observatório Nacional, onde fica por dois anos, seguindo depois para o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para o qual também se transfere a gerência das atividades em radioastronomia do país. Em 1987, quando o grupo de Pierre Kauffmann se transfere para o Centro de Rádio-Astronomia e Astrofísica Mackenzie, Zulema opta por juntar-se ao Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo, onde atualmente ainda atua, como professora sênior. Sua pesquisa tem como ênfase os seguintes temas: emissão rádio, quasares, jatos relativísticos e regiões H II. Durante sua carreira, ela foi presidente e vice-presidente da Comissão de Usuários do Radiotelescópio do Itapetinga nos mandatos 1992-1997 e 2002-2003, respectivamente. Na Diretoria da Sociedade Astronômica Brasileira, já atuou como tesoureira, secretária-geral e presidente. Para homenageá-la, em maio de 2014, o Departamento de Astronomia do IAG/USP realizou o evento *40 years of research in Radioastronomy, 25 at IAG/USP – A workshop in honor of Zulema Abraham*. Atualmente, Zulema colabora na construção do radiotelescópio argentino-brasileiro LLAMA.

RBA: Você sempre pensou em ser cientista, ou foi algo que aconteceu ao longo da vida ?

Acho que sempre pensei em ser cientista, do contrário não teria feito o Curso de Física. Nessa época o que estava na moda era a Física Nuclear e minha ideia era trabalhar na Comissão Nacional de Energia Atômica, na Argentina. No entanto, muitos acontecimentos tornaram a Astronomia interessante nessa época: o lançamento dos primeiros satélites artificiais, a interpretação dos espectros dos quasares como devidos ao *redshift*, o começo da modelagem dos interiores estelares (com a instalação do primeiro computador na Argentina), depois de se postular que a luminosidade das estrelas era devida à energia liberada pelas reações nucleares. A decisão pela Astronomia só foi feita no fim do Curso de Física, quando tive que escolher um TG (Trabajo de Graduación). Nessa época, Carlos Varsavsky tinha-se incorporado ao Departamento de Física da Universidade de Buenos Aires e começado, em colaboração com a Carnegie Institution of Washington, a instalação de um radiotelescópio de 30 m de diâmetro, para medir a linha de 21 cm do H neutro. Como o radiotelescópio ainda não tinha sido instalado, meu TG foi na área de Evolução Estelar, que depois se converteu em Doutorado no MIT, sob a orientação de Icko Iben.

RBA: Houve algum(a) grande cientista que tenha sido seu “ídolo” científico na juventude, que tenha influenciado na tua decisão de ser cientista ?

Não tive “ídolos” cientistas. Tive sim professores excelentes que me inspiraram, como Juan Roederer e J. J. Giambiagi, na Universidade de Buenos Aires, e Victor Weisskopf no MIT. Este último era Chefe do Departamento de Física do MIT e tinha participado na Operação Man-

hattan, responsável pelo desenvolvimento da primeira bomba atômica; suas conversas com os estudantes de Pós Graduação moldaram minha concepção da ética científica, o que me acompanha até o presente.



Acima: Foto da diplomação em Física pela Universidade de Buenos Aires. Da esquerda para direita, no plano de fundo: Quique D'Alessio, Diego Cesarsky e Hernan Bonadeo; no primeiro plano: Catherine Cesarsky, Zulema Abraham e Silvia Garzoli. O mesmo grupo se reuniu 50 anos depois para celebrar as Bodas de Ouro de Catherine e Diego Cesarsky.

RBA: Conte-nos brevemente sobre como foi sua formação e o que vc faria diferente se tivesse que começar de novo ?

Minha formação foi em Física, tanto na gradu-

ação em Buenos Aires, quanto na pós-graduação no MIT, minha tese de doutorado foi em Astrofísica, em Neutrinos Solares. Sempre me interessei pela ciência, não só pela Física. No Curso de Ingresso à Universidade, tive acesso às distintas áreas oferecidas pela Facultad de Ciencias Físicas y Naturales, entre elas biologia. A genética estava no seu início nessa época, sempre me pergunto se, começando de novo, não a teria escolhido. Mas acho que de qualquer maneira, sempre seguiria a carreira docente e científica.



Acima: Zulema e seu esposo, Federico Strauss, durante seu doutorado em Boston.

RBA: Em que momento de sua carreira o Brasil surgiu como opção de trabalho? Você teve dificuldade para se adaptar?

Minha vinda ao Brasil foi por convite de Edemundo da Rocha Vieira. Eu o conheci na Ar-

gentina, onde ambos estávamos fazendo o doutorado na Universidade de Buenos Aires, sob a orientação de Carlos Varsavsky. Com a intervenção na Universidade pelo Governo Militar da Argentina, em 1966, todos os professores do Departamento de Física pediram exoneração; eu fui aceita no MIT, onde obtive meu PhD e Edemundo terminou seu doutorado na Argentina, na Universidade de La Plata, retornando ao Brasil como professor da Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Nessa época foi criado o Instituto de Física nessa universidade, com dois departamentos, Física e Astronomia. Edemundo me convidou, junto com meu marido, Federico Strauss, para fazer parte do novo Departamento de Astronomia.

Minha adaptação pode ser dividida em dois aspectos, o humano e o profissional. O humano foi instantâneo, o profissional foi mais difícil. Nessa época éramos 5 doutores trabalhando em Astronomia em todo o Brasil, as comunicações eram difíceis, para fazer uma ligação telefônica interestadual tinha que pedir autorização ao diretor; existiam computadores de grande porte, mas para o dia a dia ainda usávamos régua de cálculo; a primeira calculadora de bolso HP, recém-desenvolvida, foi comprada por nós com verba do CNPq. No entanto, pensando no número de doutores que ajudamos a formar desde essa época, só posso me sentir orgulhosa.

Além do convite de Edemundo, recebi outro de Pierre Kaufmann. Nos conhecemos através de um projeto chamado *Latin America Teaching Fellowships*. Esse projeto oferecia cargos docentes em distintas universidades da América Latina, eu me inscrevi e fui escolhida para a Universidade Mackenzie, onde Pierre Kaufmann estava construindo o radiotelescópio milimétrico. Pierre nos visitou em Boston e juntos fomos visitar a firma que estava construindo o radiotelescópio.

Os organizadores do *Latin America Teaching Fellowships* tinham forte interesse em que eu fosse para a Mackenzie. Expliquei-lhes que já estava comprometida com a Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Assim, terminei indo para Porto Alegre e só em 1978 me juntei ao grupo de Pierre Kaufmann, que já tinha se transferido para o CNPq.



Acima: com seus alunos Pedro Beaklini e Anderson Caproni, durante a Assembleia Geral da IAU, no Rio de Janeiro, em 2009.

RBA: O Brasil não possui bons sítios para astronomia óptica. Levando isso em conta, por que a radioastronomia não se estabeleceu como grande área de atuação em nossa comunidade?

Assim como para astronomia óptica, o Brasil não possui lugares bons para radioastronomia, exceto para frequências baixas, que já vêm sendo exploradas na Argentina. Mais em breve, o Brasil terá o BINGO, que explorará essa mesma faixa espectral. A radioastronomia poderia ter-se desenvolvido mais no Brasil, se além do LNA tivesse sido criado um LNR (Laboratório Nacional de Radioastronomia). Assim como está, cada pesquisador propõe o projeto de seu interesse sem nenhuma coor-

denação nacional. Outro problema é que, por falta de vagas, os radioastrônomos que conseguimos formar ou mudaram de área, ou estão trabalhando no exterior.



Acima: em 2004, durante uma conferência internacional sobre a estrela Eta Carinae, no Grand Teton National Park, EUA, com Nidia Morell, Nolan Walborn e Elisabete de Gouveia Dal Pino.

RBA: Após se estabelecer no Brasil, você manteve laços de colaboração científica com a Argentina?

Sempre estive em contato com os pesquisadores argentinos, especialmente os do IAR (Instituto Argentino de Radioastronomia). Em 1988, consideramos instalar um radiotelescópio milimétrico em El Casleo, na Argentina, onde está o Observatório óptico, mas não conseguimos financiamento. Entramos juntos em uma proposta para sediar o SKA (*Square Kilometre Array*), que terminou sendo atribuído à África do Sul e à Austrália. Finalmente conseguimos financiamento da FAPESP para o radiotelescópio LLAMA, projeto binacional com a Argentina, que está sendo instalado em Salta, Argentina.

RBA: Como você vê a formação atual de físicos e astrônomos? Em sua opinião faz sentido ter dois cursos separados de graduação,

em Física e em Astronomia ?

Acho que a Física é fundamental para a Astronomia. Não sou contra os cursos de astronomia, mas acho que eles têm que oferecer principalmente Física, mostrando a Astronomia como uma aplicação da Física. Uma de minhas críticas aos cursos, tanto de Física quanto de Astronomia no Brasil, é que uma mesma matéria é apresentada várias vezes, com distintos graus de complexidade, de acordo com as ferramentas de Cálculo já disponíveis. A partir da experiência na minha graduação, na qual cada assunto era apresentado uma única vez com todo o rigor necessário (a duração do curso era de 5 anos, com 20 disciplinas ao todo), sinto que algo parecido aumentaria o interesse e desempenho dos alunos.



Acima: em 2019, durante a inauguração do radiotelescópio Pierre Kaufmann.

RBA: Qual foi o trabalho que deu mais prazer em fazer e qual o mais significativo ?

É uma pergunta difícil de responder. Por um lado está a formação de estudantes, gosto muito da docência e da orientação. Do ponto de vista científico, desde 1988 trabalho com radioastronomia, e devido a minha experiência an-

terior em computação, trabalhei no desenvolvimento e melhora dos sistemas de rastreamento e aquisição de dados do radiotelescópio Pierre Kaufmann (ex-Itapetinga), o que me permitiu aprofundar no tratamento dos dados observacionais. Dos trabalhos científicos publicados, uma grande parte se refere a estudos de variabilidade de AGNs, sua relação com buracos negros binários e precessão de jatos. Hoje em dia esses trabalhos tornaram-se importantes na compreensão da origem das observações de multimessageiros, como ondas gravitacionais, neutrinos e raios cósmicos.

RBA: Você prefere trabalhar sozinha ou em grupo ?

Ambas as coisas. A orientação de alunos é uma forma de trabalho em grupo, às vezes é mais difícil e demorada que o trabalho individual, mas constituiu a maior parte do trabalho dos últimos anos. Durante a pandemia, realizei vários trabalhos com colaboradores não alunos, o que também me foi prazeroso.

RBA: Como você vê a astronomia brasileira hoje em dia e o que considera fundamental mudar para ter uma comunidade mais competitiva ?

Vejo a astronomia brasileira, e também a mundial, preocupada com o número de papers e com o número de citações e não tanto com o conteúdo desses artigos. Me preocupa também que as agências financiadoras estão privilegiando grandes projetos, especialmente internacionais, o que impede o desenvolvimento de pequenos projetos por nossos jovens pesquisadores.

RBA: O Brasil vem tentando se associar ao ESO (European Southern Observatory). Qual

sua opinião sobre isso ? Que impacto você acha que esta associação teria para a astronomia brasileira ?

A associação ao ESO já teve influência no desenvolvimento da astronomia brasileira durante os anos em que seus telescópios estiveram abertos para a comunidade brasileira. Eu tive vários projetos aprovados no ALMA, que agora precisam ser submetidos com pesquisadores principais estrangeiros. Portanto, apoio a entrada do Brasil no ESO, que entendo já foi aprovada mas nunca implementada. Também acho que deveria existir alguma Comissão Avaliadora dos projetos que são submetidos e aprovados nas distintas Agências Financiadoras para compra e construção de novos equipamentos, formada por membros da comunidade astronômica, que deveriam acompanhar e avaliar seu desenvolvimento, para evitar o desperdício de dinheiro público em muitos projetos que nunca foram completados.



Acima: em 2008, com colegas do IAG/USP, durante a Reunião Anual da SAB.

RBA: Como vê os movimentos atuais e as mudanças na comunidade astronômica com respeito à importância da diversidade de gênero, etnia, etc?

O movimento é fundamental, mas não sei se tem o efeito desejado. Para ser efetivo, deveria se mudar a cabeça das pessoas, o que vai demorar pelo menos uma geração.

Esse movimento não é novo. Durante uma das primeiras Reuniões Regionais da IAU, criamos o ALMA, *Asociación Latinoamericana de Mujeres Astrônomas*, que teve um papel importante por suas conversas com jovens astrônomas, que sofrem uma pressão da família e da sociedade sobre a compatibilidade da carreira profissional e sua função de mães.

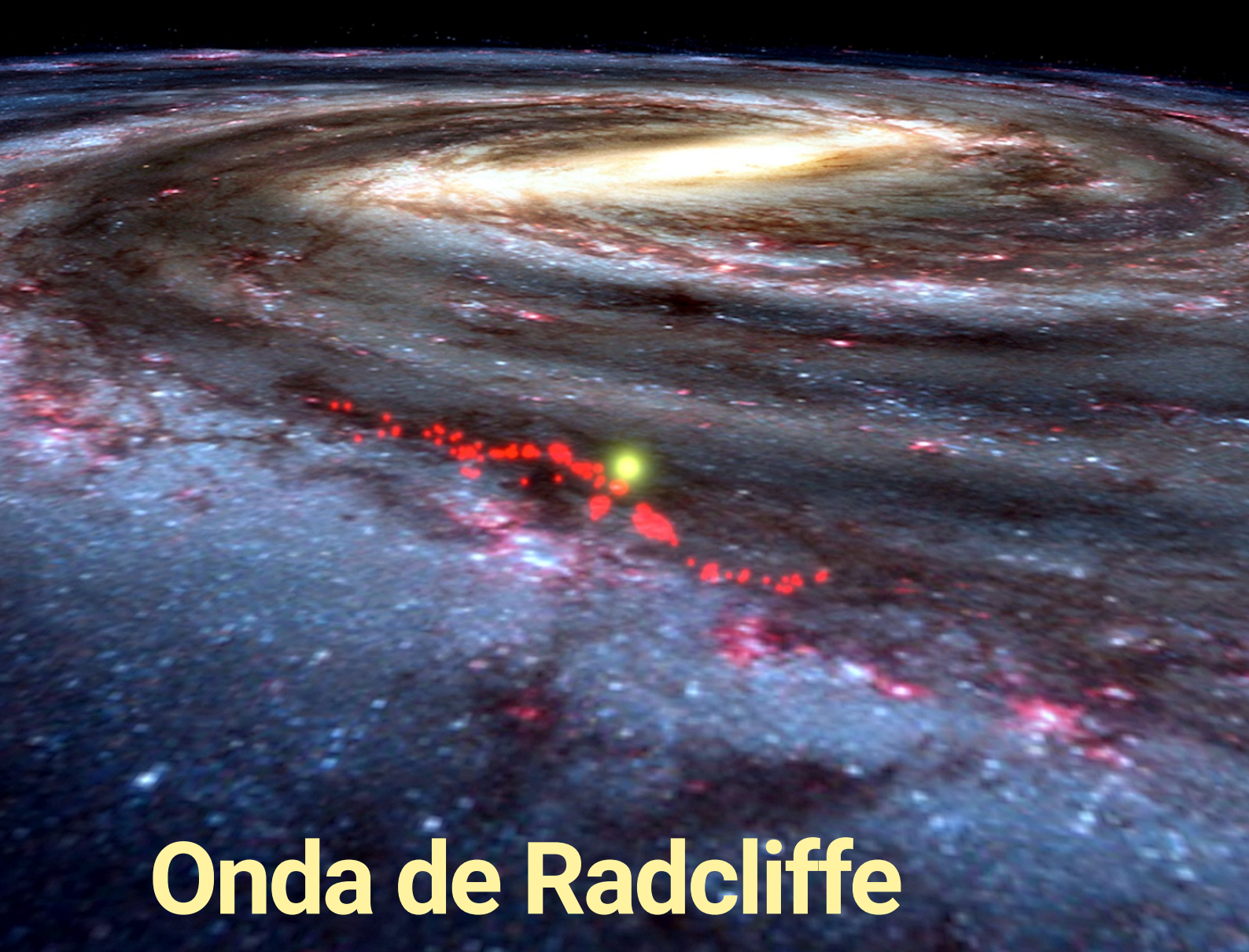
RBA: Em sua opinião, qual foi a maior descoberta astronômica da última década?

As ondas gravitacionais.

RBA: O que continua mantendo sua paixão pela astronomia ?

Prazer no trabalho que faço.

Zulema Abraham for entrevistada por Helio J. Rocha-Pinto em maio de 2022.

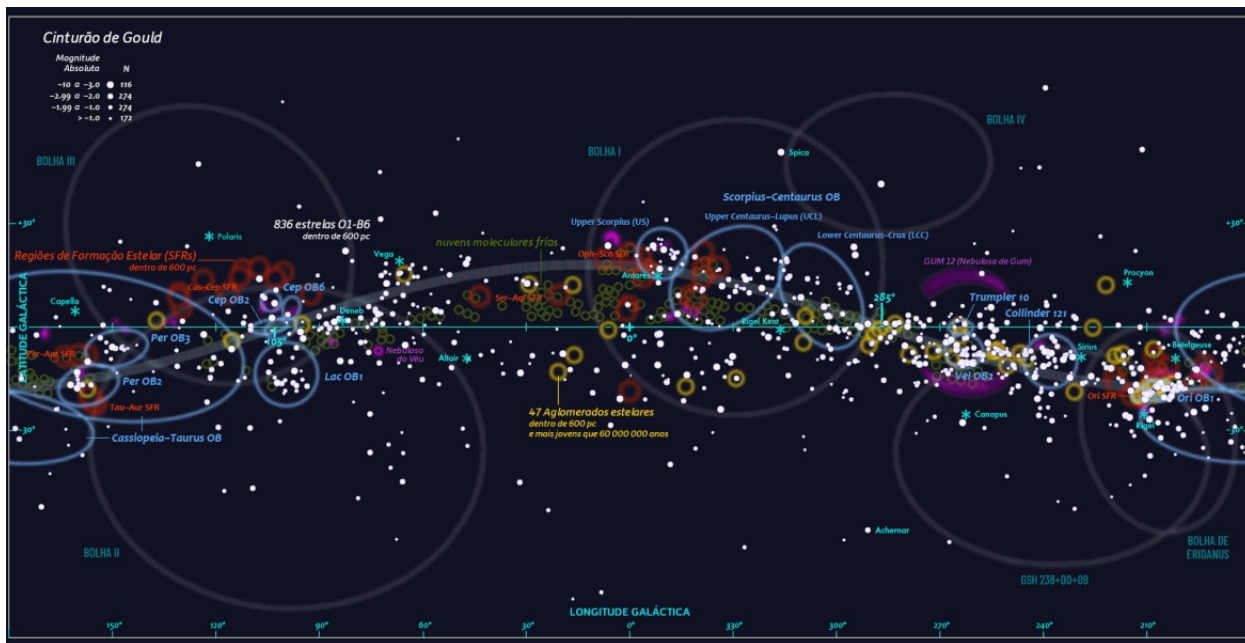


Onda de Radcliffe

A surpreendente descoberta de uma gigantesca onda de berçários estelares tão próxima do Sol – e que tinha passado despercebida até agora – está transformando nossa visão sobre a estrutura local da Via Láctea.

Em 1847, John Herschel observou que as estrelas mais brilhantes no céu se distribuem ao longo de uma faixa de forma não simétrica em relação ao plano da Via Láctea. Alguns anos mais tarde, o astrônomo Benjamin Gould investigou essa estrutura em mais detalhe e constatou que essas estrelas formam um anel parcial que ficou posteriormente conhecido como *Cinturão de Gould* em

sua homenagem. O Cinturão de Gould parece circundar o Sol que está localizado a uma distância de 340 anos-luz do centro do anel (1 ano-luz é a distância percorrida pela luz no vácuo no intervalo de tempo de um ano e equivale a 9.46 trilhões de quilômetros). O tamanho do Cinturão de Gould pode ser quantificado pela dimensão dos semieixos do anel que têm cerca de 1220 anos-luz e 760 anos-luz. Um fato curioso é que o



Acima

Representação do Cinturão de Gould no céu. Os pontos brancos marcam a posição das estrelas (em coordenadas galácticas) que definem o Cinturão de Gould. O tamanho dos pontos varia de acordo com a magnitude das estrelas, isto é, as estrelas mais brilhantes são representadas por símbolos maiores (Crédito: Bruce McEvoy).

Página Anterior

Ilustração da Onda de Radcliffe sobreposta à uma imagem da Via Láctea. O símbolo amarelo simboliza a posição do Sol (Crédito: Alyssa Goodman/Harvard University).

Cinturão de Gould está inclinado em cerca de 20° com relação ao plano galáctico conforme observado inicialmente por Herschel e Gould. Estudos posteriores mostraram que as estrelas que formam o anel se movem de forma coerente e esses movimentos sugerem que o Cinturão de Gould está em expansão.

As estrelas se formam a partir de densas nuvens de gás composto principalmente por hidrogênio na forma molecular. Essas nuvens de gás cujas condições físicas permitem a formação de moléculas são chamadas de nuvens moleculares. Na segunda metade do século XX, astrônomos mapearam as nuvens moleculares na Via Láctea e mostraram que o Cinturão de Gould é formado por grandes complexos de tais nuvens. Isso levou ao reconhecimento imediato do Cinturão de Gould como

um importante sítio de formação estelar. No entanto, as estrelas brilhantes observadas por Herschel e Gould são uma fração pequena da matéria que compõe essa estrutura. Hoje sabemos que o Cinturão de Gould é formado por milhares de estrelas jovens, nuvens moleculares e poeira interestelar. O Cinturão de Gould abrange algumas das regiões de formação estelar mais estudadas na astronomia como é o caso das regiões de Taurus, Orion e Ophiuchus. Essas regiões são berçários estelares que abrigam estrelas nos estágios iniciais da formação estelar com apenas alguns milhões de anos.

Embora a descoberta do Cinturão de Gould tenha impulsionado diversos estudos sobre a formação de estrelas, sua origem têm intrigado a comunidade astronômica por mais de um século.



Uma das primeiras ideias sobre a formação do Cinturão de Gould sugere que ele teria se formado a partir da explosão de uma supernova próxima ao centro do anel. Esse evento teria causado a propagação de uma onda de choque que, ao atingir as nuvens de gás do meio interestelar, desencadeou o processo de formação estelar na região. Assim, para que essa teoria explique a formação do Cinturão de Gould, os grupos de estrelas mais velhos (ou seja, aqueles que se formaram primeiro) deveriam estar na periferia do anel e os mais jovens na parte interna do cinturão. No entanto,

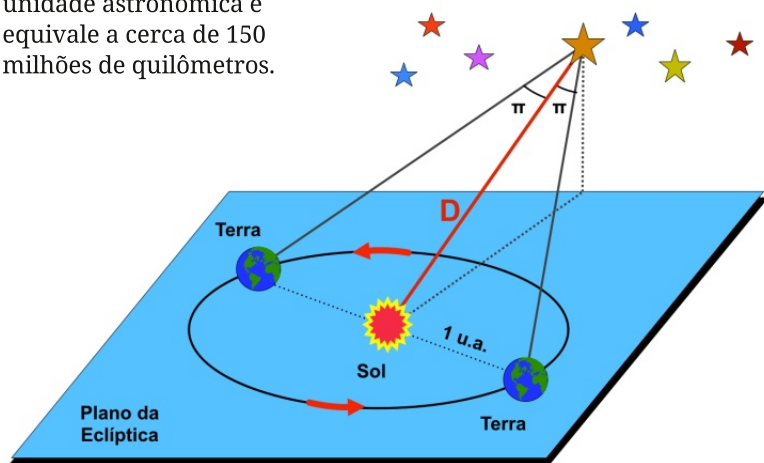
esse gradiente de idades não é observado de tal modo que o modelo de explosão de supernova não consegue explicar a configuração atual do Cinturão. Um cenário alternativo sugere que o Cinturão de Gould se formou através do impacto de uma grande nuvem de gás em alta velocidade com o disco da Via Láctea. A onda de choque provocada pela colisão teria desencadeado o processo de formação estelar ao longo de um anel gigante de gás em expansão formando os grupos de estrelas na posição e sequência de idades tal como se observa atualmente. Essa teoria ga-

Acima

O complexo de formação estelar de Taurus é uma das regiões do Cinturão de Gould que foi posteriormente associada à Onda de Radcliffe. A imagem ilustra as nuvens moleculares que constituem esse berçário estelar. As estrelas nesta região são jovens (com idade estimada de alguns milhões de anos) e ainda estão embebidas nas nuvens moleculares progenitoras (Crédito: Lloyd L. Smith, Deep Sky West).

Abaixo

O esquema ilustra a Terra em duas posições diferentes na sua órbita anual ao redor do Sol. De cada posição, o observador (na Terra) vê a estrela em posições diferentes no céu com relação às estrelas de fundo. A distância D da estrela pode ser calculada conhecendo-se o ângulo de paralaxe π . A distância da Terra ao Sol define uma unidade astronômica e equivale a cerca de 150 milhões de quilômetros.



nhou força com a descoberta de estruturas semelhantes em outras galáxias indicando que tais eventos não são raros.

Antes mesmo que a origem do Cinturão de Gould fosse revelada sua existência começou a ser questionada na comunidade astronômica. Em 2015 astrônomos construíram um mapa em 3D da densidade espacial de algumas (poucas) estrelas brilhantes na nossa vizinhança galáctica e não encontram evidência alguma da existência de uma estrutura na forma de anel ao redor do Sol. Seria o Cinturão de Gould um simples efeito de projeção no céu?

A missão Gaia e o mapeamento da Via Láctea

Há muito tempo astrônomos vêm tentando descobrir se as estrelas e nuvens moleculares do Cinturão de Gould formam de fato um anel em 3D. A solução para esse problema passa necessariamente pelo conhecimento da

distância das estrelas. A distância é um parâmetro fundamental na astronomia, pois permite a conversão de grandezas aparentes em valores absolutos, e além disso permite visualizar a distribuição espacial dos objetos e estruturas que compõem a Via Láctea. No entanto, em geral a distância das estrelas não é conhecida. Quando olhamos para o céu perdemos a noção de profundidade de tal modo que as estrelas projetadas na esfera celeste parecem estar todas à mesma distância. Na verdade, o que observamos quando olhamos para o céu não é a distância do astro, mas apenas a direção em que ele se encontra.

Quando medimos a posição de uma estrela ao longo do ano notamos que ela realiza um pequeno movimento de vaivém no céu com relação às estrelas (fixas) de fundo que estão mais distantes. A diferença de ângulo sob a qual a estrela é observada a partir de duas posições diferentes da Terra em sua órbita ao redor do Sol recebe o nome de *paralaxe*. A medida do ângulo de paralaxe nos permite obter a distância da estrela por simples triangulação visto que a distância da Terra ao Sol é conhecida. Assim, a maneira mais direta de se obter a distância de uma estrela em astronomia é pela medida da paralaxe.

O satélite Hipparcos da Agência Espacial Europeia (ESA), que operou até 1993, forneceu a paralaxe para cerca de 120 mil estrelas.

Infelizmente os limites de detecção do próprio satélite Hipparcos só permitiram que as estrelas mais brilhantes e próximas fossem observadas. Isso significa que mesmo com os dados do satélite Hipparcos em mãos os astrônomos só conheciam a distância de uma fração pequena das estrelas no Cinturão de Gould impossibilitando qualquer confirmação (ou refutação) definitiva da existência de um anel de estrelas ao redor do Sol.

A missão espacial Gaia lançada pela ESA em 2013 está observando repetidamente cerca de 2 bilhões de estrelas e revolucionando o nosso entendimento sobre o Universo. O satélite Gaia já mediu a paralaxe de centenas de milhões de estrelas com uma precisão astrométrica da ordem de 20 μ s (lê-se 20 microssegundos de arco) que é pelo menos 100 vezes superior ao desempenho do satélite Hipparcos. O que significa esse número? Em termos práticos, a precisão alcançada pelo satélite Gaia é equivalente a medir a espessura de um fio de cabelo a mais de 2000 km de distância! Além disso, o satélite está medindo também a movimentação das estrelas no céu. Assim, a imensa quantidade de dados aliada à altíssima precisão fornecida pelo satélite Gaia nos permitem, pela primeira vez na história da humanidade, construir um mapa preciso em 3D da posição e movimento das estrelas na Via Láctea.

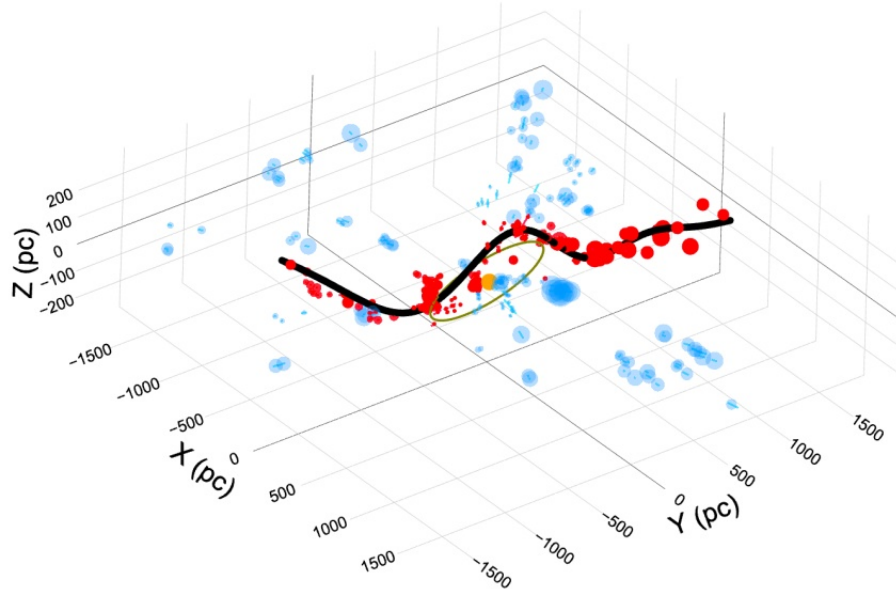
Não é um anel, mas uma onda!

Em 2020 uma equipe liderada por João Alves usou os dados da missão espacial Gaia em combinação com uma abordagem inovadora de mapeamento em 3D da distribuição de matéria interestelar e revelou um padrão inesperado na nossa vizinhança galáctica. Ao invés de observar um anel composto por estrelas, gás e poeira ao redor do Sol conforme esperado pelo modelo vigente do Cinturão de Gould, os astrônomos descobriram uma estrutura gigantesca de gás distribuído ao longo de um filamento massivo e ondulado semelhante a uma onda. Essa estrutura ficou conhecida como Onda de Radcliffe em homenagem ao Instituto Radcliffe para Estudos Avançados na Universidade de Harvard, onde foi desenvolvida a pesquisa.

A dimensão e proximidade da Onda de Radcliffe surpreenderam os próprios pesquisadores que não esperavam encontrá-la. A Onda de Radcliffe é a maior estrutura de gás coerente descoberta na Via Láctea, tendo cerca de 9000 anos-luz de comprimento, 400 anos-luz de largura e amplitude de 500 anos-luz. Estima-se que sua massa total seja aproximadamente 3 milhões de vezes a massa do Sol. O ponto mais próximo da onda está a uma distância de apenas 500 anos-luz do Sol e, mesmo assim, ela passou despercebida por nós até o momento, pois não po-

Ao lado

Distribuição espacial das nuvens moleculares na vizinhança solar. Os símbolos em vermelho são os complexos de nuvens moleculares que definem a Onda de Radcliffe (linha preta). Os pontos em azul indicam os outros complexos de nuvens moleculares da Via Láctea. O símbolo em laranja no centro da figura marca a posição do Sol e o anel verde representa a visão clássica do modelo de Cinturão de Gould (Crédito: Phillip Galli).



dia ser visualizada em 2D. O conhecimento da distância das estrelas (obtido a partir dos dados da missão Gaia) foi fundamental para a construção de um mapa em 3D que conduziu à essa descoberta inesperada. A Onda de Radcliffe representa cerca de 40% do comprimento do Braço Local da Via Láctea e inclui quatro dos cinco grandes complexos de formação estelar anteriormente associados ao Cinturão de Gould: Taurus, Orion, Cepheus e Perseus. Outras regiões de formação estelar mais distantes que também compõem a Onda de Radcliffe são Canis Major, Cygnus X e a Nebulosa da America do Norte. O Braço Local da Galáxia é mais disperso e inclui ainda outros complexos de nuvens moleculares que não pertencem à onda.

A origem da Onda de Radcliffe é uma questão em aberto, pois a onda parece ser muito grande pa-

ra ter se formado pela influência (*feedback*) de uma geração anterior de estrelas massivas. Um cenário mais provável é que essa estrutura tenha se formado como resultado de um processo em grande escala na Via Láctea, por exemplo, a passagem de uma onda de choque no braço espiral ou a colisão com uma galáxia menor. Uma outra alternativa para explicar a formação dessa estrutura em forma de onda é o fenômeno de instabilidade de Kelvin-Helmholtz que ocorre quando duas camadas de fluido deslizam uma sobre a outra com velocidades diferentes. Essa configuração é instável de modo que toda perturbação introduzida na superfície de contato entre os dois fluidos tem sua amplitude aumentada com o decorrer do tempo. As instabilidades de Kelvin-Helmholtz atuam na formação de nuvens na atmosfera terrestre com forma semelhante

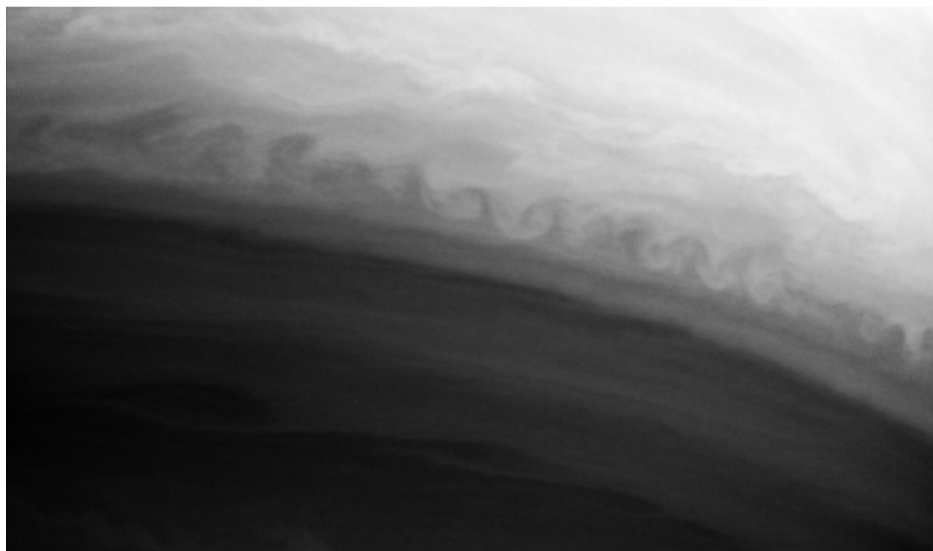
a uma onda e já foram observadas também nas atmosferas de Júpiter e Saturno.

A descoberta de uma estrutura em forma de onda agrupando grande parte dos berçários estelares da vizinhança solar sugere que essas regiões, que até o momento foram tratadas de forma isolada, podem estar interligadas em uma escala galáctica. O novo panorama da estrutura local da Via Láctea levanta questões importantes sobre como as estrelas se formam e se movem na nossa galáxia:

- Qual é o padrão de movimento (ondulação) da Onda de Radcliffe?
- Como ocorre o processo de propagação da formação estelar ao longo dessa estrutura?
- Qual é a história de formação da Onda de Radcliffe?
- Existem outras estruturas semelhantes (isto é, em forma de onda) na Via Láctea ou em galáxias vizinhas?

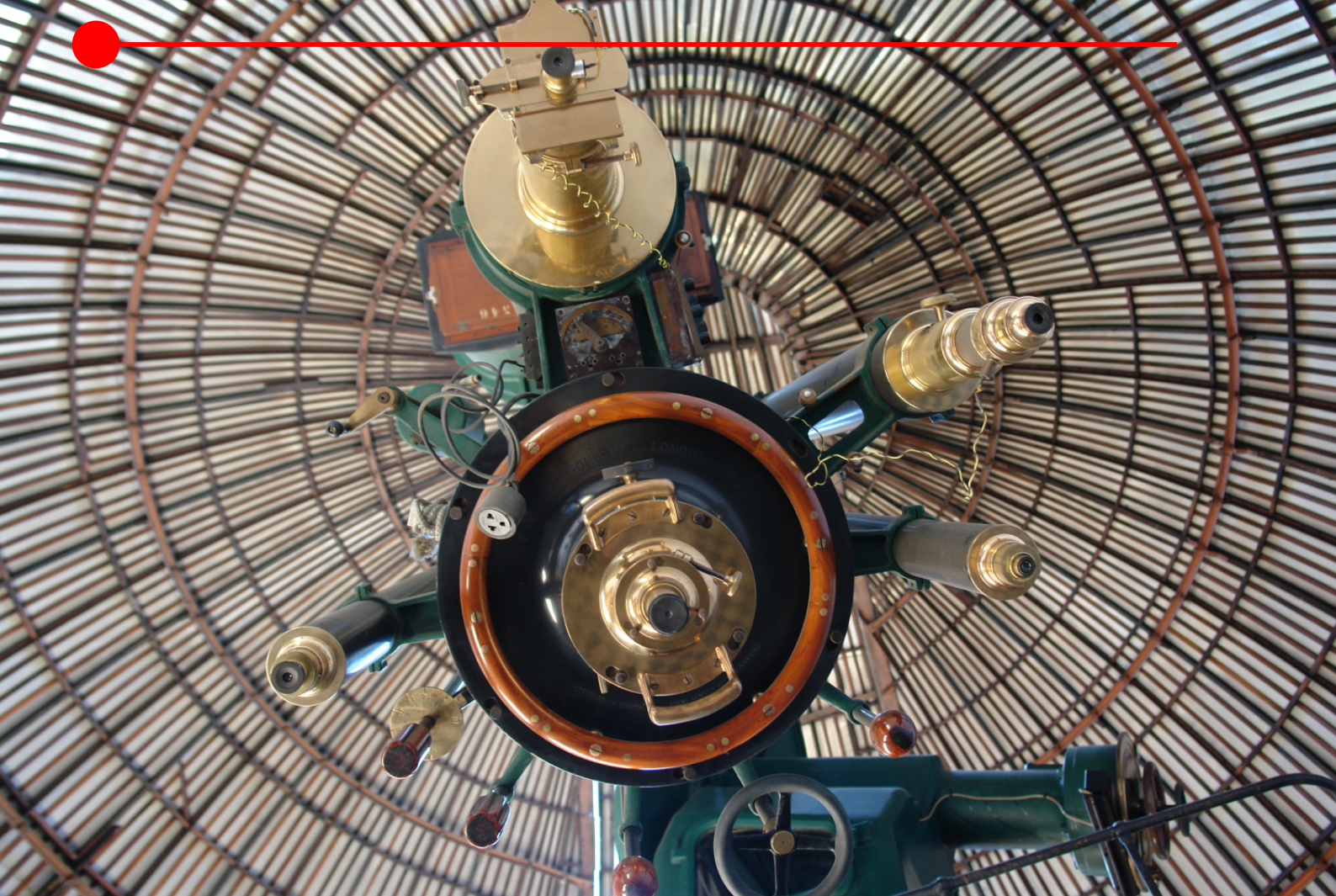
Essas são algumas questões que os astrônomos buscarão responder nos próximos anos •

Phillip Galli
Universidade Cidade de São Paulo
phillip.ab.galli@gmail.com



Acima

Formação de nuvens na forma de onda resultante do fenômeno de instabilidade de Kelvin-Helmholtz: (imagem superior) na atmosfera da Terra, e (imagem inferior) na atmosfera de Saturno (Crédito: GRAHAMUK/WikiMedia Commons, JPL/NASA).



A luneta equatorial do Observatório Nacional

O maior telescópio refrator do Brasil completa 100 anos e segue em operação a serviço da Ciência.

Dia 16 de fevereiro de 1922, após uma longa espera de mais dez anos desde a sua encomenda, a montagem da Grande Luneta Equatorial Cooke foi finalmente concluída no câmpus do Observatório Nacional em São Cristóvão, Rio de Janeiro. Os motivos para a longa espera vão desde o início da Primeira Guerra Mundial até a transferência do Obser-

vatório Nacional do câmpus original, no Morro do Castelo, para o Morro de São Januário, onde se encontra até hoje.

A Grande Luneta Equatorial ou Luneta 46, como é carinhosamente conhecida, foi encomendada pelo Dr. Henrique Morize, então diretor do Observatório Nacional, à empresa Cooke & Sons Ltd., da Inglaterra, em 1911. O pavilhão que abriga a Luneta e a cúpula,



Na página anterior
Visão geral da Luneta principal e lunetas acessórias, além dos controles do instrumento.

Ao lado
Placa identificadora da Luneta 46, mostrando suas principais características

com diâmetro de 10 metros, foi finalizado em 1920, mas ainda aguardou por quase dois anos até que a luneta fosse finalmente instalada no seu pilar. Os instrumentos acessórios só chegaram ao Rio de Janeiro depois que o processo de montagem e os primeiros testes estavam concluídos, os quais contaram com a participação dos pesquisadores do Observatório Nacional Lélío Gama e Domingos da Costa.

A Luneta 46 tem uma lente objetiva de 45,8 centímetros de diâmetro e um conjunto de lentes oculares usadas no seu foco principal. Usando a objetiva de 20 milímetros, a luneta permite um aumento de 325 vezes. Dentre os instrumentos que lhe podem ser acoplados, destacam-se o espectrógrafo e as duas câmaras astrofotográficas de 25 centímetros de di-

âmetro e 1,7 metros de distância focal, usadas para registrar em placas de vidro as imagens dos objetos observados. As observações de estrelas duplas visuais eram realizadas através de um micrômetro de posição e de um interferômetro. Além da luneta principal, o equipamento também dispõe de uma luneta buscadora com uma objetiva de 10 centímetros de diâmetro, e mais duas pequenas lunetas para a leitura das coordenadas celestes.

Ciência com a Luneta 46

Os instrumentos que acompanhavam a Luneta visavam desenvolver pesquisas nas áreas de Astronomia Fundamental e Astrometria. Os projetos científicos eram conduzidos pela Divisão de Serviços Equatoriais e a primeira fase de operações científicas foi



Acima
Vista lateral do pavilhão da Luneta 46 no câmpus do Observatório Nacional.

dedicada à observação de estrelas duplas por Domingos da Costa em uma Campanha internacional, entre 1924 e 1934, em colaboração com o Observatório de Johannesburgo, na África do Sul. Estrelas variáveis, ocultações estelares e cometas também eram observados com as técnicas de fotografia e espectroscopia.



Acima
Espectrógrafo e conjunto de oculares da Luneta 46.



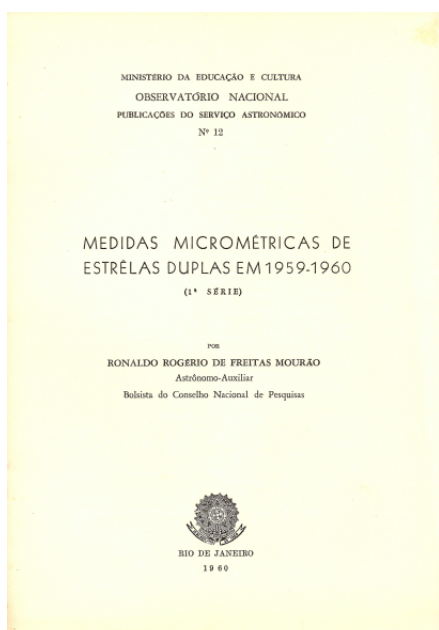
Os principais resultados científicos publicados pela Divisão de Serviços Equatoriais naquela época eram as planilhas com medidas astrométricas de estrelas duplas. Tais medidas eram realiza-

das nas imagens registradas nas placas de vidro cobertas com emulsão fotossensível que eram inseridas na câmera astrofotográfica. O chassi da câmera era aberto por um determinado tempo de exposição, dependendo da magnitude do objeto a ser observado. As anotações das observações astronômicas incluíam informações relevantes tais como a identificação e as coordenadas do objeto observado, a data da observação, o tempo de exposição e o tipo de emulsão usado na placa. As placas eram, então, reveladas através de um processo similar ao da revelação de filmes fotográficos. Finalmente, as medidas astrométricas eram realizadas usando o micrômetro de posição.

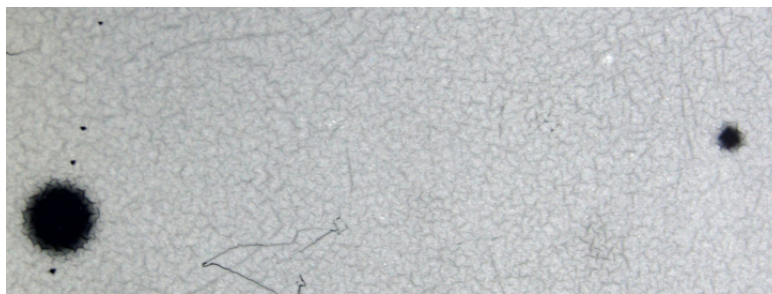
As atividades da Divisão de Serviços Equatoriais disputavam a atenção e recursos humanos dedicados à publicação do anuário astronômico, um serviço prestado pelo Observatório Nacional com informações fundamentais para a engenharia e a navegação, além de atender ao público em geral. O anuário astronômico é publicado regularmente desde 1885 e conta com a importante contribuição da primeira mulher da Astronomia e Serviço da Hora no Observatório Nacional, Yeda Veiga Ferraz Pereira, responsável pela observação de passagens meridianas de estrelas para a determinação da hora entre 1944 e 1962.

Os problemas internos de gestão entre 1930 e 1951 foram agrava-

dos com o advento da Segunda Guerra Mundial e afetaram profundamente o desenvolvimento das atividades da Divisão de Serviços Equatoriais. Além disso, a crescente poluição luminosa da cidade do Rio de Janeiro, em franco desenvolvimento à época, também contribuiu para ofuscar as observações com a Luneta 46.



Apenas em 1958, após uma revisão geral da Luneta e dos seus instrumentos, as observações sistemáticas de estrelas duplas visuais foram retomadas pelo astrônomo Ronaldo Rogério de Freitas Mourão. Observações de planetas, eclipses e cometas também foram registradas nesse período. Com o crescimento da cidade do Rio de Janeiro no entorno do Morro de São Januário, a poluição luminosa e do ar comprometeram significativamente as observações científicas com a Luneta 46 até que



OBSERVATÓRIO NACIONAL

N.º 9 Data: 1971/JAN/26

Assunto Conjunção Júpiter - Marte

AR _____ D _____

Hora 7^h 10^m T.U. Qualidade de imagem _____

Instrumento Equatorial 46 cm.

Emulsão Kodak Spectroscópica 11-G

Tempo de exposição 3s. (seguidos) (aprox.) Diafragma 17.6

Filtro _____ Ampliação _____

Revelador _____ Tempo _____ Temperatura _____

Observador Pellegrini - Marcondes

Notas _____

as últimas observações sistemáticas foram realizadas em 1972. Existem, no entanto, registros de observações de fenômenos mútuos entre satélites de Júpiter realizadas em 1991 por Jair Barroso e Otávio Chaves.

A inauguração do Observatório Astronômico Brasileiro, em 1981, atualmente Observatório do Pico dos Dias (OPD), operado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), no sul de Minas Gerais, encerrou definitivamente qualquer possibilidade de atividades científicas com a Luneta 46.

Recuperação da Luneta em 2019

Ainda que as observações com a

Acima
Registro da observação da conjunção entre Júpiter e Marte em Janeiro de 1971.

Coluna esquerda
Capa da publicação de medidas micrométricas de estrelas duplas, de 1960.

Próxima página

A Luneta 46 no interior da sua cúpula.

Contracapa

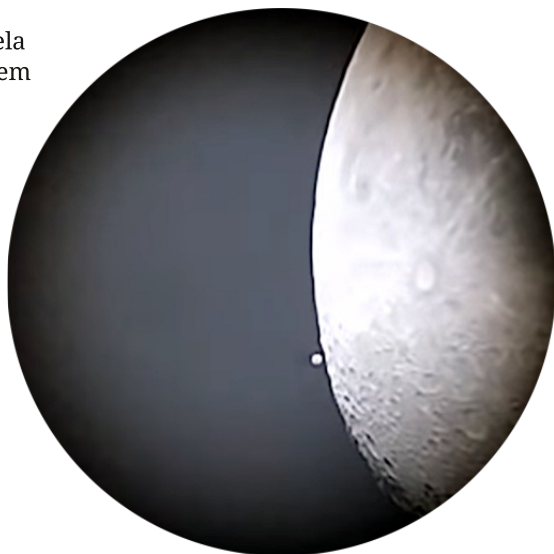
Escorpião avança em direção à lua eclipsada. Colagem sobre foto de Sofia Fonseca, obtida em 15 de maio de 2022 em Pindamonhagaba (Crédito: Sofia Fonseca).

Ao lado

Ocultação de Marte (pequeno corpo à esquerda) pela Lua (direita) registrada pela ocular da Luneta 46, em setembro de 2020.

Luneta 46 estivessem suspensas, o seu pavilhão era regularmente usado para receber visitantes durante eventos de divulgação científica no câmpus do Observatório Nacional. A constante demanda dos visitantes para observar com a luneta tornou evidente a necessidade de recuperá-la e utilizá-la novamente para observações visuais. Em 2019, a Luneta 46 passou por um minucioso trabalho de recuperação e manutenção realizado pela equipe técnica do OPD/LNA, composta por Saulo Gargaglioni, Adriano Messala Coimbra, Carlos Roberto Silva, Cledson Pereira dos Santos e Jhontan Ponciano Trinca. Dentre os procedimentos realizados, destacaram-se a limpeza e a correção do motor de acompanhamento, limpeza dos trilhos e roldanas, que movimentam a cúpula, além da limpeza do sistema óptico.

A luneta voltou a ser utilizada para observação em julho de 2019,



por ocasião de um evento comemorativo aos 50 anos da chegada do ser humano à Lua. Os visitantes do câmpus tiveram a oportunidade de observar Júpiter através da luneta, e todos ficaram fascinados com a imponência deste equipamento centenário. Eventos mensais abertos ao público foram realizados a partir de então, combinando a observação de objetos celestes de interesse utilizando a Luneta 46 e outros telescópios auxiliares mais modernos com palestras e conversas com pesquisadores e estudantes da pós-graduação em Astronomia do Observatório Nacional.

As atividades presenciais de divulgação científica do Observatório Nacional foram suspensas a partir de março de 2020, devido à pandemia de Covid-19. Mais do que nunca, as atividades de divulgação, fundamentais para ressaltar a importância da pesquisa científica na nossa vida, tiveram que ser reinventadas. Assim nasceu o projeto *O céu em sua casa: observação remota*, que conta com a parceria de astrônomos amadores e profissionais de várias localidades brasileiras para acompanhar observações astronômicas em tempo real ao vivo, com transmissão pelo canal do Observatório Nacional no YouTube. A observação da ocultação de Marte pela Lua, em setembro de 2020, contou com a participação especial da Luneta 46, que possibilitou o registro do desaparecimento e re-

aparecimento de Marte.

Após cem anos de sua instalação no Campus do Observatório Nacional, a Luneta 46, depois de importantes contribuições para a pesquisa científica nas áreas de astrometria e astronomia fundamental, continua contribuindo para o progresso da ciência ao despertar admiração e respeito em todos os visitantes que têm a oportunidade de entrar no seu pavilhão, ouvir a trapeira se abrindo e observar objetos celestes através de suas oculares centenárias •

Josina Nascimento & Simone Daflon
Observatório Nacional
josina@on.br
daflon@on.br

Agradecimentos: Kátia Teixeira, Lorena Amaro, Rodrigo Cassaro e Vanessa Araújo, da Divisão de Comunicação e Popularização da Ciência (DICOP/ON).

Créditos das imagens: acervo ON e Ricardo Ogando



Para saber mais

Livros digitais disponíveis no site do Observatório Nacional

- A grande Luneta Equatorial – 90 anos
<https://www.gov.br/observatorio/pt-br/assuntos/biblioteca/imagem/livreto90anos46.pdf>
- Observatório Nacional – 185 anos de história
http://servicos.on.br/livro_web/185/ON_185.html
- História do Observatório Nacional – A persistente construção de uma identidade científica, Antônio Augusto Passos Videira
https://servicos.on.br/livro_web/historia/historia.html#p=1



S.A.B.