

Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 5 | Número 20
Ano 2023



LSST

O poderoso telescópio
que produzirá um
filme do Cosmos

Eclipses ♦ O Laboratório Institucional de e-Astronomia
Quilonovas e ondas gravitacionais ♦ 100 anos de planetários



Editorial

A Astronomia do começo do século XXI foi profundamente marcada pelos grandes levantamentos, ou surveys, como mais comumente são denominados entre os pesquisadores. O mais famoso deles é o Sloan Digital Sky Survey, ou SDSS, que perscrutou mais da metade do céu em cinco comprimentos de onda na região do visível e infravermelho próximo, medindo a luz asteroides, estrelas e galáxias com uma qualidade até então inigualável. Mais recentemente são os dados astrométricos e fotométricos do satélite Gaia que estão promovendo novas descobertas, especialmente na compreensão da estrutura e evolução da Via Láctea. Todavia, nenhum deles se equiparará ao Legacy Survey of Space and Time (LSST), que será levado a cabo pelo Rubin Observatory, especialmente construído para esse levantamento, que promete gerar quinze terabytes de dados a cada noite. Teremos uma quantidade gigantesca de dados com os quais poderemos encontrar coisas que ainda nem imaginamos que existam. Trazemos um artigo e uma entrevista que trata da participação do Brasil no LSST.

A profusão de dados de origens diversas, envolvendo fotometria, espectroscopia, neutrinos e, mais recentemente, ondas gravitacionais suscitou a criação de uma nova área de pesquisa na Astronomia, que envolve a combinação desses diversos mensageiros, isto é, partículas emitidas pelos astros que carregam informação sobre eles. Isso é tratado logo nas primeiras páginas deste número.

Finalmente, dois outros artigos dedicam-se a temas mais voltados para a divulgação da astronomia entre a sociedade geral: os eclipses como fenômeno que une tantos observadores; e o centenário dos planetários, espaços de reflexão e aprendizagem científica para todas as idades.

Este é o último número da revista em 2023. Desejamos que o próximo ano seja proveitoso para a ciência brasileira!

Helio J. Rocha-Pinto

Editor da Revista Brasileira de Astronomia

Esquerda

Região do Centro Galáctico conhecida como Sagittarius C, imageada pela NIRCAM do telescópio espacial James Webb (Crédito: ESA, CSA, STScI, Samuel Crowe/UVA).

Capa

Observatório Rubin em outubro de 2023 (Crédito: Rubin Observatory/ NSF/AURA/A. Pizarro D.).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela

Sociedade Astronômica Brasileira

ISSN 2764-9423

Conselho Editorial Alan Alves Brito,

Reinaldo Ramos de Carvalho, Lucimara

Martins, Ramachrisna Teixeira,

Thiago Signorini Gonçalves

Editor Helio J. Rocha-Pinto

Equipe de colaboradores Hélio Dotto

Perottoni, 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

Marina Trevisan

Secretário

Matthieu Castro

Tesoureira

Paula Coelho

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira

Rua do Matão, 1226

05508-090 São Paulo – SP

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

4 Astronomia Multimensageira

Thallis Pessi escreve sobre quilonovas e o surgimento de uma nova área de pesquisa na Astronomia.

11 O Brasil no LSST

O LSST promete revolucionar nosso conhecimento sobre o Universo. Rogério Rosenfeld e Thaísa Storchi-Bergmann contam como o Brasil poderá participar desse empreendimento científico.

20 Entrevista: Luiz Nicolaci

Luiz Nicolaci, fundador do Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia, fala sobre a missão do LIneA.

26 Eclipses

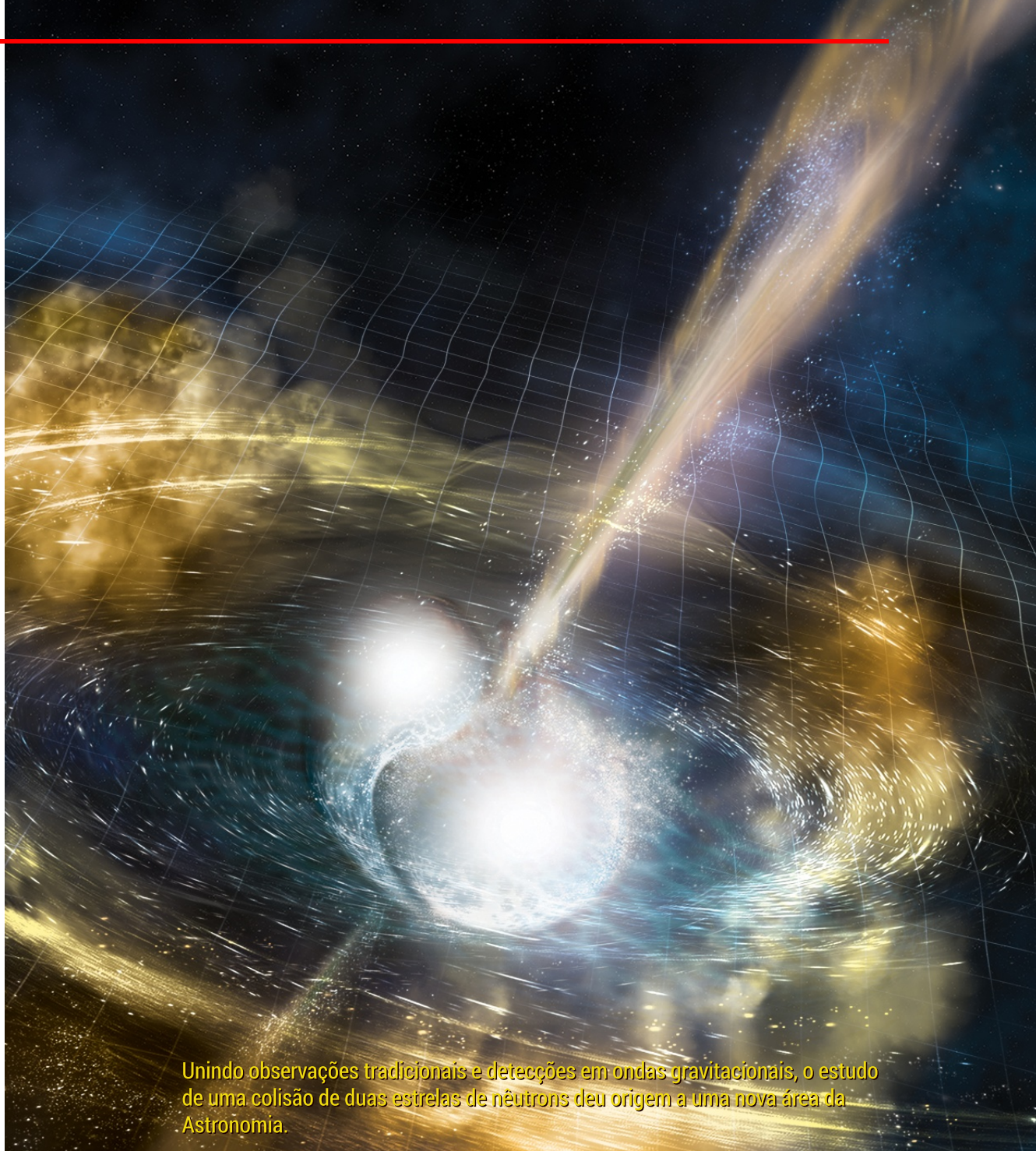
A história da humanidade está cheia de registros de eclipses e de seu impacto nas populações, como conta Micheli T. Moura.

34 Centenário dos Planetários

Mirian Castejon celebra os 100 anos dos planetários modernos com um interessante resumo sobre eles.

GW170817 e o início da

Astronomia Multimessenger



Unindo observações tradicionais e detecções em ondas gravitacionais, o estudo de uma colisão de duas estrelas de nêutrons deu origem a uma nova área da Astronomia.

No dia 17 de agosto de 2017, observatórios ao redor do mundo (e no espaço) apontaram para uma mesma direção e observaram, pela primeira vez de maneira inequívoca, o resultado do choque entre estrelas de nêutrons. O impressionante dessas observações é que elas não foram feitas

apenas por telescópios ópticos convencionais, mas por uma diversidade de instrumentos, de detectores em rádio até raios X e raios gama e, não menos importante, por sinais — ou mensageiros — distintos da luz: ondas gravitacionais. Essas observações uniram pela primeira vez na história da astronomia sinais em fó-

tons (de diversos comprimentos de onda) e vibrações no espaço-tempo, dando o pontapé inicial do que é conhecida como a astronomia multimensageira.

O que são ondas gravitacionais?

Em sua teoria da relatividade geral, Albert Einstein previu que objetos massivos acelerados emitiriam energia através de distorções no espaço-tempo, ou ondas gravitacionais. Apesar de a primeira detecção direta pelos observatórios LIGO (do inglês, *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*, ou observatório de interferometria laser de ondas gravitacionais) e Virgo ter sido feita apenas em 2015, seus efeitos indiretos já haviam sido observados na década de 70. Em 1974, os astrônomos Russell Hulse e Joseph Taylor mostraram que a órbita entre dois pulsares (estrelas de nêutrons que emitem pulsos detectados em frequência de rádio) em um sistema binário diminuía com o passar do tempo. A melhor explicação para o fenômeno era a perda de energia do sistema através da radiação gravitacional, como prevista por Einstein.

Ondas gravitacionais viajam na velocidade da luz e produzem distorções ao longo das dimensões do espaço e tempo. Para observar esses sinais, detectores como o LIGO e Virgo possuem lasers extremamente sensíveis e alinhados de maneira perpendicular, com

seus braços de aproximadamente 4 km dispostos em formato de L. Dessa maneira, no momento em que uma onda gravitacional passa pelo detector, é possível medir diferenças do comprimento dos feixes de laser em ambas as direções, com medidas na ordem de uma fração do tamanho de um próton.

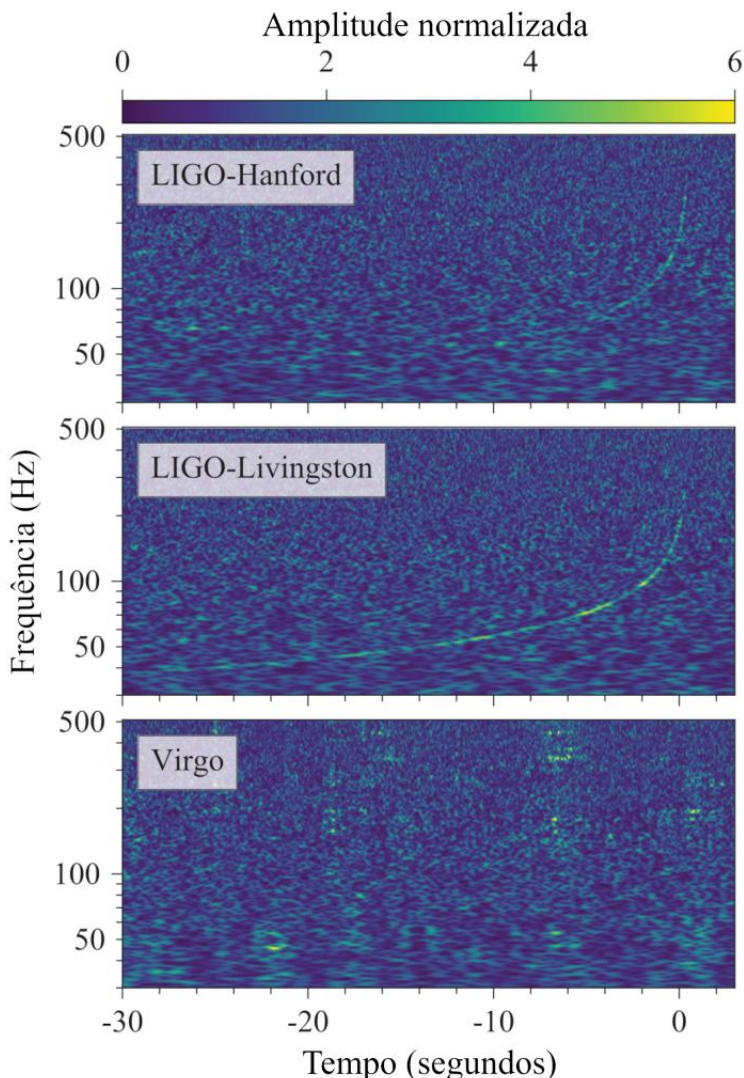


Para uma maior precisão de detecções de ondas gravitacionais, o observatório LIGO possui dois detectores, um no estado de Washington e outro em Louisiana, nos Estados Unidos, e conta com o auxílio do detector Virgo, localizado na Itália. Com três detectores atuando ao redor do mundo, é possível triangular e localizar com maior precisão a região do céu de onde se originou a onda gravitacional. Além disso, o arranjo gera uma segurança maior contra falsas detecções ou falhas.

No dia 14 de setembro de 2015, pela primeira vez os três detecto-

Na página anterior
Representação artística da colisão de duas estrelas de nêutrons (Crédito: NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet).

Acima
Braços do detector de ondas gravitacionais LIGO, em Livingston, no estado de Washington, EUA (Credito: Caltech/MIT/LIGO).



Acima
Evolução temporal da frequência do sinal de ondas gravitacionais relacionado ao evento GW170817 (Crédito: LIGO Scientific Collaboration e Virgo Collaboration).

res observaram diretamente um sinal em ondas gravitacionais originado pela colisão de dois buracos negros, nomeado GW150914 (alusão à abreviação do acrônimo em inglês *gravitational wave* e à data de sua descoberta). Essa foi também a primeira observação direta na história de uma colisão entre dois buracos negros, cada um com uma massa estimada em 30 vezes a massa do Sol, e a confirmação de que esses even-

tos podem acontecer em uma escala de tempo menor que a idade do Universo.

Quilonovas: colisões entre estrelas de nêutrons

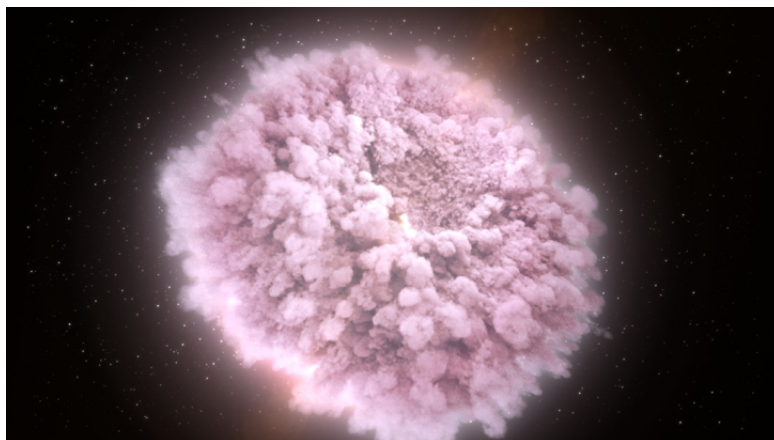
Estrelas de nêutrons são geradas após explosões de supernovas de colapso de núcleo: eventos explosivos causados pelo colapso gravitacional de uma estrela gigante, com cerca de 8 a 25 vezes a massa do Sol. Durante a morte desse tipo de estrela, a força gravitacional comprime o núcleo estelar para tamanhos extremamente pequenos, de cerca de 10 km de raio. A pressão imensa gera enorme densidade neste núcleo, fazendo com que seus elétrons e prótons se transformem em nêutrons em um estado comprimido. O núcleo da estrela se transforma, portanto, em uma estrela de nêutrons.

Devido à transferência de momento angular de uma estrela de várias vezes o tamanho do Sol para o seu núcleo, com raio de apenas alguns quilômetros, estrelas de nêutrons possuem rotações extremamente altas. A rápida rotação acaba induzindo um campo magnético intenso, o que gera em seus polos a produção de um feixe de partículas de grande velocidade. Esses feixes são responsáveis pelas emissões eletromagnéticas em rádio que detectamos na Terra, dando origem ao fenômeno dos pulsares.

Após a descoberta dos primeiros

pulsares (primeiramente observados por Jocelyn Bell, na década de 60) e de suas observações em sistemas binários (como nos estudos de Hulse e Taylor), previu-se que a colisão entre as estrelas de nêutrons nesses sistemas geraria uma grande quantidade dos elementos mais pesados da tabela periódica, como o ouro, urânio e plutônio. A formação desses elementos se daria através de um processo de absorção rápida de nêutrons por núcleos atômicos, também conhecido como processo r. Como os elementos sintetizados através desse processo são pesados, seus núcleos são suscetíveis ao decaimento radioativo em uma escala de tempo relativamente curta. O calor gerado pela desintegração desta grande quantidade de matéria daria, então, origem a uma emissão visível, que poderia ser observada por astrônomos — uma rápida explosão que foi nomeada quilonova.

Apesar do brilho de uma quilonova ser relativamente intenso, a rápida velocidade do decaimento radioativo dos elementos produzidos na explosão faz com que esse tipo de evento dure apenas alguns dias no céu. Além disso, a maior parte da energia é emitida na faixa mais vermelha do espectro ótico, com forte brilho no infravermelho. Estes fatores fazem com que seja extremamente difícil a detecção de quilonovas por telescópios convencionais. Entretanto, além da intensa emissão óp-



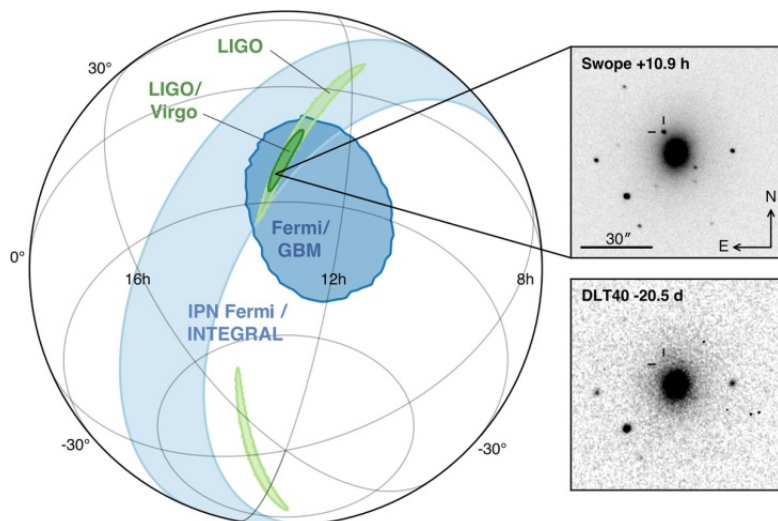
tica prevista em explosões de quilonova, também se previa que a colisão entre duas estrelas de nêutrons geraria ondas gravitacionais intensas, e que poderiam ser detectadas pelos observatórios LIGO e Virgo.

Astronomia multimessageira

No dia 17 de agosto de 2017, os detectores LIGO e Virgo observaram ondas gravitacionais com duração de algumas frações de segundo, consistentes com o esperado se produzidas pela colisão entre duas estrelas de nêutrons. A onda gravitacional, nomeada GW 170817, foi seguida quase simultaneamente por uma forte emissão em raios gama, observada pelos telescópios espaciais Fermi e Integral. Emissões rápidas em raios gama são geradas por fenômenos extremamente energéticos; por isso, previa-se que acompanhariam eventos de quilonovas. Esse era, portanto, o gatilho esperado por astrônomos ao redor do mundo para apontar seus telescópios em busca de uma colisão entre

Acima

Impressão artística da ejeção de matéria após a colisão entre duas estrelas de nêutrons. O decaimento radioativo do núcleo atômico dos elementos sintetizados na ejeção dá origem à emissão de quilonova (Crédito: NASA's Goddard Space Flight Center/CI Lab).



Acima

Localização no céu do evento GW170817 a partir de observações em ondas gravitacionais com o LIGO/Virgo e em raios gama com os observatórios Fermi e INTEGRAL (Crédito: LIGO Scientific Collaboration & Virgo Collaboration).

estrelas de nêutrons.

A triangulação dos detectores de ondas gravitacionais e dos observatórios de raios gama forneceu uma área de busca no céu de aproximadamente 31 graus quadrados. Nesta área, diversos telescópios que observam comprimentos de onda na região do óptico realizaram buscas pela emissão gerada durante um evento de quilonova próximo a galáxias já catalogadas em observações anteriores. Aproximadamente 11 horas após a primeira detecção em ondas gravitacionais, astrônomos utilizando o telescópio Swope, localizado no observatório de Las Campanas, no Chile, anunciaram a descoberta inequívoca do primeiro sinal gerado pela colisão entre duas estrelas de nêutrons. Essa foi a primeira observação astronômica a utilizar, em conjunto, observações no espectro eletromagnético e em ondas gravitacionais. Por conta da utilização de dois ‘mensageiros’ distintos (fótons e

radiação gravitacional), a observação da quilonova associada ao evento GW170817 deu origem a uma nova área de estudo da astrofísica, chamada astronomia multimensageira.

O sinal óptico foi descoberto nas proximidades da galáxia NGC 4993, localizada a aproximadamente 130 milhões de anos-luz da Terra. A partir da forma do sinal em ondas gravitacionais, gerado pelo movimento em espiral das duas estrelas de nêutrons antes da colisão, foi possível estimar uma massa total para o sistema binário de aproximadamente 2.7 vezes a massa do Sol. Após a sua descoberta, a quilonova foi observada por diversos outros telescópios óticos, incluindo observatórios modernos como o *Very Large Telescope* (VLT), Gemini e o telescópio espacial Hubble. A análise destas observações mostraram que a colisão entre as duas estrelas de nêutrons ejetou uma quantidade de matéria equivalente a 8% a massa do Sol, que foi sintetizada em elementos pesados através do processo r. Deste material, uma quantidade de ouro de cerca de 10 vezes a massa da Terra foi produzida. Estes resultados mostraram que quilonovas podem produzir mais elementos pesados em uma só explosão do que se imaginava, colocando estes eventos como peças centrais na síntese química no Universo.

Além dos dados descritos, o evento GW170817 foi observado

com diversos outros instrumentos através do espectro eletromagnético, como em raios X, ultravioleta, infravermelho, e em micro-ondas. Recentemente, emissões tardias da quilonova ainda podiam ser detectadas através de observações em ondas de rádio. O grande número de dados obtidos para o evento GW170817 faz dele um dos mais estudados e observados na história da Astronomia.

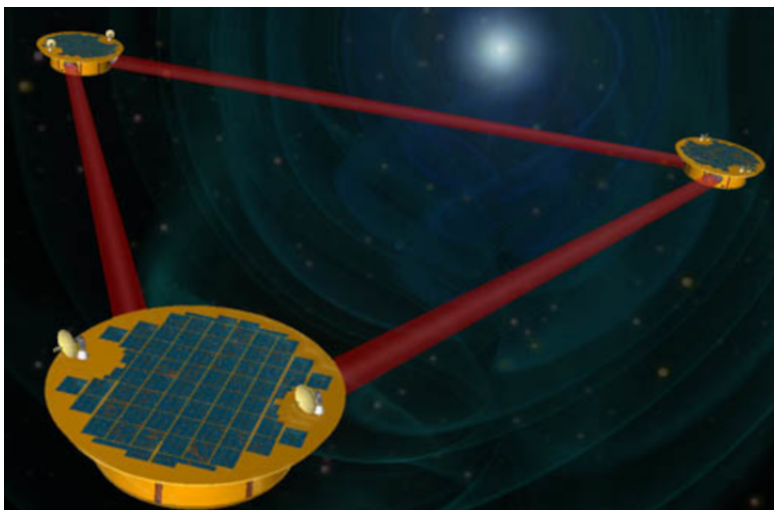
O futuro

Atualmente, os observatórios LIGO e Virgo estão em sua quarta fase de operações e contam com a colaboração do detector de ondas gravitacionais KAGRA, localizado no Japão. Nos próximos anos, novos detectores de ondas gravitacionais prometem aumentar a sensibilidade atual e observar eventos em frequências ainda não detectáveis. A Índia terá seu próprio detector de ondas gravitacionais, parte do LIGO, que entrará em funcionamento em 2030. Na Europa, será construído o telescópio Einstein: um detector subterrâneo em formato de triângulo com braços de 10 km de comprimento. O conjunto destes detectores aumentará consideravelmente a capacidade dos observatórios atuais em descobrir eventos com menores energias gravitacionais, como as geradas pelo movimento de pulsares e em explosões de supernovas de colapso gravitacional.



A NASA e a agência espacial europeia (ESA) planejam lançar seu próprio detector de ondas gravitacionais no espaço no fim da década de 2030. Nomeado LISA (do inglês *Laser Interferometer Space Antenna*, ou antena espacial de interferometria laser), o detector será formado por três satélites posicionados em formato triangular, utilizando *lasers* com braços de 2.5 milhões de quilômetros de comprimento. O interferômetro LISA detectará ondas gravitacionais com frequências curtíssimas, pequenas demais para serem detectadas por observatórios na Terra, como as geradas pela colisão entre buracos negros supermassivos.

Acima
Observações da quilonova relacionada ao evento GW170817, também chamada AT 2017gfo (alusão a *astronomical transient*, do inglês transiente astronômico, seguido do ano e a ordem alfabética de sua descoberta). A quilonova foi descoberta nas proximidades da galáxia NGC 4993, observada pelo telescópio espacial Hubble (Crédito: NASA e ESA)



Acima
 Ilustração do futuro detector espacial de ondas gravitacionais LISA (Crédito: NASA e ESA)

Novas tecnologias aplicadas a telescópios convencionais em solo também ajudarão na descoberta e estudos de eventos de quilonova em um futuro próximo. O LSST (do inglês, *Legacy Survey of Space and Time*, ou Levantamento do legado do espaço e tempo) começará suas operações no Observatório Vera C. Rubin entre 2024 e 2025. Operando em um telescópio de 8.4 m e com uma câmera de 3200 megapixels, este será o maior levantamento do céu já produzido, com uma estimativa de 6 petabytes de dados por ano. A curta cadência (período com que um levantamento revisita a mesma região do céu) e a grande sensibilidade do LSST permitirão a descoberta de eventos de curta duração — como quilonovas — a partir de apenas dados ópticos. Além disso, para os eventos descobertos com a ajuda dos futuros detectores de ondas gravitacionais, grande quantidade de dados ópticos estarão disponíveis para serem estudados.

Com os futuros detectores de ondas gravitacionais e novos telescópios (além dos modernos e atuais instrumentos, como o JWST), perguntas ainda em aberto sobre a física da colisão entre estrelas de nêutrons serão finalmente respondidas. Saberemos qual é a taxa de ocorrência de quilonovas ao longo do Universo, poderemos medir com grande precisão a quantidade dos elementos químicos sintetizados e, por fim, conheceremos a importância destas explosões para a criação de uma grande fração dos elementos químicos presentes na Terra •

*Thallis de Lourenço Pessi
 Universidad Diego Portales
 thallis.pessi@mail.udp.cl*



O Brasil no LSST

Cientistas de instituições brasileiras participam do projeto internacional que produzirá o mais profundo censo dinâmico do Universo.

Após mais de 20 anos de planejamento e construção, o Observatório Vera C. Rubin, onde será conduzido o projeto *Legacy Survey of Space and Time* (LSST), está prestes a se tornar realidade. As primeiras propostas para seu desenvolvimento foram discutidas nos anos de 1990 e a hoje chamada *LSST Discovery Alliance* foi cri-

ada em 2003 nos Estados Unidos para dar suporte ao projeto.

A construção teve início em 2015 em Cerro Pachón (Chile), sendo parte do complexo de telescópios do NOIRLab — *National Optical-Infrared Astronomy Research Laboratory*, da National Science Foundation (EUA). O projeto LSST será executado por 10 anos, usando o novo telescópio Simonyi, com es-

**Acima**

Cientistas na sala limpa com a câmera do LSST no SLAC National Accelerator Laboratory, California (Crédito: Jacqueline Ramseyer Orrell/SLAC National Accelerator Laboratory).

Na página anterior

Observatório Vera Rubin (Crédito: LSST).

pelho primário de 8,4 metros de diâmetro e campo de visão de 9,62 graus quadrados, equivalente ao tamanho de 40 luas cheias. As imagens serão registradas em seis diferentes filtros de cor pela maior câmera digital já construída, com 3,2 gigapixels e um peso de quase 3 toneladas. Iniciando suas atividades em 2025, o LSST cobrirá todo o céu visível em poucos dias, obtendo um mapa do Universo dinâmico e sem precedentes na história da Astronomia.

A quantidade de dados gerada será gigantesca, com cerca de 20 TB por noite. Esses dados serão enviados para os Estados Unidos e outros países, entre os quais o Brasil, para distribuição, proces-

samento e análise. Até 10 milhões de alertas por noite de eventos transientes, desde movimentos de asteroides próximos até explosões de estrelas distantes e buracos negros supermassivos capturando estrelas e gás no centro das galáxias, serão enviados para a comunidade global. Ao final dos 10 anos, será produzido um imenso catálogo com cerca 37 bilhões de objetos, ocupando 15 PB.

A ciência que pode ser feita a partir desses dados é ampla e diversa. Oito colaborações científicas independentes foram criadas dentro do LSST para melhor explorar as diferentes áreas: Núcleos Ativos de Galáxias, Energia Escura, Informática e Estatística, Tran-

sientes e Estrelas Variáveis, Estrelas, Via Láctea e Volume Local, Lenteamento Gravitacional Forte, Galáxias e Sistema Solar.

A comunidade brasileira começou a se engajar no LSST a partir de um primeiro workshop em 2008. Em 2015, após contatos e negociações com o LSST, um Memorando de Entendimento foi firmado no qual, em troca da infraestrutura para transmissão de dados do Chile para os EUA via o Brasil, permitia-se a participação de 50 pesquisadores brasileiros no projeto. Duas chamadas públicas foram coordenadas pelo Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia (LIneA) e o Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) para a seleção de pesquisadores interessados. Em 2017, o projeto INCT do e-Universo foi aprovado para dar suporte à participação brasileira no LSST através da infraestrutura do LIneA. Em 2020, o LIneA tornou-se membro da *LSST Discovery Alliance*, o que trouxe diversos benefícios, como bolsas de estudos para estudantes.

Para aumentar o impacto científico do Brasil no LSST, o LIneA submeteu propostas de contribuições não-monetárias em 2020 que resultaram em 80 novas vagas. Essas contribuições criam infraestrutura local e o desenvolvimento de experiência da comunidade. Uma nova chamada pública foi anunciada pela SAB em janeiro de 2022 para projetos de pesquisadores interessados em trabalhar no LSST,

que foram selecionadas por uma comissão independente. Finalmente, em setembro de 2022 o Grupo de Participação Brasileira no LSST (com a sigla em inglês BPG-LSST) foi formalizado para coordenar as atividades científicas do contingente de pesquisadores de mais de 26 instituições de 12 Estados do Brasil atuando no LSST. O acordo inicial de 2015 está sendo revisto e, quando assinado pelas partes competentes, permitirá mais 40 vagas para o Brasil, além das iniciais. A participação dos Pesquisadores Principais atuais do BPG-LSST em diferentes colaborações científicas é destacada nos boxes incluídos neste artigo.

Recentemente, a Argentina e o México se juntaram ao Brasil e Chile como membros do LSST e estamos conjuntamente organizando uma reunião regional da América Latina (LSST@LA) para 2024, nos moldes das reuniões regionais do LSST na Europa e Ásia.

Centro de dados IDAC

A nova contribuição não-monetária requer a implantação de um centro computacional único no Brasil para receber os dados do LSST, permitindo seu acesso a pesquisadores, além de ter capacidade de processamento para gerar medidas fotométricas para todos os objetos a partir de ferramentas desenvolvidas pelo time do LIneA. Chamado de *Independent Data Access Center* (IDAC), esse sistema deve ter um servidor de banco de

dados com 500 TB, um sistema de armazenamento de 5 PB, 500 núcleos de processamento e uma conexão de 40 Gbps. Recursos já foram empenhados para a compra de cerca de 70% do IDAC, mas ainda não são suficientes. Além dos 30% restantes, recursos adicionais são também necessários para manutenção da infraestrutura e da equipe altamente qualificada do LIneA, responsável pela compra, instalação e gerenciamento do IDAC.

Outra parte importante desta contribuição está relacionada a desenvolvimentos de ferramentas científicas para a validação de medidas e a criação de repositórios para os dados fotométricos dos bilhões de objetos, sob responsabilidade do LIneA, e que é parte crucial para o trabalho do LSST. No âmbito de produtos do LSST voltados para comunidade em geral, membros do BPG-LSST ligados ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas também trabalham no sistema de alertas públicos de transientes do LSST com o uso de inteligência artificial.

Apesar do investimento de cerca de R\$ 50 milhões já realizado com a aquisição de um grande parque de equipamentos, com a capacitação de pessoal técnico e científico, e de esforços despendidos pelo LIneA e pelo BPG-LSST em várias ações junto a diferentes agências, os recursos necessários para a manutenção da participação brasileira nos 10 anos do projeto não

estão assegurados. É necessário o apoio do MCTI para a finalização e manutenção do IDAC. Sem este apoio, existe um risco de que todo o histórico aqui relatado seja paralisado. Isso traria consequências desastrosas para a Ciência brasileira, com a interrupção do trabalho dos mais de 150 pesquisadores do Brasil, a maioria estudantes de pós-graduação, já envolvidos em atividades neste projeto internacional transformativo e com um potencial imenso de grandes descobertas em diferentes áreas da Astronomia.

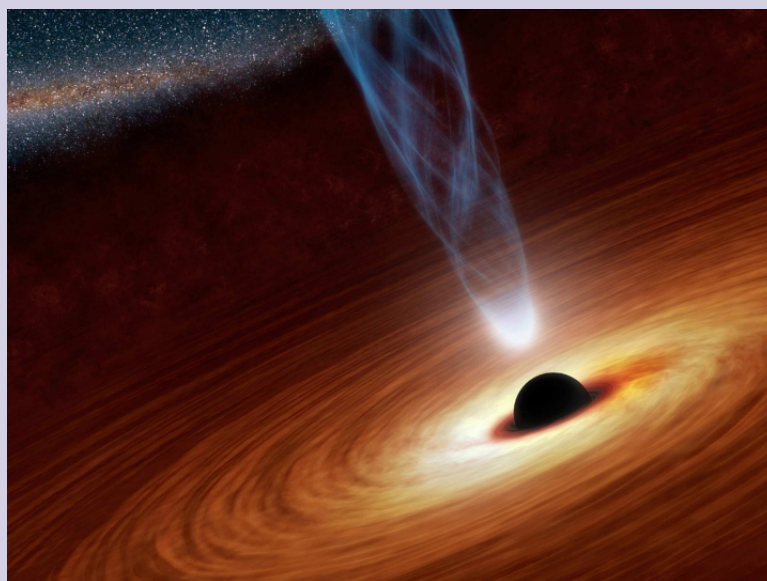
Do mesmo modo que a experiência ganha na bem-sucedida participação brasileira em outro grande projeto internacional, o *Dark Energy Survey*, alavancou o envolvimento no LSST, a experiência no LSST propiciará a formação de uma nova geração de cientistas e técnicos altamente qualificados nestes próximos 10 anos que certamente contribuirão para a inserção internacional do nosso país em outros projetos futuros, além da atração e retenção de talentos no Brasil. Este é um círculo virtuoso e todos os esforços devem ser envidados para sua continuação •

Rogério Rosenfeld & Thaisa Storchi Bergmann
LSST Brazilian Participation Group
rogerio.rosenfeld@unesp.br
thaisa.storchi.bergmann@gmail.com

Núcleos Ativos de Galáxias (AGN - Active Galaxy Nuclei)



Núcleos ativos de galáxias (AGN) são centros de galáxias que possuem um buraco negro supermassivo (massas maiores que milhões de massas do Sol) que captura matéria do seu entorno em um "disco de acreção". Este disco se aquece por fricção e emite grande quantidade de energia, sendo circundado por nuvens de gás ionizado e um toróide composto por nuvens de poeira e gás molecular. Este sistema apresenta uma estrutura complexa que não pode ser resolvida (observada diretamente) pelos telescópios atuais. A única maneira de estudar essa estrutura é através da variabilidade da radiação emitida desde esta região. Essa variabilidade é resultante de processos que ocorrem nas regiões mais internas com a emissão de energia modulada pela acreção do buraco negro. A técnica para estudar essa variabilidade é denominada Mapa de Reverberação: através de correlações entre as variações da luz em diferentes comprimentos de onda, estudamos o tempo de atraso entre a emissão das regiões mais externas (mais frias) em relação às das regiões mais internas (mais quentes), derivando as distâncias quando multiplicamos o atraso pela velocidade da luz. Usando observações futuras do LSST em diferentes filtros, essa técnica permitirá encontrar as dimensões das diferentes estruturas dos AGN. Além de estudar variações de AGN já conhecidos, milhões de novos AGN serão descobertos, bem como eventos que despertam os AGN, como os *Tidal Disruption Events*, que são eventos de captura de uma estrela por um buraco negro supermassivo no núcleo de uma galáxia. Os AGN mais luminosos podem ser observados até distâncias muito grandes (passado) do Universo, permitindo o estudo da sua história através da evolução dos buracos negros e seus processos de acreção de matéria. Além da variabilidade, serão estudadas também as galáxias hospedeiras dos AGNs e sua evolução através da combinação das imagens acumuladas ao longo do levantamento. No Brasil, essa colaboração é desenvolvida por Thaisa Storchi-Bergmann, Rogemar Riffel, Rogério Riffel, Jaderson Schimoia e Sandro Rembold.



Ao lado

Representação artística do disco de acreção de um AGN. À medida que matéria é capturada pelo buraco negro, ocorre aumento na luminosidade da região central (mais quente, aumentando emissão na luz mais azul) seguida de aumento de luminosidade das regiões mais externas (mais frias, que emitem mais para o vermelho) reverberando o aumento de luminosidade das regiões mais internas. O atraso entre as variações de luminosidade medidas em diferentes filtros do LSST permitirá inferir a dimensão do disco de acreção (Crédito: NOIRLAB/NSF/AURA/J. da Silva).

Energia Escura (Dark Energy Science Collaboration)



Cerca de 70% do Universo é composto pela chamada Energia Escura, responsável pela sua expansão acelerada, cuja descoberta em 1998 recebeu o prêmio Nobel em 2011. Ainda não se conhece a natureza da energia escura. O modelo mais aceito atualmente e que passa por todos os testes observacionais postula que a constante cosmológica, introduzida por Einstein em 1917, é a responsável pela Energia Escura. No entanto, existem vários outros modelos alternativos que serão testados e esse trabalho que já está em curso no BPG-LSST. Em particular, estamos estudando a Energia Escura através da distribuição das galáxias no Universo e na distorção de suas formas com os catálogos de bilhões de objetos que serão observados no LSST; do estudo das centenas de milhares de aglomerados de galáxias esperados no LSST, que são as maiores estruturas do Universo; e do estudo da sinergia entre os dados de galáxias do LSST e as detecções de ondas gravitacionais pelo Einstein Telescope. O foco é aprimorar o uso de 'sirenes escuras' — fontes de ondas gravitacionais de fusões de buracos negros que não emitem luz detectável — como ferramentas para a cosmologia observacional.

Para obter informações sobre a Energia Escura é necessário um tratamento estatístico sofisticado dos dados observacionais quando comparados com previsões teóricas. Para isso, membros do nosso grupo participam do desenvolvimento de ferramentas computacionais

que serão adotadas pelo DESC, alguns trabalhando como cientista de dados para o LSST. A análise de modelos cosmológicos a partir de uma combinação de diferentes observações é realizada dentro de um grupo de trabalho do DESC co-coordenado por um membro do BPG-LSST. Nesta equipe colaboram Mariana Penna-Lima, Marcos Lima, Valerio Marra, Sandro Vitenti, Rogerio Rosenfeld, Bruno Moraes, Clecio De Bom e Luiz N. da Costa.



Ao lado

Imagem de longa exposição, realizada com o telescópio espacial Hubble, do aglomerado de galáxias Abell 2744, que mostra centenas de galáxias cuja luz foi emitida há 3,5 bilhões de anos atrás (Crédito: NASA, ESA, STScI, HFF Team).

Estrelas, Via Láctea e Volume Local (Stars, Milky Way and Local Volume)



O BPG-LSST participa em dois temas de pesquisa: aglomerados estelares e galáxias anãs. Estrelas em galáxias nascem em agrupamentos — usualmente chamados de aglomerados estelares — com diferentes números de membros. Na Via Láctea, embora mais de 90% dos aglomerados se dissolvam em cerca de 10 milhões de anos após sua formação, alguns poucos podem se manter gravitacionalmente coesos por vários bilhões de anos. Aglomerados estelares globulares, por sua vez, são muito antigos e massivos, com mais de 10 bilhões de anos de idade e contendo por volta de 100000 massas solares. São relíquias de épocas de violenta formação estelar no Universo jovem, sendo marcadores dos primórdios das histórias evolutivas das galáxias. A Via Láctea conta com aproximadamente 160 aglomerados globulares conhecidos, e este número aumentará com os dados do LSST. Através do estudo de aglomerados globulares no LSST, podemos investigar como se deram eventos de formação estelar muito intensos em galáxias de vários tipos e localizadas em diferentes ambientes, desde a Via Láctea até 650 milhões de anos-luz. Galáxias anãs, como o próprio nome sugere, têm uma quantidade de estrelas cerca de 100 vezes menor do que a nossa galáxia. Seu pequeno brilho torna difícil sua detecção nas imagens astronômicas. Até os primeiros anos deste século, conhecíamos apenas 11 satélites da Galáxia, incluindo as duas Nuvens de Magalhães, visíveis a olho nu. Com os levantamentos contemporâneos, à base de detectores digitais muito sensíveis, como o *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) e *Dark Energy Survey* (DES), que tiveram participações brasileiras nesta área, o número aumentou para cerca de 60. Apesar de serem pobres em estrelas, elas possuem comparativamente uma grande concentração da misteriosa matéria escura, um componente material que é mais abundante do que a matéria normal feita de átomos. Portanto, seu estudo é importante para pesquisas relacionadas à matéria escura.



O próximo grande levantamento de dados, que deverá praticamente completar o censo de galáxias anãs ultra tênues em torno da Via-Láctea e no Grupo Local, é justamente o LSST, sendo que, assim como foi no caso do DES, a participação do grupo brasileiro do LSST nestes estudos deverá ser muito importante. Nesta colaboração trabalham Ana Leonor Chies-Santos, Charles J. Bonatto, Basílio Santiago e Kepler Oliveira.

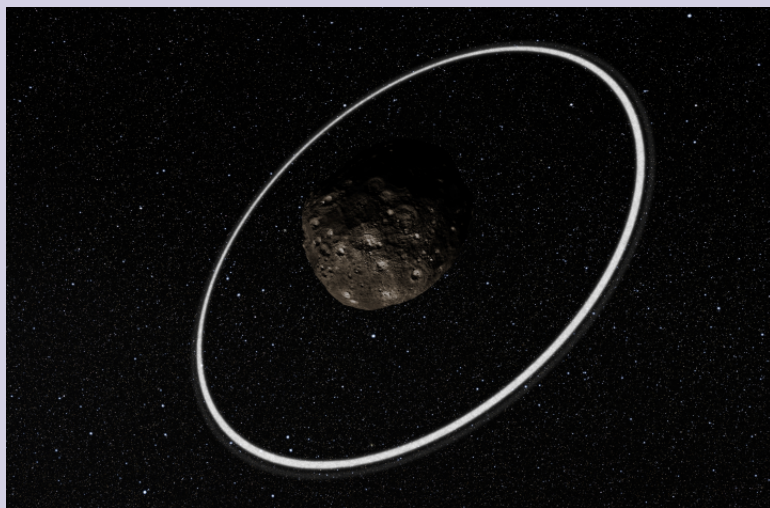
Ao lado

Imagem do telescópio espacial Hubble to aglomerado estelar conhecido como Messier 15, localizada a cerca de 35.000 anos-luz de distância. É um dos aglomerados estelares mais densos e antigos em nossa galáxia, com uma idade de cerca de 12 bilhões de anos (Crédito: NASA, ESA).

Sistema Solar (Solar System Science Collaboration)



Além da órbita de Netuno, o planeta mais distante (cerca de 4.5 bilhões de quilômetros) do Sol, encontra-se o mundo gelado e distante dos objetos transnetunianos. Tratam-se de fósseis bem conservados da formação do Sistema Solar e, por isso, peças importantes ao estudo de sua história e evolução. Dentre as várias abordagens existentes para estudá-los, está a ocultação estelar. Uma ocultação estelar ocorre quando um corpo cruza a linha de visada entre um observador e uma estrela, fazendo com que o fluxo luminoso desta última seja obstruído por alguns instantes (de poucos segundos a vários minutos em geral). A variação desse fluxo como função do tempo é chamada de curva de luz. Uma etapa importante no estudo de pequenos corpos através da ocultação estelar é a previsão de tais eventos, isto é, quando e onde, sobre a Terra ou a partir de um satélite no espaço, poderão ser observados. Ao longo do seu período de atividades, o LSST terá descoberto a maioria dos objetos que iremos conhecer além da órbita de Netuno. Associadas a observações de diferentes telescópios, as posições oriundas dessas dezenas de milhares de objetos serão usadas para melhorar suas órbitas e impulsionar previsões cada vez mais precisas de eventos de ocultação. Assim, e também com vistas a uma colaboração estruturada com a comunidade internacional na observação das ocultações, contamos com o suporte do LIneA e do INCT do e-Universo na lida com grandes massas de dados e com computação de alto desempenho. O LSST também detectará milhões de outros pequenos corpos do sistema solar, como asteroides. Mais de um milhão de asteroides são atualmente conhecidos no Cinturão Principal, entre as órbitas de Marte e Júpiter. Durante a vida operacional do LSST, estima-se que este número poderá chegar a 8 milhões ou mais. Para lidar com este grande número de dados, novos métodos de classificação automática de imagens baseados em algoritmos com Aprendizado Profundo estão sendo desenvolvidos por membros do BPG-LSST, como o pacote SORA (*Stellar Occultation Reduction and Analysis*), e modelos para a identificação automática de asteroides que interagem com ressonâncias seculares. Esta colaboração é desenvolvida por Julio Camargo, Valerio Carruba, Altair Gomes e Felipe Braga Ribas.



Ao lado

Concepção artística de Chariklo, um corpo celeste pequeno descoberto entre Saturno e Urano em 1997. Através da observação de ocultações estelares do Chariklo, um grupo com a participação de pesquisadores do BPG-LSST descobriu anéis ao seu redor em 2014, ilustrados na figura. Até então, tal característica no Sistema Solar era conhecida apenas nos planetas gigantes (Crédito: L. Calçada/M. Kornmesser/Nick Risinger/ESO).

Informática e Estatística (Informatics and Statistics Science Collaboration)



No campo da Astronomia, Astrofísica e Cosmologia, a Inteligência Artificial (IA) tornou-se uma ferramenta crítica. Técnicas e modelos de Aprendizagem de Máquina são necessários para identificar padrões e anomalias em grandes quantidades de dados (Big Data) que seriam difíceis, senão impossíveis, para humanos analisarem de forma eficaz em um período de tempo razoável (no sentido de obter informação e conhecimento científicos contidos no Big Data). As atividades de pesquisa e desenvolvimento em Astroinformática e Astroestatística baseadas em IA serão cruciais para possibilitar a participação efetiva da comunidade brasileira no ecossistema que envolve o telescópio e os dados, e os produtos provenientes de ambos. Membros do BPG-LSST estão desenvolvendo um novo método estatístico de calibração e avaliação de estimativas de redshifts fotométricos, a ser implementado no pipeline do LSST. Essa equipe é formada por Reinaldo Rosa, Rafael Izbicki e Daniel de Oliveira.

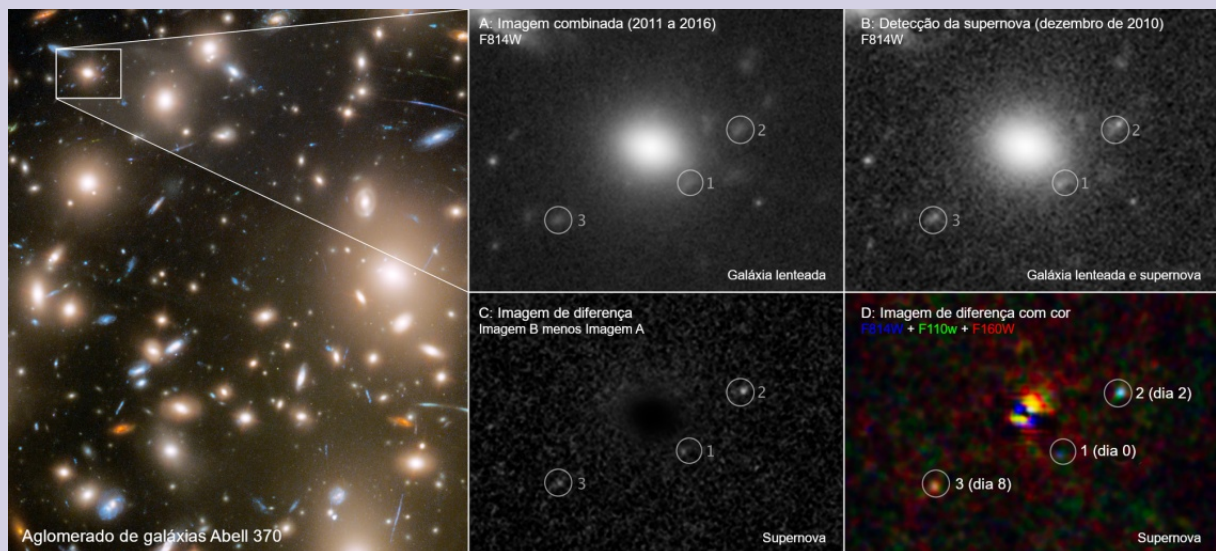
Lenteamento Gravitacional Forte (Strong Gravitational Lensing Science Collaboration)



Lentes Gravitacionais Fortes são um fenômeno que ocorrem pela deflexão da luz por um campo gravitacional. O BPG-LSST contribuiu ativamente para a descoberta de fenômenos transientes como explosões estelares, as supernovas, em Lentes Gravitacionais. Clécio de Bom é responsável pelo programa que leva às descobertas desses fenômenos. Supernovas afetadas pelo efeito de lentes gravitacionais são eventos raríssimos e que nos permitem obter informações sobre a matéria escura e podem ser usados na determinação da constante de Hubble e no teste de diferentes modelos de energia escura.

Abaixo

Detecção de uma explosão de supernova em dezembro de 2010 pelo telescópio espacial Hubble. Essa supernova estava localizada em uma galáxia que, devido ao efeito de Lenteamento Gravitacional Forte provocado pela presença de um grande aglomerado de galáxias (Abell 370), teve sua imagem multiplicada três vezes (painel A). Portanto, três imagens de supernovas foram obtidas no painel C (Crédito: NASA, ESA).



Entrevista Luiz Nicolaci da Costa

LIneA: um novo modelo de trabalho em Ciência



RBA: Você poderia nos explicar o que é o Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia?

O LIneA é um laboratório multiusuário voltado para operar um centro de e-ciência, apoiando pesquisas que envolvam grande volume de dados. Foi criado em 2010 por um acordo entre o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) e o Observatório Nacional (ON) para apoiar a participação brasileira em grandes colaborações internacionais como o *Dark Energy Survey* (DES) e o *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS-III e SDSS-IV). Mais tarde, o CBPF foi substituído pela Rede Nacional de Pesquisas (RNP), enfatizando ainda mais a natureza interdisciplinar e inovativa da iniciativa. Recentemente, seguindo sugestão apresentada por um Grupo

de trabalho formado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), incluindo os diretores do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), LNCC, RNP e ON para discutir a institucionalização do LIneA, foi criada a associação Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia. Com isso, o LIneA se tornou um Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) privado, sem fins lucrativos, numa tentativa de criar um novo modelo de governança mais ágil para enfrentar os desafios de projetos científicos envolvendo grande volumes de dados que exigem novas técnicas, novas infraestruturas e um novo tipo de profissional.

RBA: Um ICT privado é algo incomum no Brasil, especialmente numa área tão dependente de recursos públicos como a Astronomia. Como você resumiria a função do LIneA?

Queremos aproximar a comunidade científica brasileira das grandes descobertas de pesquisa em Astronomia, cooperar na revolução em curso da e-Ciência, apoiar centros emergentes e disseminar esse conhecimento para outras áreas de pesquisa.

RBA: E qual a origem dos recursos do LIneA? Como ele se mantém?

Desde seu início foram investidos da ordem de 50 milhões de reais, 80% provenientes de projetos submetidos ao CNPq, FAPERJ e FINEP; o restante veio do orçamento do ON, quando o LIneA ainda não era um ICT privado. Atual-

mente, toda a operação do laboratório é feita com recursos do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) do e-Universo do qual o LIneA é a sede.

RBA: O LIneA promoveu a participação de pesquisadores brasileiros nos levantamentos SDSS III e IV, no DES e no DESI; e há mais de dez anos tem promovido ações para garantir a participação brasileira no LSST. Qual o papel atual do LIneA nessa colaboração?

O LIneA participou e teve um papel importante nas negociações que levaram ao acordo celebrado em 2015 entre parceiros brasileiros e o projeto *Legacy Survey of Space and Time* (LSST), que garante o direito aos dados para 50 pesquisadores brasileiros, dos quais 75% devem ser estudantes e pesquisadores em estágio pós-doutoral. O objetivo do acordo é assegurar a conectividade entre Santiago e Boca Ratón, nos Estados Unidos, usando a infraestrutura da RNP e da FAPESP. Este acordo está sendo renovado para atualizar as organizações participantes.

Mais recentemente, em 2020, reconhecendo a importância do projeto LSST e o fato de que com apenas 10 pesquisadores seniores o Brasil não aproveitaria suficientemente o potencial do projeto, o LIneA respondeu a chamada pública feita pela colaboração internacional para oferta de contribuições em troca de novas vagas. Este novo acordo proporciona um total de 120 vagas das quais 96 são para jovens pesquisadores.

Além de formalizar acordos que viabilizem a participação de cientistas brasileiros no LSST através da aquisição de data rights, o LIneA também atua oferecendo apoio para que estes cientistas possam aproveitar esta oportunidade em todo o seu potencial. Para isso, oferecemos uma infraestrutura computacional para membros do LSST com mais recursos do que



Acima: Encontro realizado no Rio de Janeiro entre pós-doutorandos e tecnologistas do LIneA e o Diretor do instituto Data Intensive Research in Astronomy and Cosmology (DIRAC) da Universidade de Washington em visita ao LIneA..

para o público geral. Intermediamos o uso do Supercomputador Santos Dumont. Disponibilizamos cursos e tutoriais para facilitar o acesso às plataformas e ferramentas. Fazemos a interface entre os pesquisadores brasileiros e as colaborações científicas, ajudando especialmente os estudantes a se integrarem com os grupos de trabalho internacionais. Além disso, o LIneA espera fornecer serviços para o Grupo de Participação Brasileira e a comunidade brasileira como um todo mantendo o serviço de Jupyter Hub, processamento de HPC, outros acervos de dados de interesse da comunidade local, ferramentas para a exploração dos dados, workflows científicos para a produção de desvios para o vermelho fotométricos e identificação de aglomerados de galáxias e estrelas e galáxias anãs, bem como serviços de treinamento e apoio aos usuários, sem que isso afete nossas obrigações com a colaboração.

RBA: Qual será a forma da contribuição do LIneA para garantir um maior número de vagas para os astrônomos brasileiros no LSST?

A proposta aprovada pelo LSST envolve a implantação de um centro independente de acesso a dados (IDAC) que hospede imagens e catálogos no Brasil, bem como o desenvolvimento de software especializado, a geração de produtos científicos avançados durante os anos de operação do telescópio, e dedicação de cientistas de dados e tecnologistas do LIneA em atividades de validação e verificação científica do levantamento. Tudo isto só é possível graças à experiência acumulada ao longo dos anos, operando a infraestrutura montada para apoiar os projetos DES e SDSS. Aos poucos, os equipamentos que ficam obsoletos são substituídos por outros mais modernos graças ao apoio da FINEP e do INCT do e-Universo. O objetivo principal é atender os requisitos para um IDAC (banco de dados com 500 TB, 5 PB de armazenamento, 500 núcleos de processamento) para uso de qualquer pesquisador com direito de uso exclusivo dos dados, como exigido pelo acordo.



Acima: Cluster de processamento do LIneA instalados no centro de dados do LNCC em Petrópolis.

RBA: E como está sendo feita esta contribuição?

Estamos trabalhando em várias frentes, entre

elas a transferência de dados, infraestrutura de hardware, infraestrutura de software e apoio ao usuário, reconhecendo a mudança de paradigma que o LSST representa na forma de acessar, processar e explorar os dados do levantamento. Para ajudar na tomada de decisões criamos um Comitê de Assessoramento Técnico (CAT) com representantes de institutos com experiência na área de TI como COPPE, INT, LNCC, UFCG, UFRGS e UNESP, organizamos encontros com fornecedores nacionais, estabelecemos uma colaboração com a RNP para nos ajudar no desenvolvimento de um plano de desembolso para a implantação do IDAC, organizamos visitas a outros centros como UK-DAC na Universidade de Edinburg, SLAC, DIRAC da Universidade de Washington e o NOIR-Lab, formalizamos parcerias com DIRAC, IN2P3, SLAC, UK-DAC, colaboramos com o programa *LSST Interdisciplinary Network for Computing and Collaboration* (LINCC) sendo financiado pela fundação Heising-Simons, contratamos com recursos do INCT firmas nacionais especializadas para nos ajudar na escolha e configuração da solução a ser adotado para o banco de dados, atualização do software, replicação do banco de dados do *Minor Planet Center* (MPC) sendo mantido pela Universidade de Maryland, e um plano de atualização da rede interna para assegurar taxas sustentáveis de 40 Gbps internamente como exigido pelo acordo. Para conciliar fluxo de caixa, maximizar a garantia do equipamento e a data da chegada dos primeiros dados, a compra dos equipamentos será feita de forma incremental. As compras já foram iniciadas com recursos da FINEP e INCT que vão investir um total de 6 milhões de reais dos 9 milhões necessários até 2025. Precisamos do apoio da comunidade para conseguir o resto dos recursos.

Na frente de infraestrutura de software, utilizamos recursos do INCT e de bolsas do *LSST*



Acima: Um dos bootcamps promovidos pelo LIneA.

Discovery Alliance e do programa *Kickstarter* da Fundação Heising Simons para trabalhar no portal do Sistema Solar que está sendo usado para fazer previsões de ocultações estelares e nos pipelines científicos de interesse, em particular o que gera tabelas de desvios para o vermelho fotométricos para os quase 40 bilhões de objetos, uma das principais contribuições do LIneA. Finalmente, para ajudar no engajamento da comunidade, o LIneA, com o apoio do INCT, vem organizando ao longo dos anos uma série de atividades como um bootcamp com mais de 40 apresentações durante uma semana, cursos (programação python, github) para treinar pesquisadores e estudantes na forma de trabalhar colaborativamente e no uso de ferramentas como Jupyter notebook e o LIneA science server, usando dados do DES como proxy do LSST. No total essas atividades tiveram quase 120 participantes.

Há dois anos que já atuamos nesse esforço de implantar o centro e desenvolver os softwares necessários submetendo relatórios trimestrais e anuais para o observatório Rubin como parte do acompanhamento e para os quais temos tido um retorno bastante positivo.

RBA: Essa contribuição corresponderá a quantas vagas para pesquisadores brasileiros?

A contribuição do LIneA corresponde a um total de 120 vagas. Uma chamada pública foi anunciada pela SAB em janeiro de 2022 para projetos de pesquisadores interessados em trabalhar no LSST, que foram selecionadas por uma comissão independente. Finalmente, em setembro de 2022, o Brazilian Participation Group do LSST (BPG-LSST) foi formalizado para coordenar as atividades científicas do contingente de pesquisadores de mais de 26 instituições de 12 estados do Brasil atuando no LSST.

Existem ainda 16 vagas para juniores. Os interessados podem contatar secretaria@linea.org.br para maiores informações.

RBA: Mas qual é a importância de ter um IDAC no Brasil? Com a internet, não podemos buscar os dados diretamente do banco de dados no exterior?

Ter um IDAC no Brasil é fundamental para os pesquisadores brasileiros, considerando o modelo de “trazer o software para onde os dados estão” adotado pelo Rubin Observatory. Com exceção do grupo de trabalho de energia escura (DESC) que tem recursos extras para usar o supercomputador do NERSC no Laboratório Berkeley Livermore (LBL), o Rubin Observatory fornecerá apenas recursos limitados para processamento que deverá ser executado num dos centros de dados para evitar a transferência do grande volume de dados. Ao invés de pedir tempo de telescópio, o pesquisador precisará pedir tempo de processamento. Portanto, ter um IDAC local e próximo de um supercomputador como o Santos Dumont será um benefício extra para o pesquisador brasileiro facilitando o seu acesso aos dados e a infraestrutura de processamento.

RBA: Em sua opinião, qual é a contribuição

do LIneA para a comunidade científica brasileira?

Além do apoio direto aos membros do BPG, o LIneA também dará apoio a todos aqueles interessados em usar os dados dos diferentes acervos de dados mantidos pelo laboratório como os dos DES, SDSS, entre outros, selecionados pela comunidade, e do próprio LSST que ficarão públicos a cada dois anos. Além disso, o LIneA continuará oferecendo cursos de treinamento, apoio ao usuário na forma de *help-desk* e *office hours* e uma longa lista de serviços como o Jupyter Hub, Science Server, *cross-match* de grandes catálogos, *cutouts*, lista atualizada de previsões de ocultação de estrelas por objetos do sistema solar, o banco de dados do MPC, com efemérides do LSST constantemente atualizadas, interface para a criação de catálogos para análise científica combinando informações em outras bandas, sistema de análise de aglomerados de galáxias, e um portal para análise de dados provenientes de IFUs, uma extensão prevista para o MaNGA Portal e, dependendo dos recursos disponíveis, espaço para armazenamento de dados brutos e processados e/ou de simulações de pesquisadores individuais. Além desses serviços voltados para a astronomia, o LIneA se coloca à disposição para apoiar outras áreas enfrentando desafios semelhantes aos da astronomia.

Atualmente, o laboratório tem mais de 200 usuários registrados com mais de 100 espalhados pelo Brasil sem participação nas colaborações científicas apoiadas, utilizando principalmente o serviço de Jupyter Hub.

RBA: Quantas pessoas formam a equipe do LIneA?

Atualmente a equipe do LIneA consiste de 7 pessoas — dois desenvolvedores de software

seniores trabalhando no LIneA há mais de 10 anos e um desenvolvedor júnior, um analista de sistema sênior também com mais de 10 anos de casa e um analista júnior, uma cientista de dados com formação em astronomia responsável pela interface entre as áreas científicas e técnicas e uma especialista em educação e comunicação. O time de TI do LIneA conta ainda com o apoio de quatro pós-doutores do INCT do e-Universo.



Acima: Diretor do LIneA em visita ao laboratório onde está sendo feita a integração e testes com a câmera do LSST no SLAC em Palo Alto, Califórnia.

RBA: Apenas sete? Isso é suficiente para todas essas atividades que você descreve?

Certamente este número de pessoas não é suficiente para manter uma operação de qualidade e o grande número de projetos sendo

desenvolvidos em diferentes áreas. Ao longo dos anos foram mais de 60 projetos variando de baixa a alta complexidade realizados pelo time tendo que lidar com uma grande evolução nas bibliotecas e frameworks disponibilizados pela comunidade internacional. Projetos de infraestrutura e decisões sobre a compra de equipamentos também consomem muito tempo do time responsável pela operação e atendimento a usuários. Outro problema de um time pequeno são as férias cujo impacto é enorme na operação e no andamento dos projetos. Portanto, é fundamental expandir o time levando em conta as atividades de desenvolvimento, operação e atendimento a usuários. Também é importante ter mais pesquisadores interessados na ciência de dados para coordenar e validar as ferramentas sendo desenvolvidas para atender a necessidade dos cientistas e um pessoa dedicada a curadoria de dados para manter atualizado e íntegro os acervos de dados mantidos pelo laboratório.

RBA: Como você vê o futuro?

O futuro é incerto. Fomos induzidos a criar a associação como sendo uma solução para o tipo de organização que somos que é de serviço — nossa experiência no ON por vários anos mostrou que um laboratório como o LIneA não funciona bem dentro de uma unidade de pesquisa onde normalmente há a disputa entre fazer ou apoiar ciência, disputas internas por recursos, e a necessidade de ser ágil na contratação de pessoal e compra de equipamento, numa área tão dinâmica como a de TI. Infelizmente, até agora não conseguimos a estabilidade necessária para manter a qualidade de serviço que uma operação pública e um centro internacional exige. Por outro lado, o serviço sendo executado pelo LIneA é uma exigência dos novos tempos onde a quantidade

de dados, as necessidades de processamento e de ferramentas especializadas capazes de extrair ciência de grande volume de dados é imperativa. Como no caso do LSST e dos telescópios espaciais, o desafio do pesquisador moderno é saber desenvolver métodos e ferramentas para lidar com o grande volume e complexidade dos dados sendo gerados pelos experimentos modernos. É importante enfatizar que a necessidade do trabalho sendo feito pelo LIneA não é apenas da astronomia. Este fato levou os reitores de Universidades (UFES, UFRGS, UFSM, UnB, UTFPR) e diretores de institutos (Cenabio/UFRJ, INPE, IFT-UNESP) a enviarem cartas de apoio ao pleito sendo feito ao MCTI para que este apoie essa iniciativa de ter o LIneA como um centro de e-ciência federal que inclua outras atividades.

É importante frisar que as 120 vagas no LSST dependem do cumprimento da contribuição em trabalho feita pelo LIneA, que sem apoio do MCTI será forçado a retirar sua oferta o que será um incalculável desperdício de recursos, talentos, oportunidades de pesquisa de ponta comprometendo o futuro da ciência brasileira •

Luiz Nicolaci da Costa foi entrevistado por Helio J. Rocha-Pinto em 10/11/2023.



Eclipses

Quantas pessoas não decidiram estudar mais sobre a Astronomia após observar um eclipse do Sol e da Lua? Esse fenômeno relativamente simples ainda hoje é capaz de mobilizar multidões sempre que ocorre.

Imagine que você está vivendo sua vida normalmente cuidando dos seus afazeres, em um belo dia e, do nada, o Sol começa a desaparecer.

A experiência de vivenciar um eclipse solar total certamente deve ser estarrecidora em um primeiro contato. Outros fenômenos naturais como terremotos, maremotos e tempestades fortes, certamente sempre causaram alguma preocupação conhecida e, de certa forma, esperada, dado a im-

previsibilidade da natureza quando se trata de fenômenos climatológicos. Entretanto, o Sol desaparecer sem aviso algum, foge da esfera comum das preocupações naturais das pessoas no dia a dia.

Não à toa, os eclipses de forma geral sempre foram associados a eventos dramáticos ao longo da história como prenúncios de guerra, ira dos deuses ou morte de reis. Afinal, a "ordem natural" foi modificada. Isso parecia significar algo ruim...

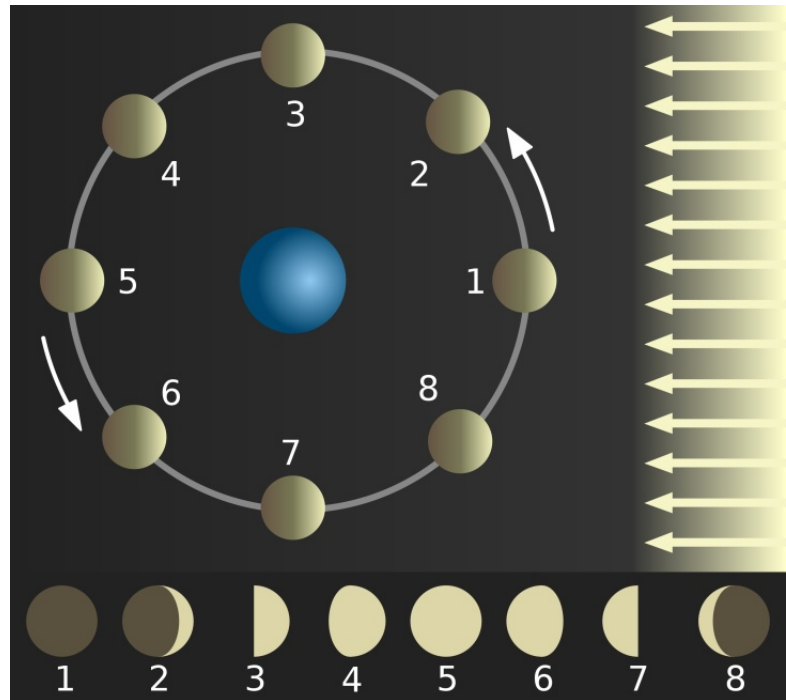
Como eclipses acontecem?

Eclipses ocorrem quando um corpo celeste (como um planeta, lua ou estrela) é temporariamente coberto, total ou parcialmente, por outro corpo celeste. Por exemplo, visto da Terra, um eclipse lunar ocorre quando a Lua é obscurecida pela sombra da Terra. Por outro lado, um eclipse solar ocorre quando o disco solar é obscurecido pela Lua.

Ao longo da sua trajetória ao redor da Terra, a Lua ocupa diferentes posições relativas ao Sol. Essas diferentes posições dão origem às fases da Lua. As implicações disso são que duas vezes ao mês — na lua nova e na lua cheia — esses três astros estão posicionalmente alinhados.

Eclipses lunares ocorrem quando a Lua é parcial ou totalmente obscurecida pela sombra da Terra na configuração Sol–Terra–Lua (lua cheia). Por sua vez, eclipses solares ocorrem quando o Sol é parcial ou totalmente obscurecido pela Lua, na configuração Sol–Lua–Terra (lua nova). Não temos eclipses lunares e solares todos os meses durante as fases nova e cheia porque é necessário que haja um alinhamento do plano orbital entre os corpos celestes envolvidos, além do alinhamento posicional entre eles.

Em outras palavras, a Lua orbita a Terra em um plano orbital inclinado em 5.1° em relação ao plano em que a Terra orbita o Sol. Isso faz com que, por vezes, a Lua



passar pouco acima ou pouco abaixo do plano da Eclíptica (plano orbital Sol–Terra). Quando a Lua se posiciona no nível do plano da eclíptica, é quando os eclipses ocorrem, tanto lunares como solares.

Especificamente, a órbita lunar intercepta a eclíptica em dois pontos opostos chamados de nodos ou nós. Eclipses só ocorrerão se ambos os astros (Sol e Lua) estiverem próximos da vizinhança dos nodos. Em sua trajetória aparente o Sol passa por um nodo a cada seis meses, que são as ocasiões mais favoráveis para que os eclipses ocorram. Os nodos não ocupam posições fixas na eclíptica, completando um ciclo a cada 18,6 anos.

Dada as condições básicas para que ocorram eclipses, pode-se concluir que a ocorrência de eclipses lunares e solares são simétricas

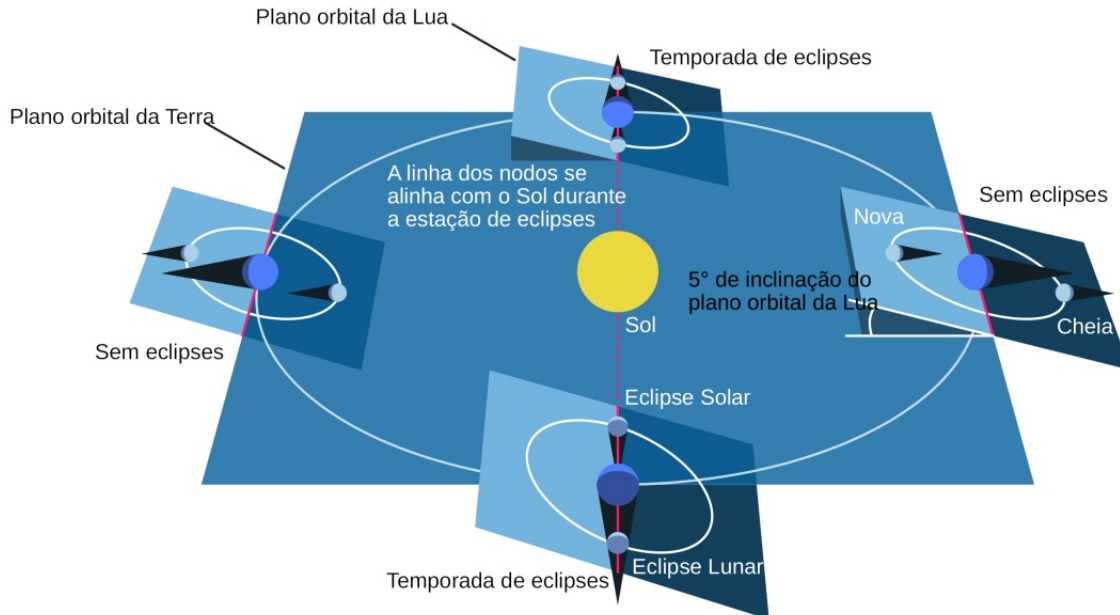
Acima

Fases da Lua. Diferente do que se costuma pensar, a Lua não apresenta apenas quatro fases. A iluminação do Sol atinge a Lua em diferentes posições ao

longo de toda sua trajetória. As posições 1 e 5 correspondem à lua nova e cheia respectivamente, enquanto que as fases 3 e 7 correspondem às fases intermediárias: quarto crescente e quarto minguante (Crédito: WikiMedia Commons).

Na página anterior

Eclipse anular do Sol observado em um deserto (Crédito: Maxime Daviron).



Acima

Defasagem da eclíptica e plano orbital lunar. A intersecção entre a eclíptica e o plano orbital lunar ocorre nos nodos, na chamada "temporada de eclipses". Se não fosse pelos 5° de diferença entre os planos, haveriam eclipses lunares e solares todos os meses durante as fases cheia e nova da Lua (Crédito: WikiMedia Commons).

por configuração. A razão do porquê eclipses lunares são mais frequentemente observados do que eclipses solares é devido à relação entre tamanhos e distâncias dos astros vistos da Terra.

Durante um eclipse lunar a Lua toda entra na sombra da Terra e, dessa forma, o evento torna-se visível para todos os observadores para os quais a Lua esteja acima do horizonte. Eclipses solares, por sua vez, são visíveis apenas para uma estreita região onde a sombra da Lua toca a superfície da Terra. Por essa razão eclipses lunares são mais frequentemente observados do que eclipses solares.

Considerando que o diâmetro físico da Lua é muito menor do que o diâmetro físico do Sol, é bastante impressionante pensar que os três corpos estejam dispostos de tal forma que as proporções de distância resultem em um perfeito alinhamento dos diâmetros a-

parentes do Sol e da Lua, vistos da Terra. Essa configuração de eclipses é uma característica específica do nosso planeta. Dado as especificidades desse evento, é compreensível que o mecanismo de Antikythera — considerado o mais antigo computador analógico da história, tinha como uma das funções a de prever eclipses.

Alguns fatos históricos

O desaparecimento temporário do Sol em um dia comum como no exemplo apresentado não foi meramente ilustrativo. De fato, há tabuinhas de argila babilônicas de 1063 a.C. que apontam a surpresa dos espectadores ao relatar esse acontecimento, o qual, diz o texto cuneiforme: “transformou o dia em noite”.

Não apenas eclipses solares causavam espanto e preocupação em quem os observava. Eclipses lunares também são eventos bastante

dramáticos, quando consideramos que a Lua vai sendo obscurecida sucessivamente até *mudar de cor* (em função do sombreamento da Terra) em sua totalidade.

Apesar de eclipses lunares serem mais comumente observados e existirem mais registros destes do que de eclipses solares, isso não diminui o impacto do fenômeno. Ao longo da história, também os eclipses lunares foram associados a prenúncios de guerra e maus presságios.

Por ocasião da quarta viagem de Cristóvão Colombo ao continente americano (1502–1504), o navegador e sua tripulação enfrentaram grandes desafios no mar. Em determinado momento, esgotaram-se seus suprimentos e os barcos ficaram danificados, o que os levou a ancorar na Jamaica por um período, aguardando resgate. Durante esse período, Colombo e sua tripulação conviveram com os povos nativos da região, que lhes forneceram alimentos. Entretanto, mais de um ano havia se passado e os nativos começaram a apresentar resistência em prover suprimentos para a tripulação.

Diante dessa situação, Colombo reuniu-se com os nativos e os comunicou que devido à recusa em fornecer suprimentos durante sua estadia, Deus enviaria um sinal do céu para demonstrar Sua ira e descontentamento dentro de 3 dias.

O que os nativos não sabiam é que Colombo havia consultado as efemérides, as quais indicavam



que ocorreria um eclipse lunar total que seria visível naquela região na data da tal ira de Deus que Colombo pseudo-profetizou.

Na data prevista a Lua já nasceu eclipsada. No lado Oeste, o Sol se pôs enquanto que no Leste a Lua nascia já na cor avermelhada — inflamada pela ira de Deus, por não suprir os navegantes europeus.

Quanto mais a Lua subia no horizonte, mais os nativos se desesperavam e clamavam pela ajuda de Colombo, que se mantivera dentro de sua cabine. Em certo momento, ele saiu da cabine e respondeu as súplicas dos nativos dizendo que estava em oração, e que “Deus agora iria perdôá-los, e como sinal eles veriam a cólera e a inflamação da Lua passar”. Certamente após o eclipse atingir o seu máximo, ele começaria a diminuir, e o momento não poderia ter sido mais oportuno. A partir desse evento do dia 29 de fevereiro de 1504, não faltaram suprimentos para a tripulação de Colombo.

Nesse episódio específico, os na-

Acima
Eclipse solar visto a partir da Estação Espacial Internacional (ISS) em 2017. A região onde a sombra da Lua incide sobre a Terra é chamada de umbra. A sombra da Lua incide em uma porção muito limitada da Terra, o que torna eclipses solares mais raros do que eclipses lunares (Crédito: ISS/NASA).

Abaixo

Placa fotográfica do eclipse solar total registrado em Sobral no dia 29 de maio de 1919 (Crédito: ON/MCTI).



tivos foram persuadidos a associar o eclipse a algo de natureza maligna. Essa inclinação parece ser uma tendência ao longo da história e em diversas culturas. Um exemplo disso ocorreu no século VI a.C, quando um eclipse solar tanto impressionou os soldados que foi um fator decisivo para encerrar uma guerra que durava anos entre Medos e os Lídios (na atual Turquia). Segundo relato do historiador Heródoto, durante a batalha o dia teria subitamente se transformado em noite, assim como Tales de Mileto havia previsto para a tal data. Com esse evento, ambos oponentes teriam acabado o combate em acordo de paz. A respeito da previsão de Tales, há ainda controvérsias na literatura, uma vez que naquela época os recursos disponíveis podem ter sido limitados para que ele pudesse, de fato, desenvolver previsões precisas de eclipses solares.

Mas os eclipses também tiveram um papel prático. Eles eram ferramentas para determinação da localização (latitude e longitude), tamanhos, e distâncias na Terra.

Na Grécia antiga, Hiparco (c. 193–119 a.C.), em seu ensaio *Sobre tamanhos e distâncias*, calculou a distância Terra–Lua usando duas medições independentes do mesmo eclipse solar. Esse feito notável foi posteriormente relatado no livro de Ptolomeu, o *Almagesto*. Com o eclipse solar, Hiparco calculou em 71 raios terrestres a distância da Terra à Lua no século

II a.C., o que é bastante impressionante comparado com o atual valor de 60 raios terrestres.

Outro célebre exemplo que ilustra o impacto dos eclipses solares no avanço da ciência ocorreu em 29 de maio de 1919. Na totalidade do eclipse, as estrelas que estavam próximas ao Sol puderam ser observadas, e suas posições aparentes foram fotografadas para comparar com as previsões da teoria de Einstein. A teoria previu que a gravidade do Sol causaria um desvio na luz das estrelas de fundo, e essa observação durante o eclipse confirmou as previsões de Einstein, consolidando sua teoria. Houve duas expedições para a observação desse eclipse, uma em Sobral, no Brasil, e outra na Ilha do Príncipe, no Golfo da Guiné. Esse marco histórico consagrou a teoria de Einstein como uma das descobertas científicas mais notáveis do século XX.

Para além do contexto histórico e científico, naturalmente diversas culturas atribuíam os eclipses às suas próprias crenças e divindades.

Na China, quando um "dragão ousava engolir o Sol", a população já sabia o que fazer, visto que havia uma série de rituais para espantar o dragão, todos eles envolviam muito barulho de todas as formas para que a luz fosse devolvida a eles. Como os chineses não podiam contar com a sorte para adivinhar quando "o dragão iria aparecer", era dever dos

astrônomos da corte prever esses eventos. Em certa ocasião, por volta de 2159 a.C., os astrônomos Hsi e Ho falharam em prever a chegada de um eclipse solar. Como resultado, o imperador chinês ordenou que eles fossem condenados à morte. Tempos difíceis para os astrônomos cometerem um erro de cálculo...

O mesmo padrão de associar eclipses a entes devoradores também foi registrado na Índia, Malásia, África e Américas. Especificamente no Brasil, no interior do Paraná, minha avó de 88 anos conta que durante a sua infância no campo, presenciou um bicho engolindo o Sol. Ela e sua família e vizinhos intuitivamente começaram a bater panelas para espantar o bicho, que nunca mais voltou para aquelas terras.

Uma interpretação diferente foi dada no contexto do eclipse que teria ocorrido durante a crucificação de Cristo, descrito na Bíblia. Nos livros de Mateus, Marcos e Lucas, os apóstolos relatam uma escuridão durante a crucificação: “*E desde a hora sexta houve trevas sobre toda a terra, até à hora nona*” (Mateus, 27:45). O único evento capaz de reproduzir essa descrição seria um eclipse solar. Para investigar as possibilidades convém lembrar que na Palestina, o dia e a noite eram divididos em 12 partes iguais. O dia era subdividido em quatro momentos, dessa forma: hora prima (6–9 h), hora terceira (9–12 h), hora sexta (12–

15 h) e hora nona (15–18 h). A noite era dividida em vigílias, a primeira iniciando às 18 h, a segunda às 21 h, a terceira à meia noite, e a quarta às 3 h. Embora o tempo de duração da escuridão relatado pelos apóstolos ser surpreendentemente notável, o que de fato descarta a possibilidade do eclipse solar na data da crucificação é justamente sua data. Os meses judeus são lunares e começam na lua nova. E como a crucificação ocorreu no dia 14 Nisã (14 dias após a lua nova), já era lua cheia. Como eclipses solares só ocorrem durante a lua nova, isso descarta a possibilidade natural de ter ocorrido um eclipse solar nessa data.

Eclipses em solo brasileiro

Em solo brasileiro o eclipse solar mais celebrado certamente foi o de Sobral (CE), que contribuiu para a verificação da Teoria da Relatividade Geral de Einstein em 1919. Não foi a primeira vez que uma equipe de astrônomos estrangeiros viajava ao Brasil para observar um eclipse solar com a mesma finalidade. Em 1912, uma comissão composta por astrônomos da Inglaterra, França, Argentina, Chile e Brasil dirigiu-se a Passa Quatro (MG) para fotografar o eclipse solar total e medir os desvios calculados por Einstein no ano anterior. A equipe brasileira foi chefiada por Henrique Morize, então diretor do Observatório Nacional, e a equipe inglesa foi chefiada

da por Arthur Stanley Eddington. Na data do eclipse choveu o dia todo e somente sete anos depois foi possível reunir uma nova comissão para observar outro eclipse solar.

Sabendo das peripécias da imprevisibilidade do tempo, a *Royal Astronomical Society* de Londres organizou duas comissões para observar o eclipse de 1919: uma iria para Sobral, no Brasil, e outra iria para a Ilha do Príncipe, no Golfo da Guiné. Desta forma, garantiriam ao menos dois postos de observações distintos para a missão. Dessa vez Eddington fazia parte da equipe que foi para Guiné ao invés do Brasil, e Morize viajou por quase duas semanas, indo do Rio de Janeiro para Sobral com sua equipe. Na data do eclipse o dia amanheceu com nuvens no leste. Conforme as horas passavam, as nuvens transitavam pelo Sol, e até mesmo uma breve chuva caiu. O máximo do eclipse ocorreria às 8 horas e 56

minutos. O céu ficou encoberto até 8:52, quando uma janela entre as nuvens se abriu e foi possível fotografar o eclipse solar durante o momento esperado. Na sequência, a *Royal Society* recebeu dois telegramas, um de Cromelim (que fazia parte da equipe de Sobral) dizendo que o eclipse tinha sido esplêndido, e outro de Sir Eddington dizendo que tinha esperanças de aproveitar algumas das fotografias obtidas na Ilha do Príncipe, já que choveu no seu posto de observação.

Um registro mais recente da empreitada brasileira de reunir astrônomos para observar um eclipse solar total ocorreu em 1991. A comissão do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo escolheu as cidades de Tefé e Manicoré para observação do evento. As instituições brasileiras que participaram da comitiva foram o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal Juiz de Fora, Laboratório Nacional de Astrofísica e o Observatório Nacional. Além das instituições brasileiras, alguns pesquisadores estrangeiros se juntaram à comitiva, e todos foram distribuídos entre as duas cidades sedes da observação do eclipse. Entre a comitiva de Tefé estavam os pesquisadores Antônio Rezende Guedes, Roberto Bozczko e Marcomedede Rangel Nunes. Em Manicoré estavam Oscar Mat-

Próximos eclipses solares visíveis do Brasil e proximidades

2 de outubro de 2024

Eclipse anelar visível do sul da Argentina e Chile.

6 de fevereiro de 2027

Eclipse anelar visível do extremo sul do Rio Grande do Sul, Leste do Uruguai, Argentina, e Chile

26 de janeiro de 2028

Eclipse anelar visível do Amapá, Pará, Amazonas, Peru e Equador.



suura, Germano Quast e Rodrigo Campos. Apenas o grupo de Tefé conseguiu observar o eclipse solar total; em Manicoré o céu estava encoberto de nuvens.

Ao longo da história os eclipses desempenharam diferentes papéis na sociedade, atuando como base de crenças religiosas ou mitos, foram elencados como elemento de poder para tomada de decisões, e, também, contribuíram para a consolidação de paradigmas científicos ou a quebra deles. Independente da motivação, esse evento puramente dinâmico propicia uma oportunidade singular de aproximação da comunidade científica com a comunidade fora da Academia. Já que trata-se de um

evento particular da dinâmica do nosso planeta, ele momentaneamente nos une como humanidade. Nesse contexto, eclipses podem ser encarados como um convite a simples apreciação das especificidades da dinâmica do sistema Sol-Terra-Lua, seja qual for a motivação pessoal de cada um •

Micheli T. Moura
 Univ. Fed. do Rio Grande do Sul
 micheli.t.moura@gmail.com

Acima

Fases de um eclipse lunar total. Conforme a Lua entra na sombra da Terra, seu brilho começa a diminuir até chegar no momento máximo do eclipse, quando devido a dispersão da luz na atmosfera da Terra, é possível observar a Lua vermelha. Após o máximo, a Lua vai constantemente aumentando seu brilho conforme sai da região dominada pela sombra da Terra (Crédito: Jose Antonio Hervás).



100 anos dos Planetários Modernos

Em 1923 fomos presenteados com o primeiro aparelho de projeção de estrelas do mundo, o que deu início a uma nova era: a era dos Planetários modernos!

Tudo teve início em 1913, quando o fundador do Museu Alemão (*Deutsches Museum*) em Munique, Oskar von Miller, pensou na possibilidade de criar um instrumento que fosse capaz de simular as estrelas, os planetas, o Sol e a Lua, com seus respectivos movimentos.

A fim de descobrir se esse tipo de aparelho seria factível, ele procurou a empresa Zeiss, especiali-

zada em instrumentos óticos e mecânicos. Um dos membros do conselho administrativo da Zeiss, Walther Bauersfeld, aceitou o desafio junto a outros funcionários iniciando o projeto de desenvolvimento do que viria a ser o primeiro planetário moderno.

No entanto, o projeto foi paralisado devido à Primeira Guerra Mundial, que se estendeu de julho de 1914 a novembro de 1918. Ele

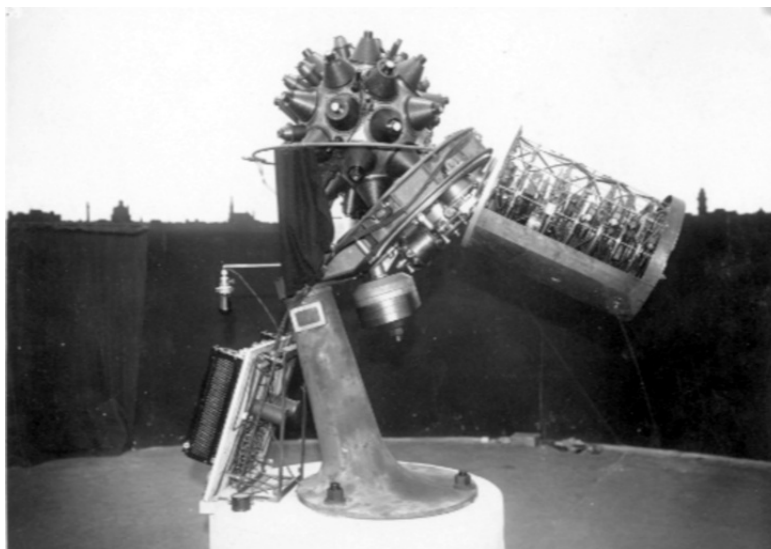
só foi retomado em meados de 1920. Em outubro de 1923, a primeira demonstração do funcionamento desse aparelho, chamado de planetário Zeiss Modelo I, ocorreu no teto da fábrica da Zeiss em Jena, na Alemanha.

Finalmente, em 21 de outubro de 1923, o grande momento havia chegado: a primeira demonstração desse aparelho revolucionário no *Deutsches Museum*, onde um céu artificial similar àquele visto do Hemisfério Norte foi projetado em uma apresentação para convidados. Este dia tão importante tornou-se um marco histórico, sendo reconhecido como o nascimento do planetário moderno. Sua primeira apresentação pública no *Deutsches Museum* ocorreu quase dois anos depois, em 7 de maio de 1925.

Esse primeiro projetor de estrelas passou por melhorias e evoluiu para o Zeiss Modelo II, que possuía uma forma de halter possibilitando agora a projeção do céu visto do Hemisfério Sul da Terra.

A novidade sobre a forma de projetar o céu estrelado começou a circular por outros países e vários planetários foram construídos ao redor do mundo. E com o fim da corrida espacial que culminou com a chegada do ser humano na Lua, o interesse pelo espaço cresceu bastante, fazendo com que lugares como os planetários começassem a atrair o interesse das pessoas.

Para termos uma ideia da im-



portância desses lugares, entre os anos 1960 e 1975, vários astronautas dos programas Mercury, Gemini, Apollo, entre outros, frequentavam o Planetário Morehead na Carolina do Norte, EUA, para o treinamento no reconhecimento do céu que os ajudariam a se localizarem pelas estrelas, caso fosse necessário.

Com o tempo e com o desenvolvimento tecnológico, projetores cada vez mais modernos e mais versáteis começaram a ser produzidos. Contudo, essa necessidade ou curiosidade em criar uma representação do céu e dos movimentos dos astros é bem mais antiga, de forma que precisamos voltar ainda mais no tempo para entender o nascimento da ideia de planetário e como os avós dos planetários modernos surgiram e evoluíram.

Os precursores dos planetários modernos

Os antecessores dos planetários

Acima
Planetário Zeiss Modelo I, o primeiro projetor de estrelas construído (Crédito: Zeiss Archive).

Na página anterior
Projetor Zeiss Starmaster ZMP instalado em 2006 no Planetário Prof. Aristóteles Orsini no Parque Ibirapuera em São Paulo (Crédito: Mauro Kanashiro).



Acima

Parte interna do Globo de Gottorf de 3,1 metros de diâmetro, onde são vistas as constelações representadas com suas figuras. Dentro do globo, as pessoas podiam contemplar o céu e o movimento dos astros (Crédito: Marcus Dewanger/Fundação dos Museus do Estado de Schleswig-Holstein.)

modernos eram bem diferentes dos projetores de estrelas supracitados. Eram estruturas mecânicas com formas variadas de demonstração do céu e, muitas vezes, dependiam de força manual para simular o movimento dos astros. Uma dessas estruturas é o Globo de Gottorf, considerado o primeiro planetário do mundo.

O Globo de Gottorf, do século XVII, é um globo de aproximadamente 3 m de diâmetro e tem, em sua parte externa, o planeta Terra representado com seus continentes e oceanos. Em seu interior, as pessoas podiam se sentar e contemplar um mapa do céu com as constelações e o movimento dos astros conforme a estrutura girava manualmente. O globo foi construído no Castelo Gottorf, perto de Schleswig, Alemanha, entre 1650 e 1664, a pedido do duque de Holstein-Gottorp, Frederico III. Por trás dessa construção estava Adam Olearius, matemático, geógrafo e bibliotecário de Frederico III. Em

2005, uma réplica foi construída no local original.

Um outro exemplo de precursor dos planetários modernos é aquele localizado na Vila de Franecker, na província da Frísia, nos Países Baixos. O Planetário Real Eise Eisinga, batizado em homenagem ao seu idealizador, foi construído no século XVIII e é o planetário mais antigo do mundo ainda em funcionamento. Além disso, em 2023, passou a integrar a lista do Patrimônio Mundial da UNESCO.

A motivação para a construção desse planetário surgiu após a publicação de um livro com informações um tanto equivocadas, escrito por um cristão chamado Eelco Alta, no qual ele fazia previsões de que a Lua, Mercúrio, Vênus, Marte e Júpiter iriam colidir em 8 de maio de 1774. Isso gerou pânico na população, visto que o livro previa também que essa colisão tiraria a Terra de sua órbita, indo esta em direção ao Sol e ao seu fim.

Para desmistificar essa ilusória colisão de planetas, o empresário Eise Eisinga construiu um modelo tridimensional do Sistema Solar no teto da sala de sua própria casa. Além do Sol e da Lua, a estrutura continha os seis planetas conhecidos na época: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. Eisinga sincronizou os movimentos dos astros utilizando um relógio de pêndulo e as velocidades foram reguladas de forma a

manter o período orbital dos planetas, tal que conseguisse explicar o movimento e posição dos astros com a maior fidelidade possível. Essa estrutura demorou aproximadamente sete anos para ser construída, sendo finalizada em 1781.

O Planetário Real Eise Eisinga continua em atividade até os dias de hoje e, embora a principal atração seja a famosa sala do planetário, o local dispõe de uma coleção de instrumentos astronômicos históricos e uma exposição sobre o Sistema Solar e o Universo.

Outros modelos que também merecem destaque por representarem o movimento e a posição dos astros no céu são a Esfera Celestial de Atwood, de 1913, e o Planetário de Huygens, de 1682.

O primeiro planetário do Brasil

Em 26 de janeiro de 1957, foi inaugurado o primeiro planetário do Brasil, no Parque Ibirapuera em São Paulo. Com seu projetor de estrelas Zeiss Modelo III, controlado de forma eletromecânica pelos planetaristas, as pessoas podiam contemplar um céu projetado livre de nuvens e poluição luminosa.

O Planetário do Ibirapuera foi idealizado pelo Professor Aristóteles Orsini, que empresta seu nome à esta instituição. Outros nomes da Associação de Amadores de Astronomia de São Paulo (AAA), da qual Orsini fazia parte, esti-



veram presentes nessa empreitada, tais como Abrahão de Moraes, Décio Fernandes de Vasconcelos, dentre outros.

O Planetário entrou para a vanguarda científica paulistana, sendo um importante ponto de referência na cidade. Em 1986, com a passagem do Cometa Halley, o



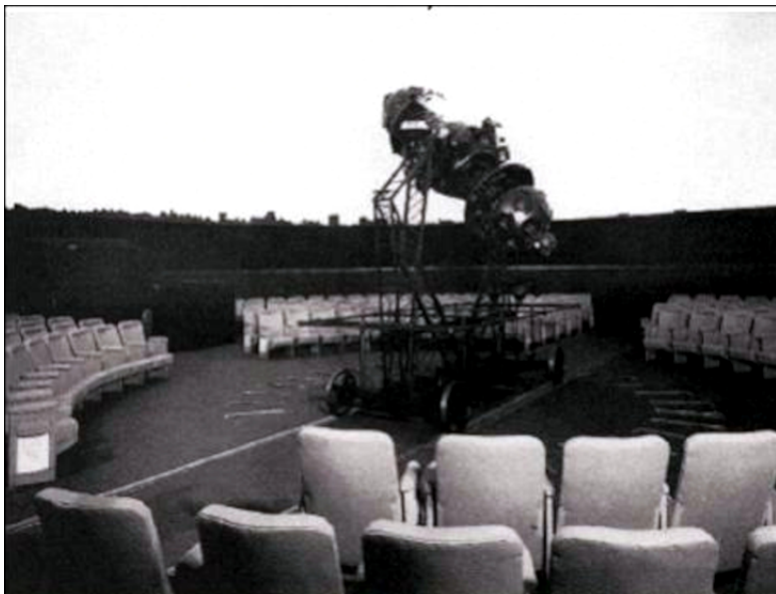
Acima

Sala do Planetário Eise Eisinga, em Franeker, Países Baixos. No teto, o Sol, a Lua e os seis planetas do Sistema Solar conhecidos na época são representados em uma estrutura mecânica com movimentos sincronizados por um relógio de pêndulo (Crédito: Jean Housen).

Ao lado

Fachada do Planetário Eise Eisinga, em Franeker, Países Baixos, que continua em funcionamento até os dias de hoje (Crédito: I. Bouwe Brouwer).

Planetário do Ibirapuera recebeu mais de 600 mil pessoas, seu maior público até hoje.



Acima
Interior do Planetário Professor Aristóteles Orsini no Parque Ibirapuera em São Paulo. No centro da sala vemos o projetor Zeiss Modelo III instalado na década de 50 (Crédito: Acervo do Planetário Professor Aristóteles Orsini).

Em 2006, após uma reforma, o projetor Zeiss Modelo III foi substituído pelo projetor StarMaster, também da empresa alemã Zeiss. Este modelo de projetor utiliza um sistema de fibras óticas para projetar cada estrela na cúpula da sala de projeção do planetário; tudo é feito de forma automatizada com computadores que enviam os comandos para o projetor. Podemos programar a data, horário e local sobre a superfície da Terra em que estamos vendo um determinado céu, assim como podemos viajar para o passado ou para o futuro. As constelações podem ser projetadas com suas respectivas artes e as linhas do Equador Celeste e Eclíptica também podem ser visualizadas .

O Planetário do Ibirapuera pos-

sui uma cúpula com 18 m de diâmetro e conta com aproximadamente 304 lugares, sendo o maior em ocupação do Brasil.

Planetários cada vez mais modernos

De acordo com a Sociedade Internacional de Planetários (IPS), há mais de 4 mil planetários espalhados pelo mundo e, de acordo com a Associação Brasileira de Planetários (ABP), temos mais de 100 planetários espalhados por todo o território nacional. Hoje contamos com diversas tecnologias e versatilidades que permitem que os planetários alcancem cada vez mais pessoas.

Com os planetários móveis, por exemplo, somos capazes de levar a ciência e a astronomia para escolas e regiões com pouco acesso a recursos culturais, assim como alcançar pessoas que nem imaginam o que é um planetário.

Hoje também contamos com a tecnologia digital *fulldome* presente em cada vez mais planetários pelo mundo. Com esta tecnologia podemos fazer um mapeamento da cúpula do planetário, permitindo uma experiência única e abrindo um leque de possibilidades para temas variados que podem ser desde astronomia, biologia marinha e até o corpo humano.

Embora haja tantas outras formas modernas de projetarmos conteúdos de astronomia em um domo, os projetores de estrelas tra-

dicionais ainda roubam a cena, na opinião de muitos. Além disso, esses projetores podem trabalhar combinados com projeções *fulldome* ou com o auxílio de projetores de vídeos comuns.

Visite um planetário!

A partir de outubro de 2023 até maio de 2025, os planetários estarão comemorando o Centenário dos Planetários, de modo que muitas atividades serão oferecidas. Pela página da Associação Brasileira de Planetários (ABP), você pode descobrir o planetário mais próximo de você e aproveitar todos esses eventos.



Lugares como os planetários almejam encantar o seu público, gerando interesse e curiosidade sobre astronomia e ciência. É um lugar não só para aprender, é um espaço de contemplação e entendimento sobre nós perante o Universo. Dentro de um planetário,



podemos conectar música e astronomia, arte e astronomia, discussões ambientais e astronomia dentre tantas outras coisas.

A visita a um planetário fica marcada para sempre na memória afetiva das pessoas •

Mirian Castejon
Planetário do Ibirapuera
micastejon@alumni.usp.br

Acima

Planetário Professor Aristóteles Orsini localizado no Parque Ibirapuera em São Paulo (Crédito: Acervo pessoal da autora).

Nesta página, à esquerda

Projeção fulldome no Planetário do Ibirapuera em 2021 (Crédito: Acervo pessoal da autora).

Contracapa

Eclipse anular do Sol, observado em Santana do Cariri (CE) em 14/10/2023 (Crédito: Luan Marinho Moraes).



S.A.B.