

Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Ano 3 | Número 9

Ventos Estelares

Atmosferas de outros mundos ◇ O asteroide 'Oumuamua
Entrevista com Miriani Pastoriza ◇ Os planetários do Ceará

Editorial

Essa edição inaugura o terceiro ano de existência da Revista Brasileira de Astronomia. A pandemia continua a nos impossibilitar de imprimi-la e fazer a distribuição dos exemplares físicos, mas a distribuição gratuita através da internet possibilitou com que mais pessoas tomassem conhecimento dela e valorizassem o lançamento de cada novo número.

Como sempre buscamos trazer artigos interessantes. Nessas páginas há informações sobre ventos estelares, atmosferas de exoplanetas, 'Oumuamua, e temos a oportunidade de conhecer algo sobre Rubens de Azevedo, que tanto contribuiu para a divulgação da astronomia no nordeste brasileiro. Coroando este exemplar, temos uma entrevista com Miriani Pastoriza, a primeira mulher astrônoma da Universidade Nacional de Córdoba, na Argentina, que posteriormente foi contratada pela UFRGS e fez carreira no Brasil, servindo de constante inspiração a jovens astrônomas de ambos os países.

Aproveitamos a ocasião para também fazer um chamado a nossos leitores. Não é novidade que o financiamento para a ciência e tecnologia no Brasil estão sofrendo forte redução. Há diversas ações capitaneadas pela SBPC e espelhadas pela SAB que visam reverter esse quadro junto ao Congresso Nacional. Mas essas ações frequentemente necessitam de seu apoio. Queremos pedir que você acompanhe nossas redes sociais, tome conhecimento das ações da SBPC e engaje-se! Essa luta também é sua e de toda a sociedade brasileira. Um país soberano é aquele capaz de produzir conhecimento científico e transformá-lo em prol de seu povo.

*Helio Jaques Rocha Pinto
Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira*

Esquerda

Grande conjunção entre Júpiter e Saturno. Foto tirada em 13/12/2020 em Pindamonhagaba, SP (Crédito: Sofia Fonseca, @nightsskysofia).

Capa

Imagem infravermelha da onda de choque (em cor alaranjada) provocada pelo movimento de ζ Ophiuchi através de uma nuvem de poeira interestelar (Crédito: NASA/JPL-Caltech).

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

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 Ventos Estelares

Wagner Marcolino escreve sobre um fenômeno muito relevante para a evolução estelar.

12 Entrevista: Miriani Pastoriza

Conheça um pouco sobre a vida e carreira dessa inspiradora cientista que foi a primeira doutora em Astronomia da Argentina.

20 O asteroide 1I/'Oumuamua

Felipe de Almeida Fernandes faz um resumo sobre as principais descobertas da visita de 'Oumuamua ao Sistema Solar.

27 Atmosferas de outros mundos

O estudo de atmosferas exoplanetárias alia a Astronomia à Meteorologia. Saiba mais nesse texto de Leonardo dos Santos.

36 Os céus artificiais do Ceará

Comemoramos os 100 anos de Rubens de Azevedo e nada melhor do que conhecer seu legado nas palavras de Dermeval Carneiro.



Ventos estelares

Um fenômeno hidrodinâmico presente na maioria das estrelas ainda desafia os cientistas. Ventos impactam a evolução das estrelas e o meio interestelar, sendo importantes em diferentes áreas da astrofísica moderna.

Estrelas têm um papel crucial no universo. Elas são constituintes fundamentais das galáxias e estão intrinsicamente ligadas ao nascimento de sistemas planetários, muitos deles possivelmente habitáveis. Nesse contexto, podem ser consideradas alguns dos objetos mais bonitos que existem.

Em nosso cotidiano, estrelas encantam praticamente todas as

pessoas. É de fato difícil encontrar alguém que não aprecie um céu estrelado. Porém, quando observamos as estrelas no céu a olho nú, podemos ter a impressão que são um tanto estáticas. As constelações hoje, ontem ou há algumas centenas de anos atrás, parecem exatamente iguais. Podemos dizer o mesmo para o nosso Sol, que é uma estrela como as outras. O Sol parece igual todos

os dias. Não é à toa que muitas vezes o céu foi idealizado na literatura, como por exemplo na época medieval. As estrelas foram descritas, pintadas, cantadas, como sinônimos de constância, perfeição e eternidade. No entanto, a frase “*De perto, ninguém é normal*”, de uma música do Caetano Veloso, se aplica bem à maioria das estrelas.

Com a tecnologia que temos atualmente podemos observar as estrelas em detalhes, em praticamente todas as faixas do espectro eletromagnético: raios gama, raios X, ultravioleta, visível, infravermelho, rádio. Ao longo das últimas décadas, observatórios terrestres e espaciais conseguiram revelar várias pistas sobre a formação, estrutura, evolução e morte das estrelas. Em particular, a partir da década de 50, ficou cada vez mais claro que a maioria das estrelas emite um “vento estelar”. Esse fenômeno mudou completamente a visão que temos das estrelas e tem um papel fundamental na evolução delas. Pode-se dizer que não podemos entender a evolução estelar sem esses ventos. Na verdade, vários tópicos da astrofísica são afetados por esse fenômeno, desde a astrobiologia à astrofísica galáctica e extragaláctica. Ventos ajudam até mesmo a explicar os valores das massas dos buracos negros que criam as ondas gravitacionais detectadas pelo observatório LIGO (*Laser Interferometer Gravitatio-*

nal-Wave Observatory).

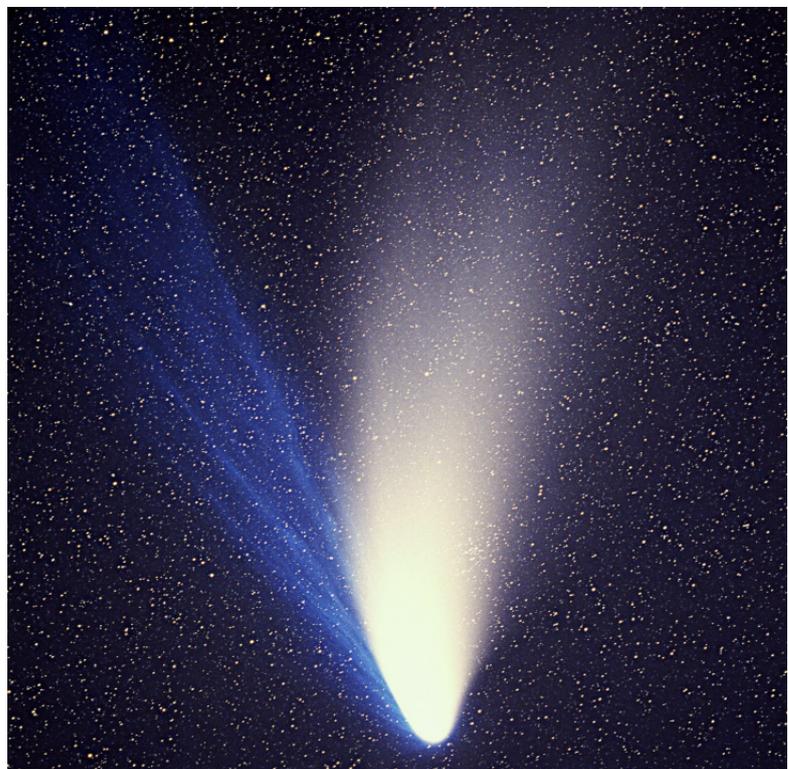
Mas afinal, o que são ventos estelares? Podemos definir um vento estelar de maneira muito simples: é o gás da própria estrela que escapa continuamente para o espaço. Analogamente, podemos dizer que é a atmosfera da estrela, suas partes mais externas, que é perdida continuamente. Não se trata da luz da estrela. Se trata do gás, a matéria de que a estrela é feita. Assim, um vento estelar implica em uma perda de massa (matéria) de uma estrela. Os astrônomos indicam essa perda de massa pelo símbolo \dot{M} com um ponto em cima, que representa a variação com o tempo: \dot{M} . Para algumas estrelas, esse número pode ser, por exemplo, $\dot{M} = 10^{-5} M_{\odot}$ por ano. Esse valor significa que

Na página anterior

Imagem que celebrou os 26 anos de telescópio espacial Hubble — a nebulosa da bolha (NGC 7635). A bolha é produzida pela ação do vento de uma estrela com cerca de 45 vezes a massa do Sol. Ela está localizada na parte superior esquerda da bolha, deslocada do centro (Crédito: NASA).

Abaixo

O cometa Hale-Bopp em 1997. Duas caudas são evidentes. A azul é produzida pela ação do vento solar. (Crédito: E. Kolmhofer, H. Raab/Wikimedia Commons).



em 10^5 anos (100 000 anos) a estrela perde uma massa igual à do Sol (M_{\odot} representa 1 massa solar). Em termos de evolução estelar, 100000 anos pode não ser muita coisa mas essa quantidade de massa é considerável.

Então se a maioria das estrelas tem um vento, nosso Sol também possui um vento? Pela definição acima e pelo que vemos todos os dias no céu a olho nu, poderíamos crer que não. Não vemos as partes mais externas do Sol escapando para o espaço. Mas nosso Sol tem sim um vento. O reconhecimento de tal fato começou a ganhar força após pesquisas realizadas na década de 50. O astrônomo alemão Ludwig Biermann foi um dos primeiros a prever a existência do vento solar através da análise das caudas dos

cometas. Biermann sugeriu que a cauda de íons dos cometas, geralmente azuladas nas fotografias, tinham origem distinta da cauda de poeira, que é devida à ação da luz solar e geralmente branca-amarelada. Ele propôs que a cauda de íons se deveria ao vento solar e ao campo magnético do Sol, que varreria o material cometário ionizado criando uma cauda extra, azulada. Esta pesquisa foi publicada em 1951, em alemão, sob o título *Kometenschweife und solare Korpuskularstrahlung*. Anos depois, em 1958, o astrofísico americano Eugene Parker mostrou que do ponto de vista teórico as ideias de Biermann faziam sentido: as equações da hidrodinâmica possibilitavam a existência de um gás que escapasse do Sol continuamente em todas as direções. No entanto, faltavam medições para a intensidade desse vento solar, que ocorreram pouco tempo depois. A sonda soviética Luna 1 — enviada para estudar a Lua em 1959 — conseguiu medir no espaço um fluxo de gás com velocidade de centenas de quilômetros por segundo.

Cerca de três anos mais tarde, foi a vez da geofísica americana Marcia Neugebauer confirmar e realizar as primeiras medidas detalhadas do vento solar através da sonda Mariner 2, originalmente enviada para estudar Vênus. Nos anos 70, o vento solar já era uma área de pesquisa mais consolidada e cada vez mais medi-

Abaixo

Medição do vento solar na superfície da lua com o experimento *Solar Wind Composition*. O astronauta Edwin E. Aldrin é fotografado ao lado do detetor, uma folha fina de alumínio puro (Crédito: NASA).



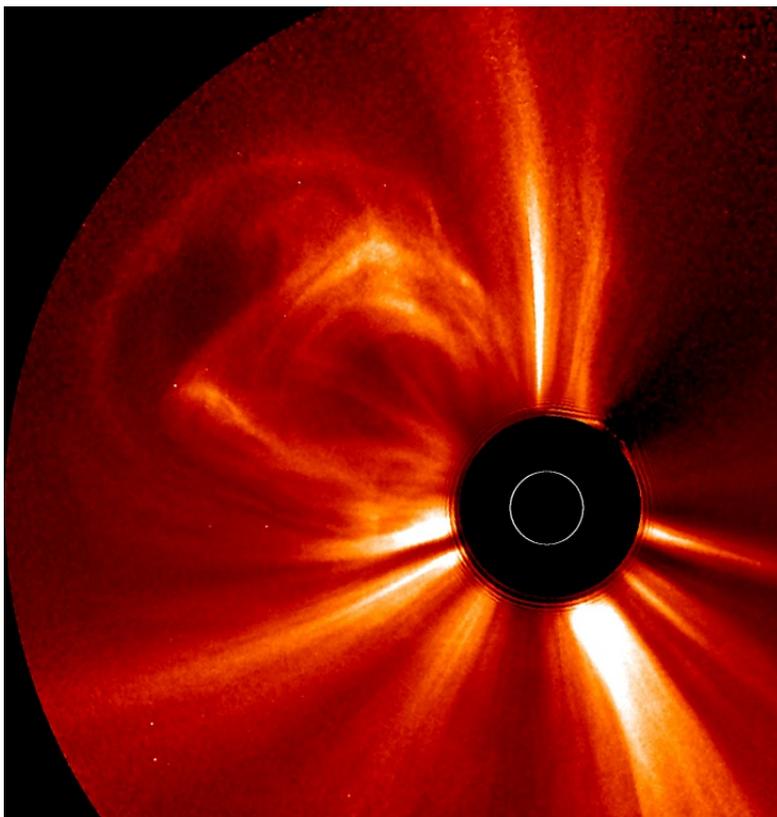
ções refinadas eram feitas. Uma das mais notáveis foi na superfície da Lua com o experimento *Solar Wind Composition* durante o programa Apollo (Apollo 11 até 16, com a exceção da 13, claro). O experimento consistia, em geral, de um folha fina de alumínio puro, aberta e exposta ao vento solar que alcança a superfície lunar. Depois de retornar à Terra, a folha era então derretida em um ambiente à vácuo, e a composição dos gases liberados, que já não era alumínio puro, era analisada. A química do vento solar pode ser então analisada em mais detalhes.

A tecnologia de hoje nos permite finalmente ver o vento solar. Sondas como a STEREO, SOHO e a Parker (em homenagem à Eugene Parker) fornecem imagens e vídeos belíssimos do vento solar. Nelas normalmente o Sol está oculto por uma máscara, devido a seu intenso brilho, para evidenciar o vento que escapa de suas partes mais externas. Essas sondas monitoram o Sol e apenas recentemente confirmaram alguns fenômenos que tinham sido previstos teoricamente, como a inversão do campo magnético do vento solar.

Então existe o vento solar. E daí? Nosso Sol possui uma perda de massa (\dot{M}) através de seu vento de cerca de $10^{-14} M_{\odot}/\text{ano}$. Significa que em 10^{14} anos (100 mil bilhões de anos) ele perderia toda sua massa ($10^{-14} M_{\odot}/\text{ano} \times 10^{14} \text{ anos} = 10^0 M_{\odot} \equiv 1 M_{\odot}$). Mas mui-

to antes disso, em poucos bilhões de anos, ele já terá evoluído e alterado até mesmo essa taxa de perda de massa. Nesse caso, o número atual só indica que em um tempo relativamente curto a perda de massa não influencia muito a vida dele. Em 10^6 anos (1 milhão de anos), por exemplo, ele terá perdido cerca de 10^{-8} da sua massa: apenas 0.000001%. Apesar dessa pequena taxa, o vento solar tem um impacto considerável no sistema solar. São milhões de toneladas de gás por segundo lançadas no espaço interplanetário.

O vento solar às vezes sofre alguns "surtos" sob a forma de ejeções de gás mais intensas em algumas direções. São as chamadas ejeções de massa coronal ou CMEs (*coronal mass ejections*). Se tais ejeções encontram a Terra em seu caminho podem produzir perturbações geomagnéticas importantes, resultando nas famosas auroras boreais e austrais. Graças ao campo magnético terrestre, estamos relativamente protegidos. Todavia, sabemos de eventos passados que uma grande CME direcionada à Terra pode ocasionar apagões e influenciar diversos sistemas eletrônicos. Podemos ter a interrupção de sistemas GPS e de cabos de comunicação, danos em satélites, entre outras coisas. O mundo atual se apoia em componentes eletromagnéticos e perturbações geomagnéticas são portanto preocupações genuínas. Por todas essas razões, hoje em dia fa-



Acima

Imagem do vento solar feito pela sonda STEREO (*Solar Terrestrial Relations Observatory*) em 2013. O Sol é ocultado no centro devido ao seu brilho, para evidenciar o vento. Uma CME pode ser identificada na parte superior esquerda (Crédito: NASA).

lamos sobre o *clima espacial*, que se refere às condições dinâmicas nas redondezas da Terra, que podem influenciar nosso planeta. O Sol não é tão perfeito como podemos supor. Não é uma esfera perfeita, estática e distante que nos influencia somente com a sua luz. Ele perde massa (possui um vento) e apresenta muitas vezes fenômenos violentos que podem afetar a Terra e os demais corpos do sistema solar.

Nesse mesmo contexto de vento e meio interplanetário, temos a questão dos exoplanetas. Como devem ser os ventos e as CMEs das estrelas que possuem planetas descobertos recentemente? Eles podem afetar a atmosfera dos planetas e o surgimento da vida?

Os planetas têm campos magnéticos importantes para se “proteger” como no caso do nosso campo geomagnético? Essas perguntas atualmente são tópicos de pesquisa.

O vento solar ainda apresenta questões não respondidas que desafiam os cientistas. Mas existem ainda os ventos de outros tipos de estrelas. Como eles são? São acelerados pelo mesmo mecanismo físico? Qual é a taxa de perda de massa nos diferentes tipos de estrelas? A evolução delas é afetada com esses ventos?

De fato, existem vários tipos de estrelas com diferentes tipos de ventos. Em geral, para estrelas jovens, podemos dizer que se possuem baixa massa como o Sol possuem então ventos relativamente fracos. Por baixa massa queremos dizer massa menor que aproximadamente 10 vezes a massa do Sol. Com vento relativamente fraco queremos dizer que a perda de massa não altera substancialmente a evolução do objeto em pouco tempo. No caso de estrelas de alta massa — massa maior que cerca de $10 M_{\odot}$ — a situação é bem diferente.

Estrelas de alta massa possuem em geral ventos muito mais intensos do que o observado no Sol. Podem alcançar taxas de até uns $10^{-4} M_{\odot}/\text{ano}$. Ou seja, em apenas 10^4 anos (10 mil anos) a estrela pode perder 1 massa inteira do Sol via vento. Essa taxa corresponde a um vento 10 bilhões de

vezes mais intenso do que no Sol. Se o nosso clima espacial já é bastante afetado por um vento relativamente fraco, um vento dessa intensidade seria catastrófico. Felizmente não temos esse problema e não há a previsão que o Sol aumente significativamente a intensidade de seu vento, pelo menos não tão cedo. Próximo do final de sua vida, em alguns bilhões de anos, isso irá acontecer.

Com ventos intensos, a taxas típicas de 10^{-9} até $10^{-4} M_{\odot}/\text{ano}$ (lembre que nosso Sol tem taxa de $10^{-14} M_{\odot}/\text{ano}$), estrelas de alta massa têm um enorme impacto no meio interestelar. Esses ventos podem formar bolhas quando encontram gás interestelar, verdadeiros espetáculos que já foram fotografados inúmeras vezes por telescópios espaciais e terrestres. Dadas as distâncias envolvidas, tais estruturas não podem ser vistas a olho nu.

A quantidade de matéria perdida pelos ventos das estrelas de alta massa é realmente notável. Uma estrela de cerca de 40 vezes a massa do Sol pode chegar a perder ao longo de sua vida mais da metade de sua massa via vento. Do ponto de vista evolutivo, isso significa mudanças estruturais importantes. Ou seja, entender um objeto desse tipo sem considerar a existência de um vento é impossível. Somente quando os ventos foram adicionados às equações de estrutura e evolução estelar os resultados teóricos fo-

ram corroborados pelas observações. De fato, a existência de alguns objetos só pode ser explicada com a perda de matéria através dos ventos (por exemplo, as estrelas Wolf-Rayet).

A química e a energia adicionada ao meio interestelar são outras características importantes. Como se trata do próprio gás da estrela, se este é enriquecido em metais, irá enriquecer o meio interestelar ao longo do tempo. E, do ponto de vista energético, esse gás relativamente denso alcança velocidades de milhares de quilômetros por segundo (o do Sol, algumas centenas de km/s). Sendo assim, os choques com o meio circundante são intensos e podem produzir estruturas observáveis importantes do ponto de vista astrofísico (p.e., *bow shocks*, cavidades, bolhas). A energia depositada pelo vento ao longo de toda a vida de uma estrela de alta massa chega a equivaler à energia de uma supernova. E como esses objetos viram supernovas em suas fases finais, é como se uma estrela em poucos milhões de anos depositasse duas supernovas no ambiente, em termos de energia: uma ao longo do tempo e outra de fato, subitamente, ao explodir. Todos esses efeitos são fundamentais não só para o entendimento da astrofísica estelar, mas também para a astrofísica galáctica e extragaláctica. Afinal, a influência no meio circundante é muito grande.



Acima

Imagem de uma aurora vista do espaço, a partir da estação espacial internacional. Os painéis solares da estação podem ser vistos à esquerda. Auroras são produzidas quando o vento do Sol sofre intensificações em determinadas direções, eventualmente atingindo a Terra (Crédito: NASA, ISS).

Mas qual é a origem dos ventos estelares? O que faz com que o gás das partes mais externas de uma estrela seja ejetado continuamente para o espaço? Para responder essas questões os astrofísicos utilizam as equações da hidrodinâmica.

Em todas as situações a gravidade puxa o gás estelar (massa) e esse resiste à compressão. Em equilíbrio, tais forças são equivalentes e se anulam: uma força para dentro da estrela (gravidade) e outra para fora (o gradiente de pressão do gás), como num cabo de guerra. Mas em várias situações existem forças extras em ação. Dependendo do tipo de ob-

jeto, podemos ter contribuições importantes da força centrífuga (objetos que giram rapidamente), força radiativa (que é a luz estelar/fótons empurrando o gás), força de Lorentz (nos objetos com campo magnético), entre outras. Assim, a força resultante pode ser não nula e o gás pode então acelerar para fora da estrela — um vento é produzido. Estrelas com ventos são, portanto, laboratórios naturais para aplicarmos a hidrodinâmica.

"De perto, ninguém é normal". Com ciência e tecnologia conseguimos ganhar bastante entendimento sobre as estrelas. Não são iguais, estáticas, eternas e perfei-



tas como muitas vezes imaginadas. A maioria das estrelas possui um vento. E esses ventos importam em vários contextos. É uma área de pesquisa que continua bastante ativa em astrofísica. A partir de 2020 por exemplo, centenas de órbitas do telescópio espacial Hubble foram dedicadas à observações de estrelas de alta massa em galáxias vizinhas da Via Láctea — o projeto ULLYSES. Um grupo internacional de pesquisadores trabalhará continuamente com esses dados ao longo dos próximos anos com o objetivo de entender melhor os ventos e a evolução estelar em ambientes dis-

tintos daqueles encontrados na Via Láctea •

Wagner Marcolino
Univ. Federal do Rio de Janeiro
wagner@astro.ufrj.br

Acima
Formação de arcos e bolhas pela ação dos ventos das estrelas do Trapézio, no coração da nebulosa de Órion. Imagem do telescópio espacial Hubble (Crédito: NASA/ESA).



Entrevista

Miriani PastORIZ

Nesta edição, entrevistamos a Prof.^a Miriani Griselda Pastoriga.

Miriani nasceu em Loreto, na província de Santiago del Estero, na Argentina, na véspera do Natal de 1939. Sua ligação com a Astronomia começou desde a infância, quando dormia com a família sob o céu estrelado para fugir do calor no verão. Ela ingressou na licenciatura em Astronomia, no Instituto de Matemática, Astronomía y Física da Universidade de Córdoba em 1958, e finalizou a graduação em 1965. Seu doutorado veio em 1973, também pela mesma universidade, sob a orientação de J. L. Sersic, durante o qual demonstrou pela primeira vez na literatura a existência de regiões de formação estelar no núcleo de galáxias brilhantes, que passaram a ser denominadas galáxias Sersic-Pastoriga. Durante sua carreira, Miriani recebeu várias homenagens no Brasil e na Argentina, das quais destacamos a Ordem Nacional do Mérito Científico na Categoria Comendador em 2008 e o título de Doutora *Honoris Causa* pela Universidade de Córdoba em 2018, celebrando não apenas o impacto de suas descobertas mas também o pioneirismo como primeira astrônoma a se graduar nessa universidade. Em 2014, foi agraciada com o título de Professora Emérita da UFRGS. Ela é membro titular da Academia Brasileira de Ciências desde 2007, além de participar da Academia de Ciências Físicas y Naturales da Argentina, Sociedade Astronômica Brasileira, Asociación Argentina de Astronomía e da International Astronomical Union. Já atuou em estágios de pesquisa na Universidade do Texas, no Observatório Real de Greenwich, no Instituto de Astrofísica de Canarias, no Space Telescope Science Institute, entre outros. Desde 2009 está aposentada pela UFRGS, mas ainda atua nesta universidade como professora colaboradora e inspira jovens que buscam a carreira astronômica. Miriani fez a gentileza de responder nossas perguntas e dividir com nossos leitores algumas de suas impressões e lembranças.

za

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

Meu desejo de ser astrônoma nasceu quando eu tinha 7 ou 8 anos. Nasci em um povoado, Lorteo, no interior da Província de Santiago del Estero, na Argentina. Naquela época, 1947, era a região mais pobre do país, com clima e paisagem semelhantes ao Sertão Nordestino. No verão o calor chegava a 47° C, não tínhamos ventiladores e não havia aparelhos de ar condicionado. Minha mãe arrumava as camas no pátio, que o interior da casa ficava insuportavelmente quente. Para mim, foram noites especiais porque pude contemplar o céu estrelado. Acho que foi assim que nasceu meu interesse pela ciência, porque comecei a ler na biblioteca da cidade livros sobre as constelações, e naquelas noites mostrava às minhas irmãs o nome das constelações: Cruzeiro do Sul, Alfa e Beta do Centauro, etc. Minha mãe comprava para nós duas revistas infantis *Billiken* e o *Mundo Infantil*. Em um dos números apareceu como se formaram os planetas e sobre a origem do universo. Aquelas leituras de infância sobre os mistérios do universo me ajudaram a tomar a decisão de ser astrônoma.

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

Quando eu tinha 13 anos, li um livro que me fascinou: *La hipótesis del átomo primitivo*, no qual se explicava como o universo se expandiu a partir de um primeiro átomo. O autor Georges Henry Joseph Édouard Lemaître, (1894-1966), matemático, astrônomo e professor de Física na Universidade Católica de Lovaina, foi para mim uma inspiração. Gostaria de falar algo sobre Lemaître, porque foi o primei-

ro cientista a propôr a expansão do Universo a partir de uma singularidade, o que é erroneamente atribuída a Edwin Hubble. Lemaître em 1930 publicou no *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* um artigo onde propôs que o Universo se originara em uma singularidade, a qual ele a chamou de Átomo Primitivo ou Ovo Cósmico. Posteriormente, em 1931 publicou seus estudos na *Nature*. Sua teoria foi fortemente criticada por astrônomos como Fred Hoyle quem ironicamente a denominou “Big Bang”; este nome daria posteriormente sucesso à teoria de Lemaître. Entre outros grandes cientistas críticos à teoria do “Átomo Primitivo e a grande explosão” estava Einstein; porém em seu último encontro com Lemaître reconheceu que do ponto de vista matemático ela era possível. O preconceito dos cientistas sobre a teoria de Lemaître era porque sendo sacerdote, poderia querer introduzir cientificamente a ideia da Criação, de Deus, o que ele negou em varias entrevistas a jornais. Sua história de vida é um exemplo de cientista que luta para demonstrar que a ciência esta muito além dos preconceitos, sejam estes de religião, raça ou de sexo!

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

Eu fui para a escola primária e secundária sabendo o que queria estudar. O único lugar onde você poderia estudar Astronomia na Argentina era na Universidade de La Plata. Era muito longe e viver lá seria muito caro: minha mãe, professora e viúva, não tinha como pagar, mas quando eu estava no quarto ano da escola normal, em 1957, foi criado o Instituto de Matemática, Astronomia e Física da Universidade de Córdoba (IMAF, atualmente FAMAF). Para entrar, os alunos tinham que passar um



Acima: Miriani Pastoriza, como estudante no Instituto de Matemática, Astronomia e Física da Universidade de Córdoba.

exame de matemática. Numa das primeiras aulas, o professor começou a falar sobre seno, cosseno, trigonometria. Eu não entendia nada, meu nível de matemática era muito inferior ao dos meus colegas que já conheciam cálculo numérico, integrais, derivadas. Neste momento entendi que teria muitas dificuldades, porém não desisti. Com um grupo de colegas nos trançamos em uma casa a estudar durante o mês de janeiro de 1959, e conseguimos a aprovação no exame de ingresso ao IMAF. Na turma de 40 alunos havia 5 mulheres; só uma (eu) queria estudar astronomia. Chorei muito, sofri porque você chega a Córdoba e... você é "santiaguinha", uma "cabecita negra" e, ainda por cima, uma mulher. Eu aprendi que para me impor e para as pessoas acreditarem que eu tinha capacidade, tinha que mostrar muita convicção, muita força. Fui a primeira mulher a

formar-me em astronomia pelo IMAF. Depois fiz o doutoramento, orientada pelo Dr. José Luis Sércic, em astronomia extragaláctica, e defendi a minha tese, em 1973. A resposta à tua pergunta: se tivesse que recomeçar, faria o mesmo, não poderia ser de outra forma porque me sinto realizada com cientista e professora.

(RBA esclarece: a expressão cabecita negra era uma forma pejorativa usada na Argentina pela oligarquia local para se referir à classe mais pobre.)

RBA: Como você vê a formação atual de físicos e astrônomos? Na tua opinião faz sentido ter dois cursos separados, de física e de astronomia?

Recentemente ministrei uma aula no minicurso de Física (PET UFMS) sobre "A história da Astronomia no Brasil e no Rio Grande do Sul". Então tive a oportunidade de rever os cursos de graduação e pós-graduação em astronomia. A maioria dos cursos de pós-graduação em astronomia e astrofísica no Brasil, exceto uns poucos, são cursos de pós-graduação dentro dos programas de pós-graduação em Física. Significa então que a base curricular da matemática e da física são os mesmos que os da Física, excluindo as especialidades. Acho que só há graduação em Astronomia na UFRJ, USP e recentemente na UFRGS, mas nos três casos as cadeiras de física e matemática são iguais à que os físicos veem. Porém têm várias cadeiras de astronomia. Minha experiência como professora na graduação e pós-graduação é que se você quer formar astrofísicos eles têm que ter conhecimentos básicos de astrofísica, saber o que são coordenadas astronômicas, o que é uma magnitude, evolução estelar, atmosferas estelares, etc etc... Não é possível alguém ter um Ph.D. em Astrofísica e pós-doutorado em

uma renomada universidade americana ou inglesa e não saber o que é ascensão reta e declinação de um astro ou como construir a curva de rotação de uma galáxia, o que é módulo de distância, ... Acredito que dar um tema de tese de astrofísica para um aluno, que não tem noções básicas do que ele está estudando, frequentemente o leva à desistência de continuar seus estudos. Um ponto importante a destacar: antigamente uma tese de doutorado era responsabilidade do futuro Ph.D. em astrofísica, atualmente o requisito é uma publicação que pode ser em coautoria com mais 20 pessoas. Como avaliar a parte que corresponde ao trabalho do estudante, e ele conhece como sua pesquisa, quando está contida em um projeto maior? Acredito que precisamos pensar mais na formação do estudante do que nas exigências da CAPES. Em minha opinião os cursos de Física e Astronomia podem ser ou não separados, desde que o estudante tenha uma boa formação em Física, Matemática e, obviamente, Astronomia.



Acima: O Grupo de Astronomia Extragaláctica liderado por J. L. Sérsic. Da esquerda para direita, estudantes: Horacio Dottori e Estela Aguero, Dr. J. L. Sérsic, Dr. Landi (Diretor do Observatório) Astrônomo Mc Ligch, Licenciados Gustavo Carranza, Miriani Pastoriza e a secretaria do Grupo Mary Pizarro.

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

Todos os trabalhos que fiz me deram prazer,

pois em cada um deles procuro sempre uma resposta, mas sem dúvida os que fiz durante a minha tese de doutorado foram os mais significativos. Eles se baseiam em observações realizadas com câmera fotográfica e espectrógrafo nebuloso no foco newtoniano do telescópio de 1,60 m da Estação Astrofísica Bosque Alegre, na serra de Córdoba. Durante 7 anos, todas as semanas de lua nova eu observava galáxias espirais, a região nuclear, primeiro com imagens de baixa exposição (10 minutos) e depois espectros com 3 horas de exposição. Os "detectores" eram placas de vidro recobertas por uma emulsão de prata; ao revelar na sala escura, as partes da placa que recebiam mais luz eram mais escuras. No inverno a temperatura chegava a -3° C. Para observar no foco Newtoniano, tínhamos que subir em uma plataforma até a ponta do telescópio a uma altura de 5 m. A abertura da cúpula nos permitia ver o céu estrelado, a sensação que tínhamos era de um contato direto com a natureza. Eu comecei a observar para meu trabalho de conclusão de curso, orientada por José Luis Sérsic. Ele me propôs observar a região nuclear de galáxias espirais do Hemisfério Sul mais brilhantes que a magnitude 12, com placas de curta exposição. Baseávamo-nos num artigo publicado em 1958 na *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, no qual o astrônomo americano W. W. Morgan reportava que as galáxias NGC 1097 e NGC 1365 tinham um anel com condensações que ele chamou de *Hot Spot*. Nossos dados levaram à descoberta de mais 15 galáxias desse tipo, que chamamos *galáxias com núcleo peculiar* (L. Sérsic & M. Pastoriza 1965, *PASP*, 7, 87). Nesse trabalho mostramos a associação entre galáxias com núcleo peculiar e galáxias espirais com barra. Posteriormente e durante meu doutorado, utilizando espectros, demonstrei que as condensações chamadas de *hot spot*, na verdade eram regiões de forma-

ção estelar. Pela primeira vez na literatura, a existência de regiões de formação de estrelas no núcleo de galáxias é demonstrada (Pastoriza 1975, Ap&SS, 173).



Acima: no Museu Domingo Faustino Sarmiento em Buenos Aires (Crédito: Mauro Rico / Secretaría de Cultura de la Nación).

RBA: Você prefere trabalhar sozinha ou em grupo ?

Prefiro trabalhar em grupos pequenos e com pessoas com quem tenho relacionamento direto, por exemplo, alunos, ex-alunos, colegas do Brasil ou do exterior mas que conheço pessoalmente.

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

Eu penso que a comunidade astronômica brasileira é competitiva. Logicamente existem diferentes níveis de desenvolvimento no país. Instituições como o IAG, ON, INPE e os grupos de pesquisa das Universidades Federais UFRJ, UFRGS, UFRN, UFMG, UFSC, UFSM, Mackenzie, possuem em seus quadros pesquisadores de alto nível reconhecidos internacionalmente. Muitos outros grupos UNIVAP, FURG e grupos emergentes apresentam crescimento significativo. Gostaria de fazer uma menção es-

pecial para o LNA, que com um número reduzido de astrônomos e técnicos além de recursos cada vez menores, consegue manter a infraestrutura do Pico dos Dias, administrar a parte brasileira do Gemini e do SOAR e ainda fazer pesquisas. A participação da FAPESP no consórcio do Telescópio Gigante Magalhães — GMT — e outros projetos de grande porte, estimulará um progresso significativo em várias áreas da astrofísica. Somos competitivos? Se nos compararmos com o nível alcançado por outros países, responderíamos que ainda nos falta, porém é importante não perder de vista que temos recursos muito menores que eles e que a história da pesquisa em Astrofísica no Brasil é recente (começou em 1970). Podemos melhorar, ser mais competitivos? Podemos, para isso é necessário nos envolver em grandes projetos internacionais, mas sem descuidar da formação dos alunos, e sempre pressionar aos governos por mais recursos para educação e a pesquisa.



Acima: Observando galáxias no telescópio de 1 m em Cerro Tololo, em 1986.

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 ?

Acho que, se tivéssemos entrado no ESO, sem dúvida estaríamos em um nível mais alto do que agora. Infelizmente isso não aconteceu naquele momento em que estávamos quase lá dentro. Algo que temos que entender é que não devemos nos impor limitações financeiras para participar do projeto A ou B. Temos sim que tentar participar do projeto A e B, porque o dinheiro que não vai para a ciência também não vai para a saúde ou para Educação. Certamente irá para algum fundo perdido que não beneficiará a população.

RBA: Existem pelo menos duas maneiras de entender o desenvolvimento da ciência: uma onde a ciência progride através de quebras de paradigma (Thomas Kuhn) e uma outra que diz que as mudanças ocorrem muito mais devido às transformações dos estilos de pensamento, que são resultado de um crescimento histórico e socialmente condicionado, formando um tecido entrelaçado pelo contato de seus representantes humanos (Ludwik Fleck). Como você o progresso da ciência diante destas duas perspectivas?

Tenho muito pouco conhecimento das obras de Kuhn e Fleck para dar uma opinião sobre a evolução da ciência do ponto de vista de um



Acima: Cerimônia de emergência de Miriani Pastoriza na UFRGS.

ou outro autor. Minha humilde opinião é que a evolução da ciência tem a ver com a evolução do conhecimento científico, desenvolvido por várias gerações e intimamente relacionado ao desenvolvimento social em determinados momentos da história. O gênio de Newton teria sido possível sem a existência de Tycho Brahe, Kepler outros físicos e matemáticos que o precederam? Eu acho que seria improvável. Acho que a comunidade científica pode se propor a resolver problemas, por exemplo, agora, qual é a natureza da matéria escura? Existem milhares de cientistas trabalhando no assunto, e o problema será resolvido, quando algum cientista tiver a capacidade de acumular e digerir todas essas informações, ou seja, agregar sua genialidade aos conhecimentos anteriores.

RBA: O que continua mantendo sua paixão pela astronomia ?

Essa pergunta eu me faço agora aos 81 anos e aos 20. É uma paixão à primeira vista, poucas coisas me emocionam tanto quanto contemplar o céu estrelado, minha imaginação voa muito longe •

Miriani foi entrevistada por Reinaldo Ramos de Carvalho em dezembro de 2019.

No Rádio

com Cid Moreira & Amigos

Ouçã diariamente a Rádio Conhecer.
Música de qualidade e diversos
conteúdos do conhecimento.

www.radioconhecer.com.br

"Inspirando e Transformando Atitudes."



Rádio
Conhecer
.com.br





1I/ʻOumuamua

Nosso primeiro visitante interestelar

Pela primeira vez um corpo formado em outro sistema estelar foi observado cruzando o Sistema Solar. ʻOumuamua é um mensageiro distante que tem muito a nos ensinar sobre o passado da Galáxia.

Não são poucas as descobertas e conquistas que a Astronomia tem vivido nos últimos anos.

Em 2013 lançamos um telescópio espacial que está mapeando mais de 1 bilhão de estrelas; em 2015 tivemos a primeira observação direta de ondas gravitacionais; em 2018, a primeira foto de um buraco negro; e em 2020 uma ainda controversa detecção de fosfina na atmosfera de Vênus. Bem no meio disso tudo, uma descoberta

igualmente importante pode ter passado despercebida por muitos leitores: a primeira passagem observada de um visitante interestelar pelo Sistema Solar.

Mas não estamos falando da visita de homenzinhos verdes ou de Vogons abrindo caminho para uma via expressa intergaláctica, e nem mesmo de um objeto interestelar de origem artificial (apesar de ainda ter quem defenda essa ideia). Estamos falando do 1I/ʻOumuamua, o primeiro “asteroi-

de” de origem extrassolar, descoberto próximo da Terra em 2017, e que agora já se encontra além da órbita de Urano, deixando o nosso sistema em altíssima velocidade para nunca mais voltar.

Para entender a importância dessa observação, é preciso falar um pouco sobre a formação de estrelas e sistemas planetários — o mesmo processo através do qual se formou o Sol e os planetas, incluindo a Terra. Esse processo de formação se inicia com o colapso gravitacional de um fragmento de uma grande nuvem de gás, as nuvens moleculares. Essas nuvens também são chamadas de berçários estelares e chegam a ter até 10 milhões de vezes mais massa do que o Sol.

Durante o colapso, a maior parte da matéria se concentra no centro e dá origem à estrela do sistema planetário (ou às estrelas, no caso de sistemas múltiplos). Ao redor, forma-se um disco de acreção, que chamamos de disco protoplanetário, uma vez que constitui o material que dará origem aos planetas. Mas não é somente os planetas que se formam a partir desse disco: são os planetas, planetas-anões, as luas, os cometas, os asteroides, e até mesmo, a gente. Basicamente tudo aquilo que vimos até hoje no Sistema Solar fez parte dessa mesma nuvem de gás que colapsou para formar o Sol. Tudo, menos 1/Oumuamua.

Esse asteroide solitário atravessou o meio interestelar ao longo

de milhões de anos até finalmente cruzar o caminho do Sol. É um verdadeiro mensageiro do espaço. Suas características e sua composição carregam informações detalhadas da natureza de um sistema estelar longínquo, e as colocam ao alcance dos nossos instrumentos. É a única forma que temos hoje de acessar diretamente o material originado em outros sistemas estelares — e continuará sendo, até que sejamos capazes de desenvolver tecnologias que sequer já foram imaginadas. Não é à toa que ele recebeu a denominação *'Oumuamua*, nome de origem havaiana que significa, em tradução livre do inglês: “O mensageiro distante que chegou primeiro”.



A Descoberta

Também não é por acaso que uma etimologia de origem havaiana tenha sido escolhida para batizá-lo. Trata-se de uma homena-

Na página anterior

Impressão artística representando o asteroide 1I/Oumuamua em aproximação ao Sol (Crédito: Hubble, ESA).

Abaixo

Nuvem molecular Taurus 1. Nessas nuvens densas e frias, há condições propícias para a formação de estrelas (Crédito: Kees Scherer/Flickr).

gem ao local onde se encontra o telescópio utilizado para realizar sua descoberta: o PS1 localizado em Haleakala, Hawaii, e que faz parte do projeto Pan-STARRS.

Entre seus vários objetivos científicos, que vão desde o estudo da estrutura do Universo em larga escala à formação e evolução de estrelas da Vizinhança Solar, o principal é a detecção e monitoramento de asteroides com potencial de colisão com a Terra. Sendo 90% do tempo do telescópio utilizado para fazer uma varredura recorrente de todo o céu do Hemisfério Norte, ele usa a estratégia ideal para descobrir novos corpos que se aproximam de nosso planeta.

A princípio a descoberta e catalogação de 'Oumuamua seguiu o mesmo procedimento usual das dezenas de asteroides que são observados todos os dias. Sua posição ao longo da noite foi sendo comparada à das estrelas de fundo (que aparentam estar imóveis com relação aos corpos que se

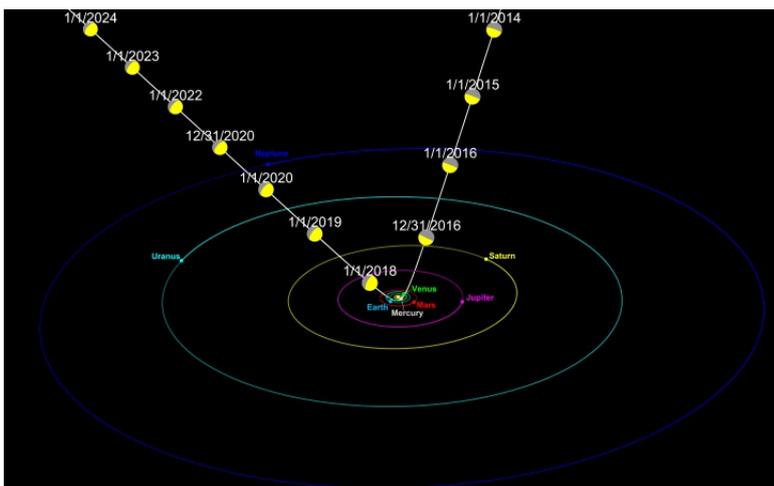
movem no Sistema Solar), e sua trajetória aparente foi utilizada para computar sua órbita ao redor do Sol. Até então nada fora do comum. Mas entre as diversas linhas e colunas que registravam a observação, um único número chamou a atenção dos astrônomos que realizavam o estudo: sua excentricidade orbital valia 1.1897 (valor que foi posteriormente recalculado em 1.1994).

Grosso modo, uma excentricidade igual a 0 significa uma órbita perfeitamente circular, e uma excentricidade igual a 1 significa uma trajetória em linha reta. Os corpos do Sistema Solar apresentam excentricidade entre 0 e 1. Já para o caso de 'Oumuamua, uma excentricidade maior do que 1 significa que ele não está gravitacionalmente ligado ao Sol, ou noutras palavras, ele não segue uma trajetória fechada em torno do Sol. É possível ainda demonstrar que essa trajetória segue a forma de uma parábola: ele vem de uma determinada região do céu, sofre um desvio devido à influência gravitacional do Sol, e segue em direção a outro ponto, afastando-se indefinidamente do Sistema Solar.

Neste primeiro momento, o valor obtido para a excentricidade ainda poderia ser uma simples flutuação estatística, resultado do pequeno número de observações realizadas até então. Ainda assim foi mais do que o suficiente para acender todos os sinais de alerta

Abaixo

Órbita de 1I/'Oumuamua através do Sistema Solar. A alta excentricidade e inclinação de sua órbita mostrou que esse asteroide provém do meio interestelar (Crédito: Tom Ruen/Wikimedia Commons).



que eram esperados para esse tipo de descoberta: “*Novas observações são muito desejáveis (...) se confirmado, poderá ser o primeiro caso de um cometa interestelar*”, é o que lemos no relatório da observação.

E novas observações foram feitas. Não apenas pelo PanSTARRS, mas por todos os principais telescópios do mundo. Os projetos que estavam em andamento foram remanejados e 'Oumuamua ganhou prioridade absoluta. Nos dias que se seguiram, os telescópios CFHT (de 3.6 m de diâmetro), VLT (quatro telescópios de 8.1 m), Gemini Sul (8.1 m) e Keck (dois de 10 m), entre muitos outros, realizaram tantas observações quanto foram possíveis. Tudo isso porque, dada a natureza de sua órbita parabólica, 'Oumuamua só permaneceu próximo da Terra, e brilhante o suficiente para ser estudado, por um pequeno período de tempo: de sua descoberta em 19/10/2017 a 27/10/2017, quando deixou de ser visível pelos observatórios terrestres. Seguiu ainda sendo observado pelos telescópios espaciais Hubble e Spitzer, até o fim de 2017, e desde então se encontra fora do alcance de todos os nossos instrumentos. Foi durante esse intervalo que foram produzidos os dados que estão sendo estudados até hoje.

Origem e Natureza

Uma das principais questões que buscamos compreender se refere à origem de 'Oumuamua. Desde

o início descartou-se a possibilidade de se tratar de um corpo do próprio Sistema Solar, que, em colisão ou interação gravitacional com outro, tivesse adquirido velocidade suficiente para ser ejetado do nosso sistema — algo que inclusive já foi observado. Mas no caso de 'Oumuamua, sua alta inclinação orbital, somada a uma grande velocidade relativa ao centro de massa do Sistema Solar, tornam essa hipótese incompatível com o espalhamento que poderia ser causado pelos corpos celestes conhecidos. Considerando ainda as demais características que veremos a seguir, sua origem extrasolar segue inquestionada.

O que nos leva a novas perguntas: qual é então o seu sistema estelar de origem? É possível traçar a trajetória de 'Oumuamua até ele? Por quanto tempo ele vagou pelo espaço até atravessar o Sistema Solar? O Sol foi a primeira estrela que ele encontrou em seu caminho?

Essas foram algumas das perguntas que guiaram os primeiros estudos, principalmente por dependerem apenas do conhecimento de sua trajetória espacial, a característica melhor conhecida até então. Alguns autores, na tentativa de encontrar o seu sistema de origem, chegaram a computar as órbitas de centenas de milhares de estrelas no passado. A comparação com a órbita prevista para o 'Oumuamua resultou em cerca de 100 candidatas, mas todas



Acima
Representação artística de 1I/'Oumuamua (Crédito: ESO/M. Kornmesser).

com resultado inconclusivo (devido principalmente às inevitáveis incertezas observacionais com relação à distância e velocidade de deslocamento das estrelas). A possibilidade do Sol ser a primeira estrela visitada por 'Oumuamua é praticamente dada como certa, se não por evidências, pelo menos por uma questão puramente estatística: a densidade de estrelas é tão baixa, que cada asteroide interestelar só deve ter encontros gravitacionais desse tipo uma vez a cada intervalo da ordem de 10 bilhões de anos (comparável a idade do Universo). Inversamente, a densidade de asteroides interestelares é tão alta, que uma estrela deve cruzar o caminho de bilhões deles ao longo de sua vida: inclusive, já em 2019, foi observa-

do o segundo asteroide interestelar, denominado 2I/Borisov.

Em particular, a pergunta a respeito do tempo em que ele se encontra vagando pelo espaço foi o foco de uma pesquisa que desenvolvi juntamente com H. J. Rocha-Pinto. Publicamos uma análise da órbita do 'Oumuamua ao redor da Galáxia, anterior ao seu encontro com o Sistema Solar. Comparamos as características da órbita com a de estrelas de diferentes idades (que possuem uma tendência a apresentar uma trajetória cada vez menos circular conforme envelhecem) e fomos capazes de concluir que sua órbita galáctica é compatível com ele ser proveniente de uma estrela jovem, particularmente com idade entre 0 e 2.14 bilhões de anos. Fornecemos

então uma importante restrição à seleção de estrelas candidatas a serem a origem de 'Oumuamua, além de ser também uma estimativa do tempo no qual ele esteve submetido às intempéries do meio interestelar.

Falando em sua superfície, este foi o foco (e continua sendo) dos estudos subsequentes. Através da análise de sua curva de luz (correspondente à variação de seu brilho com o tempo), foi possível determinar seu formato, dimensão e modo de rotação. Um excelente feito, se levarmos em conta que 'Oumuamua não aparece como muito mais do que um borrão de 8×8 pixels, que se comporta como uma fonte puntiforme mesmo nas melhores observações, e que todas essas informações são obtidas não pela imagem do asteroide em si, mas pela forma como a reflexão da luz solar em sua superfície varia ao longo do tempo. A partir dessa análise foi possível concluir que 'Oumuamua apresenta um formato alongado, com comprimento entre 100 e 1000 m e razão entre largura e comprimento entre 1:6 e 1:8, uma diferença mais extrema do que qualquer corpo do Sistema Solar (mas que pode ser explicada como resultado da colisão de micropartículas presentes no meio interestelar ao longo de centenas de milhões de anos). A curva de luz também revela que sua rotação é triaxial, um possível resultado da colisão que causou sua e-

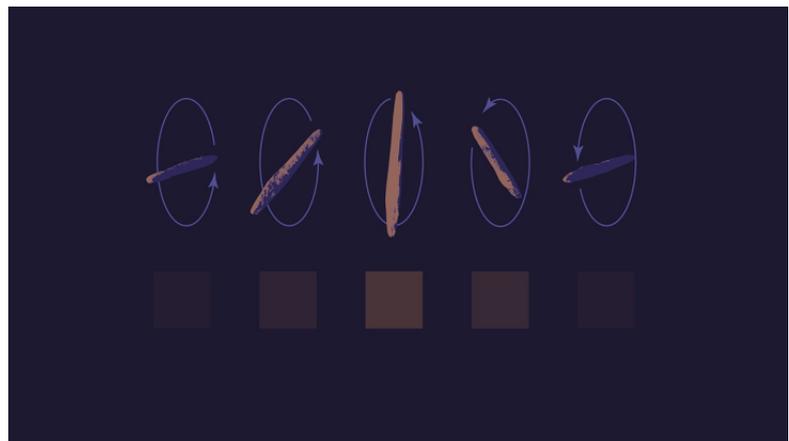
jeção do sistema de origem.

Controvérsia

No fim das observações, sua trajetória apresentou discrepâncias com relação a uma trajetória perturbada puramente pelos efeitos gravitacionais dos corpos do Sistema Solar, o que levou um par de cientistas a sugerir que 'Oumuamua se trata de um artefato construído por uma civilização inteligente e que faz uso de um mecanismo conhecido como vela solar, que estaria se aproveitando da pressão de radiação emitida pelo Sol para adquirir mais velocidade. Além de ser um tremendo salto conclusivo, ele não é sequer respaldado pelas demais observações, uma vez que o mecanismo não funcionaria considerando-se sua rotação triaxial. Outros estudos mais recentes analisaram diversas possíveis causas (incluindo também a pressão de radiação solar), e concluíram que a perda de massa por atividade cometária, algo comumente observado em diversos astros do Sis-

Abaixo

O formato e período de rotação de 'Oumuamua foram estimados através da variação de seu brilho, que ocorre devido a uma maior, ou menor, refletância dos raios solares dependendo de sua orientação. Nessa reconstrução gráfica observamos alguns exemplos deste fenômeno (Crédito: NASA/JPL-Caltech).



tema Solar, já constitui uma explicação fisicamente plausível.

Há de se ressaltar que foram realizadas observações em diversas frequências de rádio em busca de tentativas de contato, sem nenhum resultado positivo. E que uma análise espectroscópica da superfície indicou que 'Oumuamua apresenta composição química compatível com a de asteroides, dando ainda menos credibilidade para afirmações de que possa se tratar de um objeto com origem artificial.

O Futuro

Tudo indica que asteroides interestelares como 'Oumuamua são tão comuns quanto era esperado, e que a ausência de detecções no passado se deve puramente à ausência até então de instrumentos capazes de detectá-los. A descoberta de 'Oumuamua poucos anos após o início das operações do Pan-Starrs, e a ainda mais recente descoberta de 2I/Borisov, corroboram essa hipótese.

A possibilidade de missões para coleta de material *in situ* já vem sendo amplamente discutida para o caso de descobertas futuras de astros nessa categoria, sendo encorajada pelo sucesso de missões semelhantes, como a OSIRIS-REx que coletou material do asteroide 101955 Bennu em outubro de 2020, e que deve pousar na Terra com esse material em 2023. A capacidade de coletar e estudar em laboratório materiais provenien-

tes de outros sistemas estelares será sem sombra de dúvidas um importante marco no desenvolvimento da Astronomia, removendo uma das principais limitações do astrônomo, que é a falta de acesso direto ao seu objeto de estudo. Além disso, a comparação direta com os dados do Sistema Solar tem muito a dizer, inclusive, sobre nós mesmos e nossa posição de mediocridade ou excepcionalidade perante o restante do Universo.

Eu não me espantaria se visse o estudo de objetos de origem interestelar como 1I/'Oumuamua e 2I/Borisov se tornar um novo ramo da Astronomia no futuro próximo, tal como ocorreu com as Astrofísicas Estelar e Extragaláctica no último século, e com a Astrofísica Planetária nas últimas décadas •

*Felipe de Almeida Fernandes
felipe.almeida.fernandes@usp.br
Universidade de São Paulo*

Atmosferas de mundos extremos

Já é possível estudar a atmosfera de alguns dos planetas extrassolares que foram descobertos nos últimos tempos. E a diversidade de condições físico-químicas desses mundos é fascinante!

Uma das principais funções da astronomia como ciência surgiu da necessidade de manter controle do tempo. Os primeiros astrônomos utilizavam as estrelas do céu, presumidamente fixas, para medir a passagem das estações e regular a agricultura. Mas, entre as estrelas fixas, alguns objetos no céu pareciam mover-se com a passagem dos dias e traçavam caminhos previsíveis. Esses objetos

foram então chamados de *planetas*, que literalmente significa “andarilhos”. Os planetas do Sistema Solar são, então, conhecidos desde os primórdios da humanidade. Com o avanço da física e da astronomia, eventualmente descobrimos que esses planetas orbitam o Sol com uma determinada periodicidade: Mercúrio, por exemplo, leva 88 dias para completar um órbita; a Terra, convenientemente, leva um ano; já o



Na página anterior

Concepção artística da superfície e atmosfera de um dos planetas do sistema TRAPPIST 1 (Crédito: ESO/M. Kornmesser).

gigante Júpiter demora quase 12 anos para orbitar o Sol.

Desde então, com o desenvolvimento da física e o nascimento da ciência planetária, astrofísicos descreveram em detalhes toda uma teoria sobre como os planetas se formam e evoluem. Praticamente tudo nessa teoria se encaixava perfeitamente. Mas só até 1995. Nesse ano, quando foi anunciada a descoberta de 51 Pegasi b (atualmente também conhecido oficialmente como *Dimidium*), um planeta fora do Sistema Solar que orbita uma estrela parecida com o Sol, a comunidade astronômica daquela época instantaneamente deu um passo para trás em choque. Esse planeta do tamanho de Júpiter levava meros quatro dias para orbitar sua estrela hospedeira! Tomados por ceticismo, cientistas da época se perguntavam como é possível um planeta gigante gasoso formar-se e sobreviver tão perto de uma estrela quente como o Sol. O que aconteceria na atmosfera de um mundo tão extremo?

Durante o ano seguinte à descoberta de *Dimidium*, esse ceticismo gradualmente desapareceu devido à descoberta de mais 9 planetas extrassolares, todos eles gigantes gasosos em órbitas muito próximas de suas estrelas hospedeiras. Foi aí que nasceu um novo subcampo da astrofísica, a chamada ciência de exoplanetas. Esse ramo da astrofísica, por sua vez, divide a sua comunidade em vários esforços diferentes para estudar

exoplanetas: descobrir novos planetas, medir seus tamanhos, detectar e descrever suas atmosferas, descobrir como eles se formaram, encontrar evidências de habitabilidade, entre outras questões.

Nossos vizinhos mais temperamentais

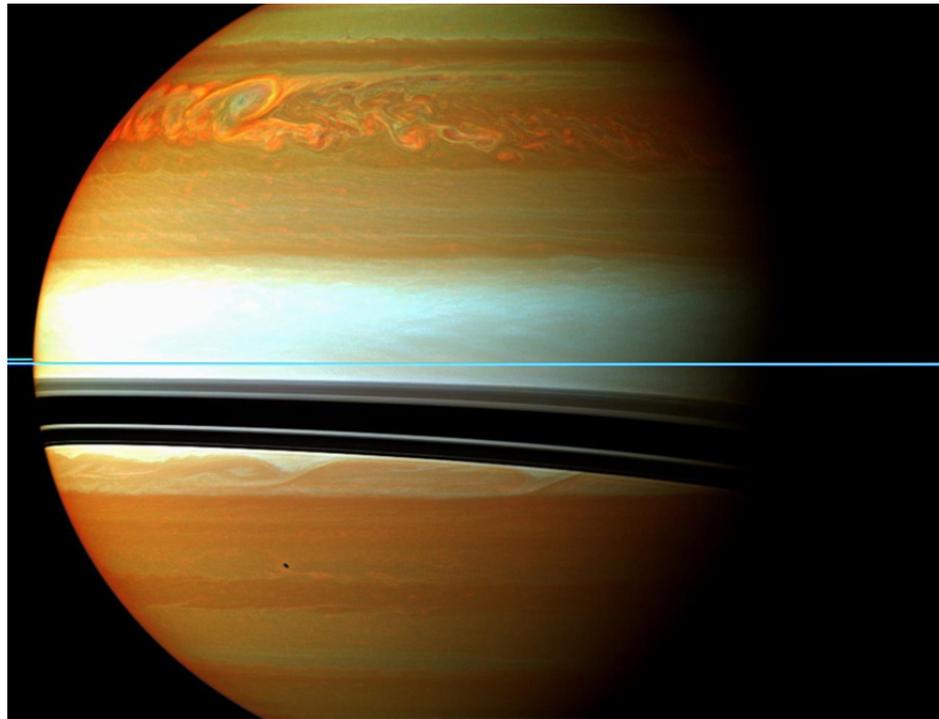
Aqui no Sistema Solar, temos uma gama de diferentes atmosferas. Mercúrio é praticamente nu, circulado apenas por uma fina camada de sódio vaporizado. Vênus possui uma densa camada atmosférica rica em dióxido de carbono, causando um efeito estufa global que esquentou o planeta até quase 500° C em sua superfície. A Terra, por sua vez, tem uma atmosfera formada por nitrogênio, oxigênio, e vapor d'água próximo à superfície; nas partes mais externas, ela é rica em hidrogênio e oxigênio atômicos. O planeta Marte teve uma história complexa, e há evidências de que ele tenha perdido a maior parte de sua atmosfera primordial logo no primeiro bilhão de anos de vida, restando hoje apenas uma camada rarefeita de CO₂. Entre os planetas gigantes Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, essa diversidade diminuiu um pouco: todos eles possuem uma espessa camada formada principalmente por hidrogênio e hélio, presentes aí desde a formação do Sistema Solar. A maior parte do volume e massa dos planetas gigantes é contabilizada por suas atmosferas, que se estendem

por dezenas de milhares de quilômetros até seu manto semi-sólido.

Devido a sua extensão, a atmosfera de um planeta gigante é extremamente dinâmica. Tempestades, furacões, relâmpagos, e ventos de mais de 300 km/h fazem parte do dia a dia de um habitante hipotético desses mundos. A Grande Mancha Vermelha de Júpiter é um exemplo de tempestade persistente e que existe na superfície do planeta desde, supostamente, as primeiras observações em maio de 1664 pelo cientista inglês Robert Hook. Curiosamente, a Grande Mancha Vermelha está encolhendo gradativamente desde o fim do século XX, e parte da comunidade astronômica acredita que ela possa desaparecer dentro de 20 anos. O planeta gasoso Saturno também tem suas usuais tempestades, como o seu famoso hexágono e os ciclones gigantes periódicos que aparecem na sua superfície a cada 30 anos, aproximadamente.

Humanos certamente não conseguiriam sobreviver sem a ajuda de adereços tecnológicos em nenhum dos outros mundos do Sistema Solar. A Lua, Mercúrio e Marte não tem ar para respirar. Em Vênus, a altíssima pressão atmosférica nos esmagaria antes de chegarmos à superfície. Os gigantes gasosos nem mesmo têm uma crosta sólida, e suas tempestades e gases tóxicos tornam suas atmosferas bastante inóspitas. Um caso

interessante é o satélite Titã de Saturno, uma das únicas luas do Sistema Solar a ter uma atmosfera substancial. Apesar de essa atmosfera ser rica em nitrogênio como a da Terra, ela também possui uma quantidade significativa de metano e nenhum oxigênio. Então, não compre suas passagens de férias em Titã por enquanto!



Mundos distantes e extremos

A primeira observação da atmosfera de um planeta fora do Sistema Solar foi feita muito recentemente na história da astronomia. No ano 2000, um grupo de astrofísicos americanos apontaram o telescópio espacial Hubble para o trânsito do exoplaneta HD 209458 b. No estudo publicado em 2002,

Acima

Imagem em cores falsas da rara tempestade gigante em Saturno entre 2010 e 2011 obtida pelo satélite Cassini (Crédito: NASA/JPL-Caltech).

**Acima**

Concepção artística do planeta mais quente que conhecemos, KELT-9 b, orbitando uma estrela gigante azul (Crédito: NASA's Goddard Space Flight Center/Chris Smith, USRA).

eles descobriram que o planeta possui uma camada atmosférica rica em sódio que oculta uma parte específica do espectro da luz de sua estrela hospedeira. Desde então, dezenas de atmosferas alienígenas foram estudadas com telescópios espaciais e, mais recentemente, também com instrumentos instalados na Terra.

Existem várias técnicas para estudar as atmosferas de exoplanetas. A maior parte delas são maneiras indiretas, utilizando mudanças na luz de sua estrela hospedeira para inferir sobre o que acontece nos planetas que a orbitam. Isso acontece porque a luz da estrela hospedeira é milhões de vezes mais forte do que aquela que vem dos planetas, mais ou menos como tentar enxergar a luz de um vagalume que está perto de um holofote a um quilômetro de distância. A única exceção é quando o planeta orbita bem longe de sua estrela hospedeira: nesse ca-

so há técnicas que permitem o bloqueio (físico) da luz estelar de modo a poder enxergar a luz advinda do planeta. Essa técnica é chamada de imageamento direto.

Entre as técnicas indiretas, as que foram mais produtivas até hoje para estudar atmosferas exoplanetárias são a espectroscopia de transmissão e a espectroscopia de emissão. O princípio de funcionamento das duas é muito parecido, mas depende muito de sorte: exoplanetas têm que, necessariamente, ter uma configuração orbital que os faça cruzar a linha de visada entre a Terra e a sua estrela hospedeira. Nessa configuração, um observador na Terra vai ver o exoplaneta passando em frente a sua estrela (um evento chamado trânsito), e/ou atrás de sua estrela (esse é chamado de eclipse). A ideia dessas técnicas é observar o espectro estelar antes, durante, e depois do trânsito ou do eclipse. Depois da observação,

o astrônomo é encarregado de analisar os dados, procurando por mudanças específicas no espectro estelar que possam indicar a presença de uma atmosfera no exoplaneta. Quando estão na forma gasosa, elementos químicos tendem a interagir com a luz eficientemente em partes específicas do espectro quando são iluminados. Essas partes específicas são chamadas de linhas espectrais. Por isso, mudanças nessas linhas espectrais podem indicar a presença de certos elementos químicos nas atmosferas quando o planeta está em trânsito ou eclipse.

Como a maior parte dos exoplanetas descobertos até hoje orbitam muito próximos de suas estrelas hospedeiras, eles são, em sua maioria muito quentes, às vezes tão quentes quanto outras estrelas! O planeta KELT-9 b, por exemplo, que tem o tamanho de Júpiter, orbita muito próximo a uma estrela do tipo gigante azul e, por isso, as temperaturas na sua atmosfera

podem chegar a mais de 4000 graus Celsius. Para comparação, a temperatura da superfície do Sol é cerca de 6000 graus Celsius. Observações recentes de KELT-9 b, na verdade, sugerem que este objeto realmente se parece mais com uma estrela do que um planeta: um estudo liderado por um grupo europeu e publicado em 2018, descreve a sua atmosfera, na qual foram detectadas grandes quantidades de metais como titânio, sódio, magnésio, e até mesmo ferro, tudo em estado vaporizado.

Previsão do tempo: chuva de ferro e erosão atmosférica

Esses exoplanetas gigantes e quentes recebem um nome especial: jupíteres quentes. Mas aqueles que são ainda mais extremos recebem uma denominação que faz jus ao seu status: jupíteres ultraquentes. Sim, astrônomos não são muito criativos para dar nomes. Mas podemos hipotetizar que

Acima

Concepção artística mostrando a chuva de ferro durante o anoitecer em WASP-76 b (Crédito: ESO/M. Kornmesser).

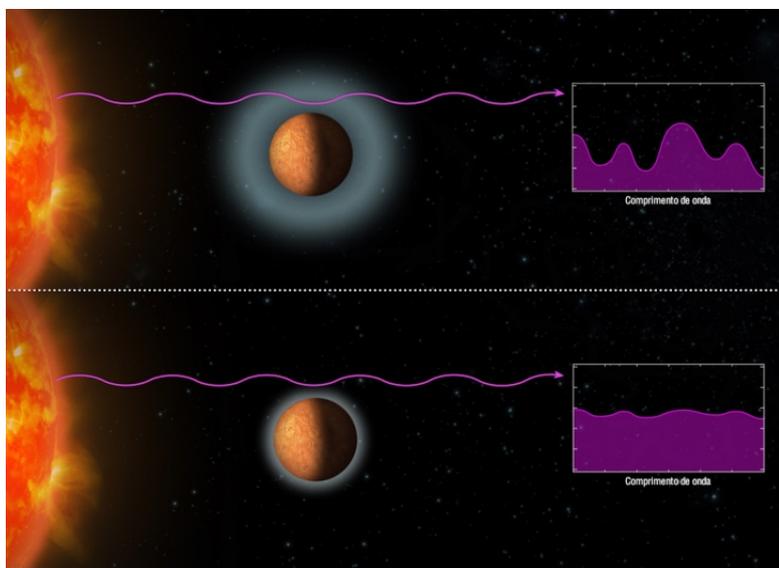
Abaixo

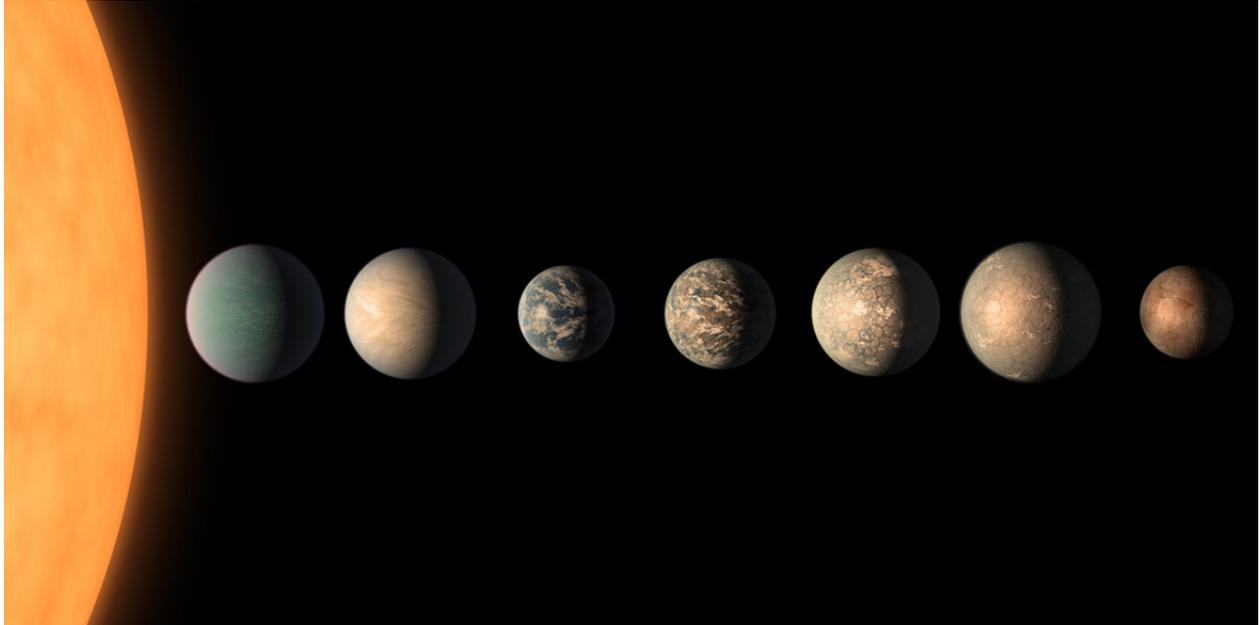
A luz da estrela sofre absorção ao passar pela atmosfera de um exoplaneta. A análise desse espectro permite estimar a composição e certas propriedades da atmosfera orbitando uma estrela gigante azul (Crédito: NASA, ESA, Z. Levy /STScI).

essa falta acontece porque eles gastam toda a sua criatividade para inventar instrumentos e teorias para estudar mundos alienígenas. Em 2020, um consórcio científico europeu utilizou o novíssimo espectrógrafo ESPRESSO, instalado no deserto do Chile, para estudar a atmosfera do júpiter ultraquente WASP-76 b. O resultado de suas observações revelou algo intrigante: sua atmosfera também é rica em ferro, mas, por ser menos quente que KELT-9 b, parte desse ferro vaporizado se condensa para a forma líquida quando anoitece. Isso é mais ou menos o que acontece com a água na Terra: quando a umidade está alta e a temperatura cai ao anoitecer, a água que estava em forma de vapor condensa e forma orvalho. Mas no caso de WASP-76 b temos ferro ao invés de água. Então, nesse planeta literalmente chove ferro líquido. Talvez você queira passar aquelas férias em Titã an-

tes de se aventurar em WASP-76 b.

Mas o que acontece quando colocamos mundos um pouco menores, como Netuno ou Urano, perto de suas estrelas hospedeiras? Esses planetas menos massivos têm algo em comum: neles a força de gravidade é menos intensa do que em gigantes como Júpiter ou Saturno. Por causa disso, eles não conseguem reter suas atmosferas tão bem quanto seus primos gigantes. Então, quando orbitam muito próximos de uma estrela, esses mundos — chamados “netunos quentes” — tendem a evaporar e diminuir de tamanho. Esse processo também é conhecido como erosão atmosférica, e o caso mais prominente é o do exoplaneta conhecido como GJ 436 b. Em 2015, observações com o telescópio Hubble indicavam que esse planeta tem uma nuvem de hidrogênio gigante ao seu redor, e que ela forma uma cauda, mais ou menos como um cometa. De fato, assim como cometas, essa nuvem de material atômico é alimentada pelo escape de gás da atmosfera exoplanetária. Até hoje foram detectados poucos casos em que a erosão atmosférica é tão significativa, mas a comunidade astronômica acredita que esse processo é um dos principais fenômenos que dita a evolução de planetas pequenos ou rochosos, principalmente no começo de suas vidas.





A promessa de mundos menos extremos

Os planetas citados acima são apenas alguns poucos casos da enorme diversidade de atmosferas alienígenas já descritas na literatura científica. Apesar de intrigantes e chamativos, essa abundância de mundos extremos, no entanto, não desvia nossa atenção de exoplanetas mais amenos. Um dos resultados mais importantes de levantamentos em procura de novos mundos usando o satélite Kepler revelou que os planetas mais comuns na vizinhança solar são as chamadas superterras. O tamanho desses planetas sugere que eles são rochosos como os planetas mais internos do Sistema Solar, mas cerca de duas vezes maiores que a Terra. Apesar de comuns, até hoje pouco se sabe sobre as atmosferas ou composição químicas das superterras. Por cau-

sa de seu tamanho relativamente pequeno quando comparado a gigantes gasosos, a observação de superterras é muito desafiadora. Mas não impossível.

Em 2014, um estudo liderado por cientistas americanos revelou, pela primeira vez, o conteúdo atmosférico de uma superterra, a chamada GJ 1214 b, localizada a aproximadamente 48 anos-luz do Sistema Solar. Um total de 50 horas de observação do Hubble foi dedicada ao programa que utilizou a técnica de espectroscopia de transmissão. A conclusão que o estudo chegou foi que GJ 1214 b é coberto por nuvens, as quais infelizmente impedem a observação das camadas mais interiores da atmosfera. Esse resultado também se repetiu para algumas outras superterras observadas com a mesma técnica, então é possível que nuvens que cobrem completamente de maneira global seja

Acima
Concepção artística dos sete planetas rochosos no sistema TRAPPIST-1 (Crédito: NASA/JPL-Caltech).

uma característica comum nesses mundos.

Até hoje, os menores planetas que já foram observados para estudos atmosféricos foram os mundos rochosos em órbita da estrela TRAPPIST-1. Vários dos planetas nesse sistema são os melhores candidatos para a procura de sinais de habitabilidade, o que deixa a comunidade astronômica muito excitada para o lançamento de novos instrumentos capazes de estudá-los. Até agora, campanhas com o telescópio Hubble foram relativamente inconclusivas: elas apenas foram capazes de mostrar que os planetas de TRAPPIST-1 não apresentam uma camada espessa de hidrogênio ou hélio, mas nada além disso. No futuro, o telescópio espacial James Webb vai ser encarregado de caracterizar as atmosferas de exoplanetas com uma precisão muito maior que a do Hubble, mas é possível que mesmo ele não seja potente o bastante para encontrar a Terra 2.0, o análogo perfeito de nosso planeta. Esse feito talvez ainda leve mais uma ou duas décadas •

Leonardo dos Santos
Université de Genève
Leonardo.DosSantos@unige.ch

QUER ESTUDAR ASTRONOMIA?

Descubra onde

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Ingresso via ENEM/SiSU

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

☎ (21) 2263-0685 ✉ ov@astro.ufrj.br

Universidade de São Paulo

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

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

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

Universidade Federal de Sergipe

Ingresso via ENEM/SiSU

<http://www.ufs.br>

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

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ingresso via ENEM/SiSU e vestibular próprio

<http://ufrgs.br/astro>

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





Os céus artificiais do Ceará

Os planetários do Ceará estão passando por uma evolução tecnológica, que faz jus ao centenário de nascimento do precursor da divulgação astronômica neste Estado.

Esta edição da Revista Brasileira de Astronomia, neste ano de 2021, é de especial interesse para a Astronomia no Estado do Ceará, pois dá início às comemorações de dois grandes fatos dessa história de realizações e conquistas.

Um desses fatos é o que se refere aos céus artificiais do Ceará, tí-

tulo desse artigo e que faz uma alusão aos planetários digitais do Ceará, pois no próximo 28 de abril comemoram-se os 22 anos de atividades do *Planetário Rubens de Azevedo*, e ainda neste ano teremos a efetivação de duas outras grandes conquistas: a reinauguração do Planetário de Sobral, em 29 de maio (data de aniversário do

eclipse de maio de 1919) e a conclusão da edificação do Centro Cultural da Cidade do Crato, na Região Sul do Estado, onde será instalado nosso mais novo planetário digital — o Planetário do Crato. Ambos os equipamentos foram adquiridos pelo Governo do Estado. O que será instalado em Sobral já se encontra encaixotado em Fortaleza aguardando pela reforma do prédio para a devida instalação. O que vai para a Cidade do Crato já está com aquisição efetivada e aguarda os desembarques alfandegários para transporte da Alemanha ao Ceará. Vale ressaltar que todos os planetários digitais do Ceará são da marca Carl Zeiss GmbH, modelo Skymaster ZKP4 LED com projetores digitais de altíssima resolução, VELVET DUO LED. Desse modo, os céus artificiais do Ceará vão interagir na mesma linguagem tecnológica.

O Patrono Rubens de Azevedo

A História da Astronomia no Ceará passa, obrigatoriamente, por Rubens de Azevedo (1921 – 2008), nosso mestre e orientador com o qual convivi por mais de 30 anos.

A partir de meados do século passado, Rubens de Azevedo foi o principal divulgador da Astronomia no Ceará e em outros estados. Construiu o primeiro observatório astronômico para amadores e visitação pública do Ceará, o Observatório Popular Camille Flammarion. Em 26 de fevereiro de 1947



fundou aquela que seria a primeira sociedade de amadores de astronomia do país, a Sociedade Brasileira dos Amigos da Astronomia (SBAA). Foi professor e incentivador de inúmeros jovens e adultos ao estudo da Astronomia, bem como fundador e orientador da instalação de várias associações e clubes de amadores de Astronomia e de observatórios em vários sítios pelo Brasil afora dentre as quais, a Sociedade Brasileira de Selenografia em São Paulo, ocasião em que desenhou o primeiro Mapa Lunar Brasileiro com 80 cm de diâmetro. Dentre os programas internacionais, participou ativamente do *Lunar International Observer's Network*, criado pela NASA para assessorar as missões Apollo.

Foi por essas inúmeras outras ações que sugeri seu nome como

Acima
Mesa de comando do novo Zeiss Skymaster ZKP4 LED com projetores VELVET DUO. Os três planetários do Ceará usarão a mesma mesa de comando.

Na página anterior
Pôr do Sol no Planetário Rubens de Azevedo do Centro Dragão do Mar de Arte e Cultura.

patrono do Planetário de Fortaleza. Apesar de tantas contribuições para a divulgação científica, ainda hoje muitos colegas astrônomos e planetaristas não sabem quem foi Rubens de Azevedo, o pioneiro na luta pela instalação de um planetário no Ceará.



Acima
Primeiro planetário instalado no Ceará: o Skymaster ZKP3, inaugurado em 28 de abril de 1999.

O planetário é uma máquina maravilhosa que encanta e ajuda a aguçar a imaginação de jovens e adultos. Dentro do planetário pode-se realizar inúmeras atividades como, por exemplo, mostrar o céu antigo de Fortaleza que os jovens atuais jamais viram, ao projetar as estrelas na cúpula vemos, nas palavras de Rubens, *“uma tela filigranada, onde se desenhavam as constelações gloriosas — ora, o gesto turbulento do Órion, cuja clava apontava para o Touro; ora, o ninho faiscante das Plêiades; ora, a horrenda baleia à espera de devorar a inocente Andrômeda; ora Cefeu e Cassiopeia nos seus tronos olímpicos; ora o Grande Navio Argos, levando em seu bo-*

jo os valorosos argonautas, companheiros de Jasão, nas busca incessante do Velocino de Ouro. O Céu é o panorama das aventuras miríficas que os antigos guardaram, mas que, infelizmente, o progresso apagou dos nossos olhos...” Mas, existe o planetário e nele podemos reproduzir com bastante fidelidade o céu de qualquer época.

Em 28 de abril de 1999, o equipamento alemão da marca Carl Zeiss, modelo Skymaster ZKP3, na época um dos mais modernos e completo planetário do Brasil, foi instalado no Centro Dragão do Mar de Arte e Cultura — complexo cultural, construído no coração da ensolarada, turística e romântica Praia de Iracema, em Fortaleza, com uma área de 30 mil metros quadrados, onde também se encontram museus, teatro, cinemas, auditórios, anfiteatros, espaços para exposições e oficinas culturais.

Ao longo desses 22 anos de atividades quase ininterruptas, o Planetário Rubens de Azevedo tem atingido plenamente a consecução dos objetivos da sua principal missão como equipamento atuante no Binômio Turístico-Pedagógico; executando vários projetos e realizando inúmeras atividades no âmbito da Inovação no Ensino e Popularização da Ciência e Tecnologia, propiciando ao seu público-alvo — estudantes, professores, profissionais da educação dos mais variados níveis de ensino, e ao público local e turistas, a oportu-

tunidade de entretenimento e de aprendizagem formal e não-formal com linguagem lúdica da mais alta qualidade.

Quando a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu 2009 como o Ano Internacional da Astronomia, fomos convidados para compor a comissão brasileira, composta por 10 membros, responsável pela realização das mais variadas ações de difusão em âmbito nacional. E deu-se início a mais arrojada e eficiente campanha internacional de popularização da Astronomia, onde se comemorou os 400 anos em que Galileu Galilei apontou pela 1ª vez uma luneta para o céu. No Brasil, a comissão foi coroada de pleno êxito e obteve grande sucesso nas comemorações com a realização de incontáveis eventos e ações em todo o território nacional.

No Planetário Rubens de Azevedo foram realizadas inúmeras e diversificadas ações tais como: exposições, cursos, ciclos de palestras com renomados astrônomos de nível nacional e internacional, oficinas de astronomia, observações astronômicas, planetário itinerante: com exposições, cursos, palestras e observação do céu em vários municípios do interior do estado. Entre as várias participações se destaca o programa internacional *Noites Galileanas*, no qual o Planetário Rubens de Azevedo e o Museu do Eclipse de Sobral, comandado pelo Prof. Êmerson F. de Almeida, conquistaram um Prêmio



Internacional — uma Luneta Refratora motorizada, por terem conseguido mobilizar o maior número de pessoas (proporcionalmente à população do município) a observar através da ocular de um telescópio durante a semana em que ocorreu o programa. Ainda no âmbito das ações internacionais durante o Ano Internacional da Astronomia, o planetário foi escolhido pelo ICRANET (International Center for Relativistic Astrophysics Network), em sua sede em Roma/Itália, para sediar o Congresso Internacional de Cosmologia Relativística e Astrofísica. O evento obteve o devido sucesso e contou com a participação de renomados astrofísicos internacionais e brasileiros.

A principal ação do planetário no Ano Internacional da Astrono-

Acima

Vista aérea que mostra o Planetário de Sobral (à esquerda) com o Museu do Eclipse e Observatório Astronômico Henrique Morize (abaixo à direita).

Abaixo

Capa do antigo boletim *Zodiaco*, publicado pela Sociedade Brasileira dos Amigos da Astronomia, que trata sobre a aquisição do Zeiss Skymaster ZKP 2 para o Planetário de Fortaleza.

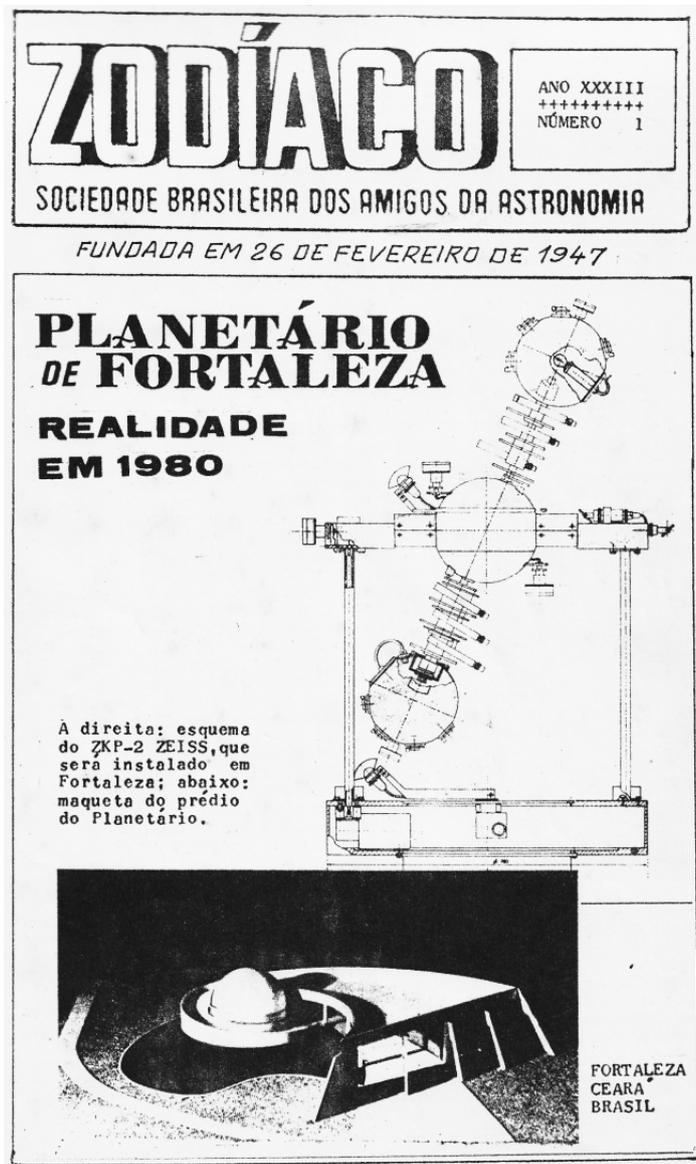
mia foi a aprovação, pelo Governo do Estado, de nosso projeto para a aquisição do mais moderno planetário da Zeiss para Fortaleza e transferência do Zeiss Skymaster ZKP3, juntamente com sua devida atualização, para Sobral, na Região Norte do Estado.

O projeto foi concretizado e o Planetário de Sobral foi instalado ao lado Museu do Eclipse e do

Observatório Astronômico Henrique Morize. O complexo está localizado na Praça do Patrocínio em Sobral. E, assim, foi consolidada uma das ações do planetário como participante ativo do Ano Internacional da Astronomia. E agora, em 2021, o inesquecível ZKP3 será substituído pela moderna tecnologia atualmente utilizada em planetários digitais: o Zeiss Skymaster ZKP4 LED.

O Planetário como sala de aula

Dentre os vários programas e projetos desenvolvidos pelo planetário durante todos esses anos destaca-se o *Planetário como Sala de Aula*, que anualmente atende a cerca de 15 mil alunos de escolas públicas e particulares, dos vários níveis de ensino. Nesse projeto, procura-se aplicar a inovação ao ensino e à popularização da ciência, em concordância com a coordenação pedagógica de cada escola, promovendo a educação formal e não-formal e a capacitação de professores envolvendo os mais variados assuntos do currículo escolar. O projeto contempla cursos, oficinas temáticas de astronomia e ciências afins, e distribuição de material didático com os conteúdos abordados nas diversas atividades. A realização do projeto envolve apresentação de sessões de planetário que abordam os vários temas escolhidos pela escolas e disponibiliza tempo necessário às explicações didáti-





cas dos temas e espaço para perguntas e respostas por parte dos alunos e professores.

Noite das Estrelas

Iniciado em janeiro de 2005, o já consolidado programa *Noite das Estrelas* consiste em disponibilizar telescópios no pátio do planetário dirigido ao público, o programa é um dos mais chamativos e visitados por público de todas as idades. É sempre realizado nas noites de lua crescente com céu limpo.

Sessões de Planetário

O planetário conta atualmente com 20 sessões digitais, com projeção *FullDome*, que são apresentadas de quarta a domingo dirigi-

das ao público local e turistas abrangendo a classificação infantil, infanto-juvenil e adulto.

As sessões de planetário representam a atuação do planetário na área do entretenimento com qualidade e alcança cerca de 30 mil pessoas por ano, entre público local e turistas.

Com a aquisição dos novos pla-

Acima
Exposição permanente no Planetário Rubens de Azevedo.

Siga o Planetário Rubens de Azevedo

Facebook

planetariorubensdeazevedo

Instagram

@planetariorubensazevedo

www.planetariorubensdeazevedo.com.br



Acima
Entrada do Planetário
Rubens de Azevedo.

netários digitais a serem instalados em Crato e Sobral, incluímos na aquisição mais sete sessões digitais em português e inglês que, até o final de 2021, serão incorporadas às sessões já instaladas.

Instrumental nas estrelas

Outra atividade que chama a atenção do público é o *Instrumental nas Estrelas*, sessões ao público de todas as idades que envolve a presença de músicos e instrumentos como piano $\frac{1}{4}$ de cauda, saxofone, acordeon, quarteto de 4 cordas, etc., quando o músico to-

ca seu instrumento acompanhando a projeção *FullDome* de belíssimas imagens do Universo.

Sessão de planetário para surdos

Um grande desafio foi desenvolver uma sessão específica para o público com deficiência auditiva. Topamos o desafio, elaboramos um texto específico, contratamos um especialista em LIBRAS (Linguagem Brasileira de Sinais) e oferecemos a sessão aos vários grupos que nos procuraram. Muito provavelmente foi a 1.^a sessão de planetário do Brasil dirigida a esse público, promovendo dessa forma a inclusão social e educativa.

Com essas e outras conquistas do planetário, o Ceará atinge sua maioria no que se refere à Inovação no Ensino e na Popularização da Ciência com a utilização das tecnologias de planetários. Com a instalação dos novos digitais, o estado se iguala aos mais avançados centros nacionais e internacionais onde se encontram instalados os modernos *Virtuários* — o estado da arte na Ciência e Cultura Geral, com planetários

Abaixo
Noite das Estrelas, no
Planetário Rubens de
Azevedo.





digitais de última geração.

Outro fato que torna 2021 um ano especial para a Astronomia cearense, é a comemoração do Centenário de nascimento de Rubens de Azevedo.

Com a ajuda de Heliomárzio Rodrigues Moreira, amigo do planetário, já estão sendo elaborados alguns projetos para comemorar os 100 anos de nascimento daquele que dá nome a esse magnífico equipamento e pelo qual muito lutou, pois devido a isso, hoje o Ceará conta, não somente com um, mas com três desses maravilhosos "céus artificiais" •

Dermeval Carneiro
Planetários do Ceará
carneirodermeval@gmail.com

Todas as imagens deste artigo fazem parte do acervo pessoal de Dermeval Carneiro.

Contracapa

Rastro de estrelas que evidencia a rotação da Terra. Foto tirada no Observatório do Valongo da UFRJ, que completa 140 anos de existência em 2021 (Crédito: Igor Borgo).

Abaixo

Rubens de Azevedo, pioneiro da Astronomia no Ceará.





S.A.B.