



Revista
Brasileira de
**ASTRO
NOMIA**

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Ano 2 | Número 7

como um brasileiro desvendou
ETA CARINAE

Dicas para a Observação do Céu

Conheça o Meio Interestelar

Entrevista com Horacio Dottori

Editorial

Eis que continuamos em quarentena. Ou ao menos alguns de nós – aqueles que dispõem de um pouco mais de recursos ou têm a possibilidade de trabalhar de forma remota –, pois o grosso da sociedade brasileira foi empurrada à urgência de obter os meios para garantir a própria sobrevivência. Já o resto do mundo ensaia os primeiros para a volta à normalidade. Infelizmente, esse quadro dantesco parece que irá durar mais meses devido à série de erros protagonizada pela nossa sociedade, desde o mandatário que desfila sem máscara até o jovem impaciente que sente ímpeto a ir em festas durante o necessário período de isolamento social.

O que podemos fazer é nos adaptar. Não é à toa que os diversos centros de pesquisa e ensino entraram com peso na era das lives. Essa cultura bem poderia prosseguir após a volta à normalidade; as transmissões de palestras científicas certamente chegaram a pessoas que não teriam acesso fácil a elas. A própria disponibilização do material gravado nas redes sociais amplia-lhe enormemente o alcance.

Também a SAB e sua revista tiveram de se adaptar. A pandemia inviabilizou a realização da tradicional Reunião Anual deste ano, mas também dificulta a impressão e distribuição desta revista pelos Correios. Esse trabalho é feito por apenas uma pessoa, nossa secretária. Questões de logística impedem a distribuição da RBA nesse momento. Nossa decisão foi de tornar a revista digital e distribuí-la gratuitamente pela internet. Quando voltarmos à normalidade, esses números digitais serão impressos e distribuídos normalmente aos que a assinaram.

Enquanto não tivermos uma vacina ou tratamento, proteja-se!

Helio J. Rocha-Pinto

Editor da Revista Brasileira de Astronomia

Esquerda

Grande Conjunção de 2008 entre a Lua, Vênus e Júpiter, observada em Cerro Paranal, no Chile (Crédito: ESO/Y. Beletsky).

Capa

Eta Carinae e a Nebulosa do Buraco de Fechadura, imageada em 2009 pelo telescópio de 3.6 m do ESO em La Silla (Crédito: ESO).

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

Reinaldo Ramos de Carvalho

Vice-Presidente

Helio J. Rocha-Pinto

Secretário-Geral

Ramachrisna Teixeira

Secretário

Alan Alves Brito

Tesoureira

Lucimara Martins

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira

Rua do Matão, 1226

05508-090 São Paulo – SP

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

4 Eta Carinae

Augusto Damineli narra a epopeia de sua carreira acadêmica, desde o início na roça do Paraná à façanha de desvendar parte da natureza de Eta Carinae, a estrela que permaneceu incompreendida por muito tempo.

12 Entrevista: Horácio Dottori

Entrevistamos o Prof. Horácio Dottori, da UFRGS. Suas lembranças incluem o trabalho com grandes astrônomos do século XX e importantes considerações sobre a filosofia e a ciência.

20 A Observação do Céu

Carlos Ayres vem nos brindar com dicas para melhor usufruir da observação do céu, um tema que tantos aficcionados por Astronomia buscam dominar, mas poucos o fazem com maestria.

26 O que há entre as estrelas?

A distância entre as estrelas é tipicamente enorme, mas esse espaço não é vazio. Gabriel Hickel conta do que ele é composto e como se estrutura.



Eta Carinae

para além do charme e do exotismo

Como o modesto observatório brasileiro – o OPD/CNPq – ajudou a desvendar a natureza de uma das maiores e mais enigmáticas estrelas do Universo.

Quando iniciei a graduação em Física no Instituto de Física da USP, em 1970, não sabia literalmente nada sobre estrelas. Vim do interior do Paraná, de Ibiporã, para São Paulo em 1968, tendo estudado em escolas em que não se ensinava quase

nada de Física. Durante o curso primário, morava na roça, sendo o décimo filho de uma família pobre. Quando ia pra cidade, levava 2 litros de leite para ajudar nas despesas. Eram quatro quilômetros de ida e depois de volta, fizesse sol ou chuva. Aos 12 anos, para fugir da dureza da lavoura,

fui estudar para ser padre, o que abandonei aos 18 anos. No seminário, pelo menos aprendi bastante matemática, do que já gostava por influência de meu pai, que além de agricultor era carpinteiro e sabia fazer um pouco mais do que as 4 operações. Sempre tinha um céu esplêndido na roça, para o qual olhava admirado, mas com a mente de um jacaré. É por causa desse passado de idéias pobres que desde a faculdade me empenhei muito com a divulgação científica.

No primeiro ano do curso de Física, fui assistir a uma palestra do professor José Pacheco sobre a origem dos átomos nas explosões de supernovas. Aquilo me fisgou e segui estudando Astronomia sob orientação dele. Depois do doutorado (em estrelas Be), decidi pesquisar eta Carinae, por dois motivos: a) era uma estrela progenitora de supernova e b) ela passava por uns eventos enigmáticos em que as linhas espectrais de alta excitação desapareciam brevemente. Isso indicava uma perturbação temporária na emissão ultravioleta. Como eu não tinha acesso a satélites orbitais, procurei uma transição atômica para monitorar indiretamente esses eventos num telescópio ótico, o 1,60 m do Pico dos Dias (OPD), operado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica. A melhor linha era a do He I no comprimento de onda 10830 Å, que podia ser observada através

foco Coudé, no limite de resposta do CCD.

A descoberta da binaridade

A luminosidade emitida apenas por essa transição atômica correspondia a 1500 vezes a luminosidade bolométrica (isto é, total) do Sol. Para encurtar a história, em junho de 1992 essa linha se apagou, juntamente com outras mais fracas de alta excitação ([Ne III], [Ar III], S III, {Fe III}). Pesquisando a literatura, vi que essas linhas haviam desaparecido ocasionalmente desde 1948. Mostrei que isso acontecia periodicamente a cada 5,5 anos. Isso indicava que ela fazia parte de um sistema duplo e que os eventos de “baixa excitação” seriam produzidos pela passagem do sistema pelo periastro (menor distância entre as estrelas). Consegui prever essas passagens com relativa precisão. Publiquei um artigo na revista *Astrophysical Journal Letters* em 1996 e previ que deveria acontecer um deles em dezembro de 1997. Quase ninguém acreditou na previsão, vinda de um país desconhecido no ramo da Astronomia. Meu pedido de tempo no OPD recebeu do relator uma péssima avaliação e indicava que me fosse dada uma única noite de observação (11 de dezembro de 1997), afinal o tempo ia ser ruim mesmo, como é usual em dezembro no Pico dos Dias. Dalton Faria Lopes do Ob-

Na página anterior
Eta Carinae observada em luz ultravioleta pela Wild Field Camera 3 do telescópio espacial Hubble (Crédito: NASA, ESA, Hubble, Nathan Smith, John Morse).

Abaixo

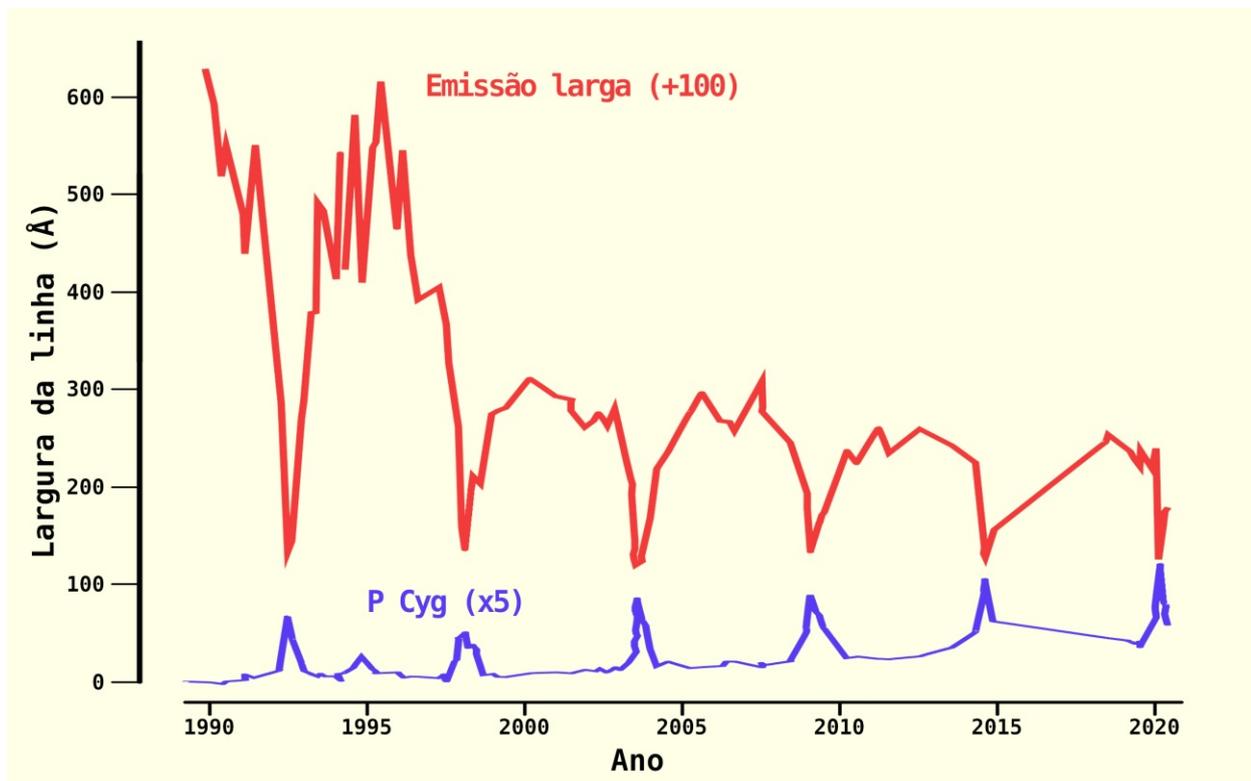
Intensidades de 2 componentes da linha espectral do He I em 10830 Å medidas no Observatório do Pico dos Dias (LNA/CNPq) ao longo de 30 anos. Os eventos de baixa excitação no periastro ocorrem a cada 5,5 anos. Cada curva foi deslocada arbitrariamente no eixo das ordenadas, para permitir uma melhor visualização do comportamento de variação.

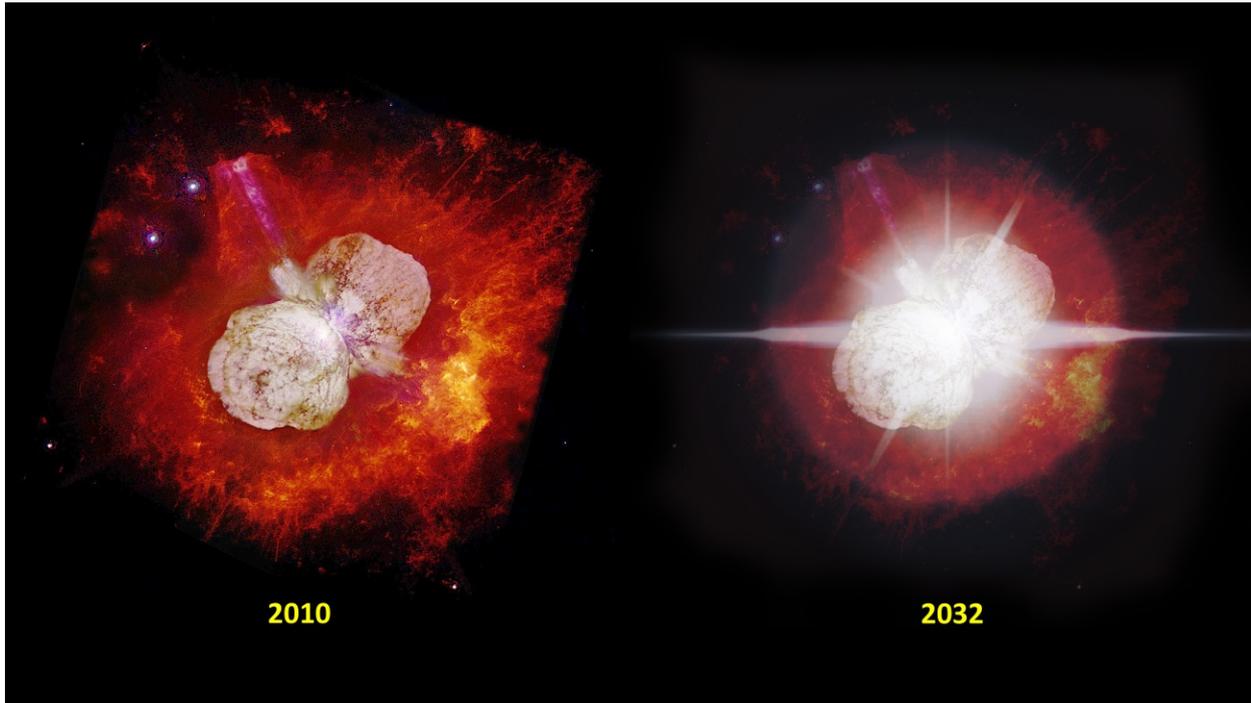
servatório Nacional realizou a observação (eu estava em um pós-doutorado no Colorado) e eis que as linhas de alta excitação haviam desaparecido! Não tive sorte melhor com o Telescópio Hubble, para o qual meu pedido para observá-la no ultravioleta não foi aprovado. Todavia, após o sucesso da observação realizada no OPD, acabaram me dando 1 órbita no dia do Ano Novo de 1998.

O início de uma onda muito produtiva

A observação “do Ano Novo” confirmou o desaparecimento da energia emitida pela estrela secundária, que era a fonte de luz ultravioleta. Aí virou notícia em

jornais do mundo inteiro, tendo sido matéria de capa da revista *Sky & Telescope*. Isso me granjeou a inimizade eterna de um grupo de pesquisadores muito reconhecidos internacionalmente e que afirmavam que a estrela era isolada. Com isso, meus papers e pedidos de tempo de telescópio no Hubble, bem como os de meus colaboradores, encontravam uma grande resistência para serem aprovados. Mas, a previsibilidade dos periastros abriu novos horizontes. Houve uma corrida às observações a cada periastro, por telescópios em solo e no espaço. O evento periódico apareceu em todas as faixas do espectro eletromagnético, de raios gama a ondas longas de rádio. Foram or-

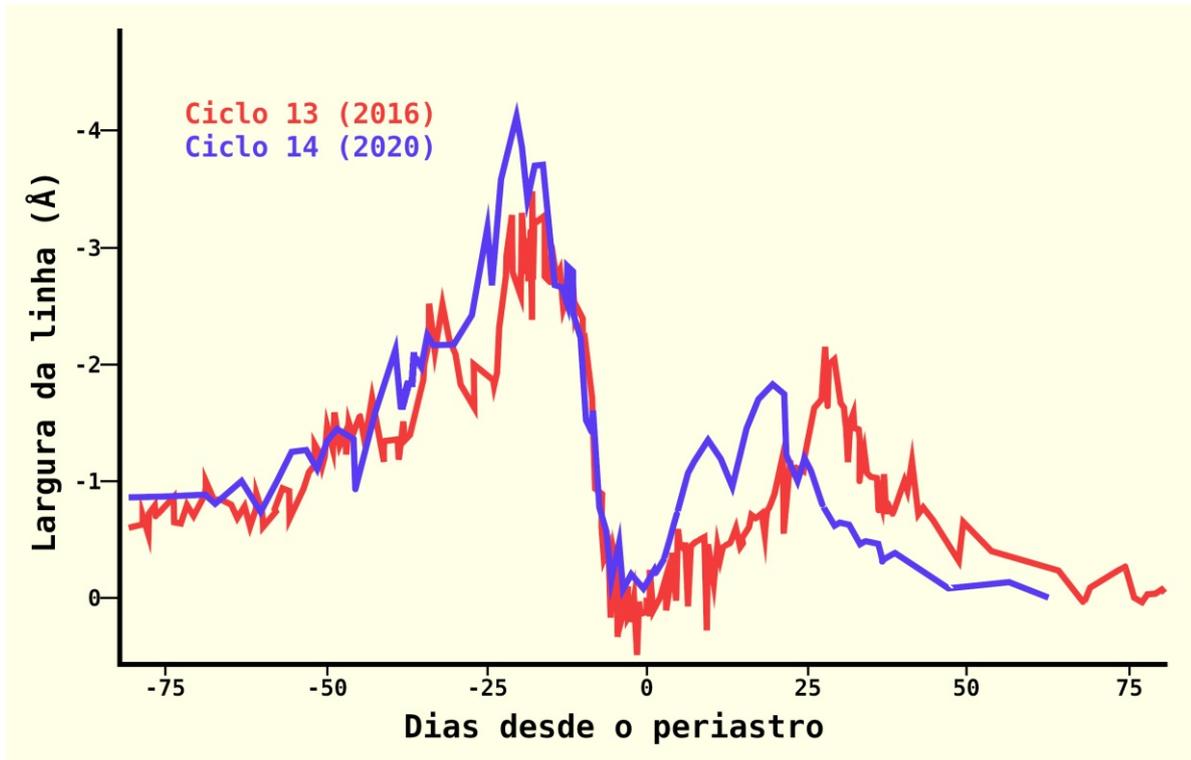




ganizados colóquios específicos sobre eta Carinae em vários países a cada 2 anos. Isso atraiu muitos jovens talentosos, capazes de fazer simulações hidrodinâmicas em 3D. O difícil é permanecer na crista da onda com tanta gente de bom nível. Por outro lado, abriram-se oportunidades excitantes de colaboração científica. Numa delas, mapeamos o lado de trás da nebulosa do Homúnculo, uma façanha rara em se tratando de um astro fora do Sistema Solar. Com outro grupo, mostramos que várias características exuberantes da estrela e de sua nebulosa se devem à existência de uma nuvenzinha de poeira situada exatamente na frente da estrela, apagando a luz emitida em nossa direção, mas não a luz dela refletida na nebulosa. É isso que explica o fato de

a nebulosa de reflexão ser mais brilhante que a estrela central, ao contrário do que acontece em casos comuns de nebulosas ejetadas. O fato de eta Carinae mostrar um espectro rico em linhas muito intensas também se deve a esse coronógrafo natural que deprime o fluxo no contínuo estelar, produzindo um contraste elevado das linhas emitidas no vento da estrela. Recentemente obtivemos provas diretas da existência desse coronógrafo com mapa do interferômetro ALMA, em que se vê uma mancha com raio menor que 0,1" em absorção molecular de água e metanol. Em outra colaboração, mostramos que o aumento sistemático de brilho da estrela central indica que o coronógrafo está se dissipando. A previsão é que no ano 2032±4 esse aumento de brilho termina-

Acima
Imagem recente das nebulosas ejetadas por eta Carinae comparada com seu ofuscamento pela estrela central no final da fase de aumento secular de brilho, em 2032.



Acima

Varição de intensidade da linha do He^+ , indicando que a entrada no periastro em 2020 ocorreu exatamente como o esperado, mas a saída se adiantou de 10 dias. Isso também aconteceu com a intensidade dos raios-X. Ainda não temos ideia do que produz esse comportamento contraditório.

rá, permitindo que finalmente tenhamos acesso direto à estrela central. Nessa época, a estrela ofuscará a nebulosa e terá aparência semelhante ao que tinha nos anos 1600, antes da Grande Erupção dos anos 1840. Essa será uma época de ouro para observarmos um efeito bem interessante, que atualmente mal conseguimos ver: o mergulho da estrela secundária na pseudofotosfera da primária. Esse, na verdade, é o efeito que produz os eventos de baixa excitação nas passagens periástricas, quando as emissões de alta energia desaparecem por causa do “efeito cobertor” produzido pelo vento denso da estrela primária. Nesses eventos que duram poucos meses, vemos a estrela primária sem ser afetada pela secundária,

mostrando que ela tem uma temperatura efetiva moderadamente baixa — cerca de 15000 K — enquanto a secundária é bem mais quente — 37000 K. A descoberta desse efeito único em sistemas binários, chamado de “buraco cavado”, se deu com base em observações feitas no OPD. Nós detectamos o aparecimento temporário da linha do He II em 4686 Å, que exige a existência de um grande reservatório de He^+ que recebe temporariamente um intenso fluxo de radiação ultravioleta, a qual ioniza o He^+ para He^{++} . O He^+ está localizado dentro da pseudofotosfera da estrela primária e a luz ultravioleta é emitida no ponto em que os ventos das duas estrelas se chocam com mais força. Esse ponto fica perto da es-

trela secundária e precisa mergulhar no vento da primária para produzir o efeito.

A passagem periástrica de 2020 e a pandemia do covid-19

As passagens periástricas são muito importantes porque nessa fase orbital as estrelas aumentam de velocidade e podemos modelar melhor suas órbitas. Além disso podemos medir as variações do parâmetros dos ventos das duas estrelas que se chocam e observar fenômenos que acontecem mais longe do sistema binário. Eles são, por exemplo, a aceleração de raios cósmicos na interface de colisão dos ventos estelares e, mais longe dessa região, as moléculas são dissociadas no periastro e se recombinam depois. Um periastro de eta Carinae é um piquenique que tem coisas saborosas para os físicos de todos os paladares.

O periastro de 2020 estava previsto para 17 de fevereiro, quando eta Carinae passa pelo meridiano perto da meia-noite. Este seria o melhor periastro para a observação desde que a binariedade foi descoberta. Com recursos da FAPESP, comprei uma série de 130 observações a serem executadas entre dezembro de 2019 e agosto de 2020, em dois telescópios robóticos do Las Cumbres Observatory. Finalmente, teria dados de excelente qualidade, em abundância e sem ter que

passar 8 meses acordado. Tudo estava correndo maravilhosamente bem até que chegou a pandemia do covid-19 e os telescópios foram fechados quando o periastro ainda estava em progresso. Pedi ajuda dos astrônomos amadores da Austrália e do Brasil e eles responderam prontamente. O OPD permaneceu aberto com operações restringidas e operando em modo remoto, mas me ofereceu as noites de engenharia que não podiam ser usadas por causa do distanciamento dos funcionários. Ufa! A tão sonhada série temporal de ouro foi salva. No momento em que escrevo este artigo, já colecionei uma boa quantidade de dados, que estão em processamento, e tenho alguns “papers” em andamento, com muitos colaboradores, incluindo os astrônomos amadores.

Sinto que tenho que explicar

Acima
Hubble Ultra-Deep Field, imagem clássica obtida pelo empilhamento de 800 exposições obtidas ao longo de 11.3 dias. A imagem mostra galáxias distantes no espaço e no tempo. As mais longínquas (pequenas) são azuis por conterem estrelas de grande massa, tais como Eta Carinae. Nas galáxias mais próximas (mais velhas), essas estrelas já morreram (Crédito: NASA).



Acima

O autor deste artigo segura um modelo 3D da nebulosa do Homunculo, ejetada por eta Carinae nos anos 1840, e mapeada no Observatório ESO por Wolfgang Steffen e colaboradores (2014). Raros objetos fora do Sistema solar já foram mapeados em 3 dimensões (Crédito: Acervo pessoal de Augusto Damineli).

por que dediquei grande parte de minha vida científica a uma estrela, o que faço a seguir. Não é por que ela ser exótica ou rara.

Por que eta Carinae é importante?

As estrelas de alta massa são importantes por que causam grande impacto na evolução das galáxias. Essas estrelas foram as principais produtoras do nosso oxigênio e também dos outros elementos alfa (aqueles com número de massa múltiplo de 4). Depois da primeira geração de estrelas, sobrou pouca matéria-prima para gerar estrelas na nossa Galáxia. Raramente se forma uma nuvem de gás interestelar com massa suficiente para gerar um grande aglomerado de estrelas. A massa da estrela de maior massa é proporcional a massa total do aglomerado. Além do mais, elas vivem somente 2-3 milhões de anos, diminuindo consideravelmente a

probabilidade de ter sobrado alguma para ser observada nesta idade do Universo. Assim, Eta Carinae funcionaria como um representante local das distantes estrelas de primeira geração. A luz das galáxias distantes na imagem chamada de Hubble Ultra-Deep Field têm cor azul, o que indica que elas são dominadas por estrelas de alta massa. Para estudar essas galáxias em sua infância, deveríamos resolvê-las em estrelas individuais e calcular suas massas e idades. Não é necessária separá-las na imagem do telescópio. Mas existem métodos de análise de populações estelares que permitem fazer isso computacionalmente. Isso funciona quando se sabe como representar o brilho e a cor de cada estrela em função de sua massa e idade. O método funciona bem para estrelas do tipo solar, que são bem conhecidas, mas na faixa de massas de Eta Carinae esses parâmetros não são conhecidos. Não se sabe quais são as etapas evolutivas de estrelas com a massa de Eta Carinae. Em princípio, todas com mais de 10 massas solares explodem em forma de supernova. Mas existem diversos tipos de supernovas, algumas delas que atingem a luminosidade de 1 trilhão de sóis, ou seja, mais que a soma de todas as estrelas da nossa Galáxia juntas. São as chamadas *hipernovas*.

Não sabemos qual o final da história de eta Carinae, pois ele



depende muito de quanta massa ela terá perdido durante sua vida e de como o par de estrela tiver interagido. Ela já passou por um evento completamente inesperado. Nos anos 1840 tornou-se a segunda estrela mais brilhante do céu, rivalizando com Sirius. Ela permaneceu como uma das estrelas mais brilhantes do céu por cerca de 2 décadas, quando se escondeu atrás da poeira que ela ejetou na Grande Erupção (o Homúnculo), diminuindo de brilho, mas sem “morrer”. Desde os anos 1940 está aumentando de brilho novamente, estando hoje com brilho pouco menor que o da “intrometida” do Cruzeiro do Sul. Nenhuma outra estrela fez algo assim e os astrônomos nunca

conseguiram explicar esse evento. Teria sido uma explosão de supernova que sobreviveu ao colapso? Mas, como explodir uma supernova sem detonação nuclear de seu caroço central? Ela vai fazer isso de novo? Quando? •

Augusto Daminieli
Universidade de São Paulo
daminieli@astro.iag.usp.br

Acima

A Nebulosa Eta Carinae, onde reside nossa famosa estrela, é a grande mancha avermelhada à esquerda do telescópio dinamarquês de 1,54 m situado em La Silla. Outros objetos de interesse que podem ser avistados nessa imagem são o Cruzeiro do Sul e o Saco de Carvão, ambos na parte superior esquerda (Crédito: ESO/B. Tafreshi).



Entrevista

Horácio Alberto

O segundo astrônomo entrevistado pela RBA é o Prof. Horácio Dottori.

Horácio nasceu em Córdoba, na Argentina, em 22 de março de 1943, meses antes do golpe militar de julho do mesmo ano, que iniciou a série de *quartelazos* que culminou no golpe militar de 1980. Foi nesse período que se forjou o Peronismo, tão característico da política argentina até os dias atuais. Aos 19 anos, ingressou na Universidad Nacional de Córdoba, onde se graduou. Mas seu doutorado ocorreu já no Brasil, em 1981, pela UFRGS. Ainda jovem, foi bolsista pelo Serviço de Intercambio Acadêmico da Alemanha (DAAD), trabalhando com Jürgen Ehlers no *Max Planck Institute for Astrophysics* em Munique. Também foi bolsista da *Humboldt Foundation* da Alemanha, que lhe possibilitou atuar na *Ruhr Universität*, em Bochum, no *Astronomisches Sternwarte* de Berlim e no ESO, em Garching. Mais recentemente concluiu estágio sênior no grupo de Astrofísica do Centro de Energia Nuclear de Saclay. Ele é membro honorário da Asociación Argentina de Astronomía, membro e ex presidente da SAB, da União Astronômica Internacional, do corpo editorial da Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, além de membro do corpo fundador e da comissão permanente do programa Guillermo Haro do Instituto Nacional de Astronomía Óptica y Electrónica, no México. Horácio é Professor Emérito da UFRGS desde 2017, tendo recebido o Prêmio FAPERGS de Física e Astronomia de 2002 e recebido menção honrosa no ciclo Mestres dos Mestres da UFRGS. Ele próprio insitui um prêmio em 2000, o Assunta Principi di Dottori, em homenagem a sua mãe, que premiou as duas melhores teses em Astronomia e Astrofísica entre 2000 e 2001, uma na Argentina e a outra no Brasil. Foi diretor interino do telescópio SOAR, em cuja gestão se destaca a instalação do Laboratório de Ótica e a construção de uma Câmera Rápida para Ocultações. Desde 2013, Horácio atua como Professor Colaborador na UFRGS.

Dottori

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

Nem sempre querer é poder. Eu fiz o Segundo Grau na *Escuela Industrial de la Nación*. O estudo estava dividido num ciclo básico e outro superior. O ciclo superior era noturno, para que os estudantes pudessem trabalhar. Uma vez terminado o Segundo Grau a escolha era ir à Universidade Tecnológica, com aulas noturnas, que permitia seguir trabalhando, ou ir à Universidade Nacional e começar o tão almejado curso de Física, para o qual tinha de deixar de trabalhar. A incerteza continuava, pois estudar no *Instituto de Matemáticas, Astronomía y Física* (IMAF), segundo os boatos, era muito difícil e, uma vez entrando, exigia muito tempo. Por via das dúvidas, fiz os vestibulares do IMAF e da Engenharia; consegui aprovação em ambos. Dois fatores me abriram definitivamente o almejado objetivo: uma bolsa de estudos e o decidido apoio do meu irmão Eduardo, à época estudante de engenharia que trabalhava na fábrica de aviões.

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

Um cientista que estava nos meios de difusão era Werner von Braun, pela sua experiência na área de foguetes e por ser responsável pelo projeto espacial americano. Ele deu palestras em diversos lugares, entre eles a Universidade Nacional, em Córdoba. No meio local, o Dr. Bernardo Houssay, argentino que recebera o prêmio Nobel de Medicina em 1947, era uma referência nos veículos de comunicação e nas escolas, no sentido de que nós também podíamos “fazer ciências”. Mas sem dúvida, Albert Einstein era quem mais povoava o imaginário

dos jovens com inclinação científica, e não era diferente comigo.

Nos últimos anos do secundário, adquirimos algumas noções de teoria da Relatividade Especial. Havia dois professores, os engenheiros Cervi e de Lupi, que mantinham embates sobre o tema. O primeiro se posicionava contrário à Relatividade Especial, contestando a constância da velocidade da luz, que na teoria é um postulado. Quero lembrar que a possível dependência da velocidade do fóton em função da sua energia é o que hoje chamamos relação de dispersão, mostrando a relevância desta discussão. No meu caso, o embate entre os dois foi importante porque, mesmo com vagas noções do assunto, mantive a minha curiosidade pela Teoria da Relatividade.

RBA: Nos diga brevemente sobre como foi sua formação, que professores foram marcantes na tua trajetória ?

Como estudante de graduação, trabalhei com Phillips C. Keenan (do sistema MK), buscando indicadores de abundâncias metálicas em estrelas observadas com o espectrógrafo estelar instalado no foco Cassegrain do telescópio de 60 polegadas de Bosque Alegre. Também tive aulas com Gerard de Vaucouleurs, quem assistiu nas observações de galáxias, no foco Newtoniano do mesmo telescópio. Tive aulas também com Fritz Zwicky. Todos cientistas renomados nas suas respectivas áreas que ampliaram a minha percepção dos estudos astronômicos. Mas, quem mais me influenciou e inclinou o fiel da balança para a Astronomia ao invés da Matemática ou da Física e, em particular, me inclinou ao estudo das galáxias, foi José Luis Sérsic, à época um jovem pesquisador do Observatório Astronômico de Córdoba e professor do IMAF. Ele tinha muita personalidade e uma imaginação muito fértil. Mesmo que mui-

tas das suas ideias não fossem corretas, como a sua insistência na termodinâmica como motor da formação e evolução das galáxias, ele tinha uma argumentação muito aguda e profunda. Ele era um estudioso contumaz e entusiasta das discussões com os estudantes.



Acima: Visita de de Vaucoulers ao Observatório de Córdoba. Na foto estão: Horácio Dottori, E. Agüero, N. Almada, José L. Sérsic, J. H. Calderón, G. Carranza e Miriani Pastoriza.

RBA: Como você vê a discussão da Escola Sem Partido hoje em dia ?

Lamento dizer que não entendo o conceito. Eventualmente, é o Brasil sem partidos, porque a existência dos partidos é efêmera e se movimenta permanentemente. Em 36 anos de docência, nunca usei um minuto de uma aula para discutir política. Não saberia como introduzir um conceito de partido político sem violentar uma aula de Astronomia, Matemática ou Física. No que diz respeito aos pensamentos políticos, acho que a representação dentro das universidades não é diferente do que fora delas. Mas a discussão das ideias filosóficas que devem sustentar os partidos, essas são o motivo da existência de boa parte das ciências sociais. Se analisarmos onde se formaram os políticos que nos representam, os ministros do STF e os ministros e secretários que auxiliam o poder executivo na ordem nacional, estadual e mu-

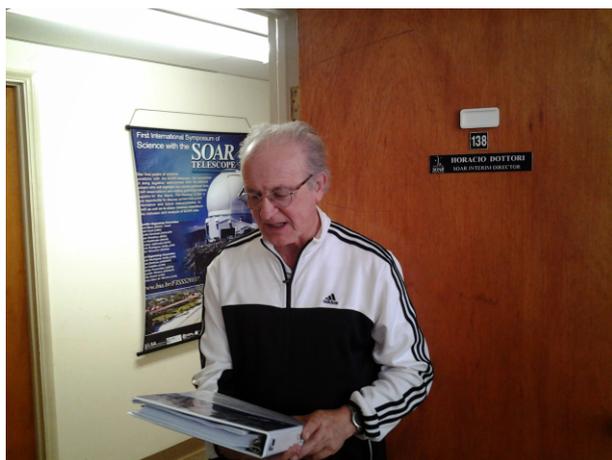
nicipal, teremos uma boa ideia da representação política dentro das universidades. Também veremos que, se “universidade sem partido” significa uma universidade sem a discussão dos princípios éticos, filosóficos e religiosos, que alicerçam a estrutura da nação brasileira, então o conceito não faz sentido.

No ambiente das chamadas ciências humanas, é impossível não discutir criticamente as grandes linhas de pensamento que sustentam o marco civilizatório no qual estamos inseridos, já que este é o *leitmotiv* destas disciplinas.

De resto, atividades dos diretórios estudantis e agremiações, em geral, são parte da vida universitária e devem reger-se pelas normas de convívio e respeito à pluralidade de ideias.

RBA: Como você vê a formação atual de físicos e astrônomos em relação à formação na tua época?

Acho que é melhor agora, porque no global dispõe-se de mais informação com muito melhor possibilidade de acesso. Os estudantes de hoje têm através de revistas eletrônicas de divulgação, como por exemplo *Quanta Magazine*, *Nature Briefing* e tantas outras, informação qualificada e sintetizada, sobre as mais diversas áreas das ciências. Em relação à Física e Matemática, existem cursos e páginas *online* que podem ser consultadas de imediato. A procura de bibliografia referente a algum tema está muito simplificada em relação à nossa época. Resolver um problema de 3 corpos com uma massa reduzida era um trabalho árduo na cadeira de Mecânica Celeste, quando eu era estudante, hoje existem programas disponíveis que permitem analisar a evolução de conjunto de massas puntiformes com recursos de computação modestos. Sem dúvida, atingir um patamar de conhecimentos básicos com mais profundidade, é melhor hoje do que há 50 ou 60 anos.



RBA: Na tua opinião faz sentido ter dois cursos separados, de Física e de Astronomia?

Na organização atual do ensino federal superior, as disciplinas de Física, Matemática e Química são ministradas pelos respectivos departamentos para todos os cursos. Independentemente desta determinação, sempre opinei que a Astronomia se beneficia da interação com a Física, que considero muito enriquecedora. Isto não pode ser forçado, mas deve ser facilitado através de seminários e atividades semelhantes, além das disciplinas curriculares. Na sua implementação, esta interação não tem uma solução única nem fácil, por razões políticas, históricas, de distanciamento físico e até pela tendência gregária inerente ao ser humano. No nosso caso concreto, o Observatório Astronômico existia como um serviço do Estado desde 1906, que se incorporou à Universidade Federal muito depois. O Eng. Batista Pereira, professor da Escola de Engenharia e segundo presidente do CNPq, desenvolveu trabalhos interessantes de óptica e construção de telescópios, mas o Observatório acabou se incorporando ao Instituto de Física da UFRGS, pela década de 70. Todas as atividades se desenvolviam dentro do Campus Central limitado a uns poucos quarteirões. O professor Edemundo da Rocha Vieira impulsionou a formação do De-

partamento de Astronomia, incumbido da administração e funcionamento dos observatórios Central e do Morro Santana. Assim, a especialidade já nasceu como Astrofísica, dentro do Centro de Pesquisas Físicas, que se transformou em Instituto de Física.

No meu caso, posso destacar a interação com o grupo de Óptica Quântica, com quem projetamos, desenvolvemos e construímos uma câmara de vácuo, que nós usamos para aluminizar o espelho do telescópio do Morro Santana, durante as décadas de 80 e 90.

RBA: Qual foi o trabalho que lhe deu mais prazer?

O conjunto de trabalhos sobre determinação de idades de regiões de formação estelar (comumente chamadas regiões HII). Primeiramente, desenvolvemos modelos sobre a evolução das larguras equivalentes das linhas de hidrogênio em emissão em função da idade das regiões HII. Fizemos medições de objetos das Nuvens de Magalhães com o telescópio de 60 cm do morro Santana e de galáxias com o telescópio de 1,6 m do Pico dos Dias. Para estas últimas construímos filtros interferenciais específicos, com a ajuda do grupo do professor Jarbas de Castro Neto, de São Carlos. Isto representou um avanço para a época em termos de tecnologia local. Destaco que estamos falando dos anos 80. Paralelamente, os modelos evolutivos foram aperfeiçoados por Marcus Copetti, no seu trabalho de doutorado. Embora foram aceitos vários trabalhos com medições de larguras equivalentes e a interpretação em termo de idades, tardou em torno de dez anos para o conceito ser aceito e validado por outros grupos em nível internacional. Este tipo de medições era excelente para as condições climáticas e atmosféricas pouco aptas para a Astronomia, como as dos telescópios mencionados.

RBA: Você prefere trabalhar sozinho ou em grupo?

A minha tendência foi sempre trabalhar com pequenos grupos de colaboradores ou sozinho. Entendo a necessidade de grandes consórcios, mas neste sentido, mais do que perder o trem da história acho que cheguei tarde à estação.

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?

As primeiras discussões, ao que me consta, ocorreram durante a Assembleia Geral da IAU no Rio, em 2009. A Sociedade Astronômica Brasileira ficou marcada por esta discussão ao longo da década passada. Em boa parte desse período, eu fui da diretoria da nossa Associação. Eu sou a favor da entrada na ESO e manifestei isso nas diversas votações que aconteceram.

Certamente, a entrada no ESO marcaria fortemente o desenvolvimento do nosso futuro, como pode ser constatado nas pesquisas dos colegas que já tiveram a experiência de trabalhar com aquelas instalações e equipamentos. Claro está que os custos são elevados e a década passada foi marcada por uma forte retração econômica de nosso país, o que inviabilizou a implementação em curto prazo desta entrada. De todas formas precisamos, como país, de um projeto estratégico e o ESO se constitui o ideal deste ponto de vista.

Não devemos esquecer, por outro lado, que existe uma colaboração muito avançada entre o Estado de São Paulo e o consórcio do GMT, que pode vir a influenciar este futuro, já que São Paulo possui a maior comunidade astronômica e o maior potencial econômico do Brasil.

RBA: Existem pelo menos duas maneiras de entender o desenvolvimento da ciência: uma onde a ciência progride através de quebras de paradigma (segundo 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 (conforme Ludwik Fleck). Como você vê essa questão?

Fleck, médico e virologista polonês de origem judaica, vem de uma tradição de médicos filósofos poloneses. Quando destaco esta tradição na sua formação, estou tacitamente tomando o particular ângulo da sua visão epistemológica: *“Saberes científicos estão associados a estilos de pensamento por sua vez vinculados aos coletivos de pensamento”*. No meu entender, as grandes escolas constituem coletivos com estilos diferenciados, que não deixam de existir, apesar das interações cada vez mais intensas e fluidas induzidas pelas formas modernas de comunicação. Para exemplificar, vou ensaiar um modelo local. Posso identificar coletivos na Astronomia brasileira? Entendo que sim, existem vários. Estes coletivos tem estilos próprios? Estimo que não, pois fomos beber em uma



multitude de fontes, de estilos diversos, cimentadas por séculos de trabalho astronômico. Este fato, *per se*, não é necessariamente negativo; pela sua diversidade, pode-se constituir numa vantagem estratégica, precisa ainda ser sedimentado e analisado criticamente no futuro.

Em relação ao pensamento de Kuhn, tanto a Teoria da Relatividade quanto a Mecânica Quântica representam quebra de paradigmas no âmbito das grandes teorias. A Teoria da Relatividade, porque mudou a interpretação dos fenômenos da eletrodinâmica e da gravitação; e a Mecânica Quântica, porque mostrou que as interações em escala microscópica são essencialmente distintas das macroscópicas. Uma mudança de paradigmas, obviamente, não altera o fenômeno, mas a percepção ou compreensão que temos dele. Neste sentido darei dois exemplos, um da gravitação e outro da Mecânica Quântica. Certa vez, numa aula sobre órbitas estelares em galáxias, um aluno questionou “*Como é possível que se trabalhe ainda com o conceito de movimento epicíclico?*”. A observação era procedente já que o conceito de epiciclo aparece no *Almagesto* de Ptolomeu (século II), na obra de Copérnico *Das Revoluções das Esferas Celestes* (1543) e em qualquer livro moderno de Mecânica Celeste. Contrariamente ao que pensava o estudante, os epiciclos são um fenômeno real do movimento relativo de corpos em torno de um centro de forças. O outro exemplo paradigmático é o experimento de Young. Ele serviu em 1801, para confirmar a natureza ondulatória da luz; porém, no século passado, teve de ser reconsiderado com base no conceito de onda-partícula, que neste experimento se materializa na interferência de feixes de luz ultrafracos, onde a distância média entre fótons é maior do que a que separa a fonte das fendas, e mesmo assim observa-se interferência. Estes representam para mim be-

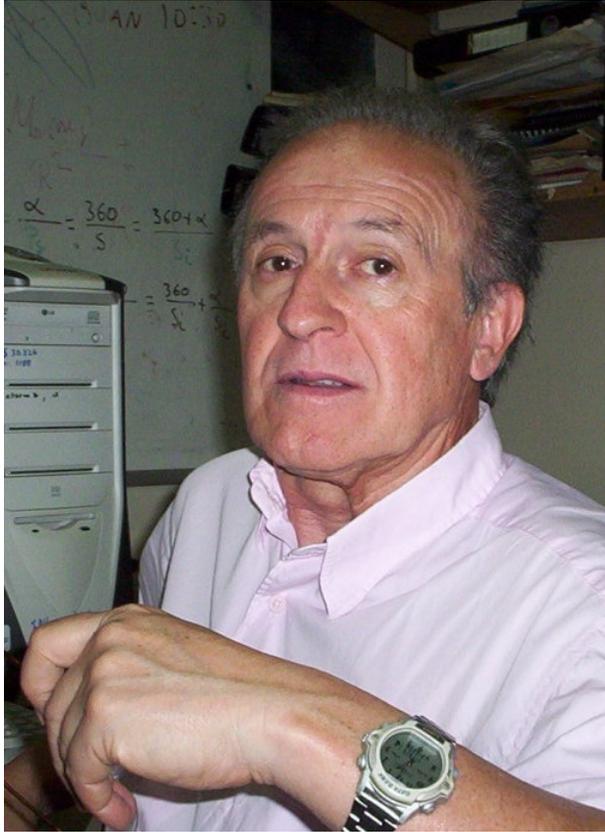
los exemplos do conceito kuhniano de mudança de paradigmas através de grandes revoluções do pensamento.

Chegou Kuhn a estas considerações quando tentou ler os *Principia* de Newton com o arcabouço do Cálculo Diferencial, sendo que Newton estava criando o conceito de cálculo na sua obra. Como o próprio Kuhn recomenda: “*não se deve ler os clássicos com o marco conceitual moderno da Física, mas no contexto dos paradigmas predominantes à época*”.

Essa exposição, um tanto longa, resultou-me necessária para dizer que do meu ponto de vista a visão de Fleck sobre a construção do conhecimento científico e a de Kuhn sobre a importância da mudança de paradigmas na evolução do conhecimento não são antagônicas, mas complementares.

RBA: Como você vê o progresso da ciência diante destas duas perspectivas?

Penso que ambas poderiam se enquadrar no conceito popperiano da “Experiência como método”. No meu entender, o elemento mais importante introduzido por Karl Popper, “*A falsabilidade como critério de demarcação*”, é de fundamental importância para demarcar o que é cientificamente aceitável e o que é pseudo-ciência. Vemos em momentos particularmente críticos, como os desta pandemia, como pessoas sem nenhuma formação se posicionam sobre medicamentos, questões cimentadas por anos de pesquisa e normalmente reservadas aos profissionais da Medicina. Na Astronomia, por exemplo, lidamos ainda com a Astrologia, que teve sentido alguma vez como motor de conhecimento mas, deixou de tê-lo faz vários séculos. Fato semelhante representa a Homeopatia para a Medicina. Assistimos a uma crescente presença do negacionismo em relação às vacinas, à esfericidade da Terra e tantos outros



fatos incorporados há séculos ao arcabouço do conhecimento científico. Não menos importante é o debate científico-religioso: Pode ou não a ciência coexistir com as religiões? De fato, coexiste; há cientistas crentes em centenas de religiões ao redor do mundo. Porém, duas coisas muito diferentes são: uma “verdade revelada”, fato da fé, incontestável para os crentes, e uma “verdade científica”, sujeita às premissas impostas pelo método, que muda na medida que avança o conhecimento.

Deste ponto de vista torna-se cada vez mais necessário para o cientista, ou o estudante de ciências, refletir sobre ciência e método.

RBA: Você acha que é preciso saber filosofia para fazer ciência ?

Não acho, mas que ajuda, não tenho dúvidas. Existem algumas visões pejorativas sobre a ca-

pacidade filosófica dos cientistas. Uma, particularmente chocante, diz “*um físico sabe tanto sobre o método científico quanto um peixe sabe sobre a hidrodinâmica*”. Eu entendo que não é tão grave a situação, já que aprendemos a liturgia do método científico, que em si é um método filosófico. Embora o termo “filosofia da natureza” tenha caído em desuso, o método científico é uma forma de entender a Natureza. Este se justifica pelo êxito alcançado desde que Galileu começou a confrontar a ideia que temos dos fenômenos naturais com os resultados que obtemos das medições destes fenômenos. Essencialmente, em Astronomia, seguimos agindo do mesmo jeito que Galileu, só usamos maiores e mais modernos telescópios para olhar mais longe e atingir maior precisão em nossas medidas.

RBA: O que você considera a maior revolução científica do século XX ?

A Teoria da Relatividade, englobando Geral e Especial, pela importância que teve na unificação do espaço e do tempo, os quais não são mais a arena onde se desenvolvem os fenômenos naturais, mas são parte desses fenômenos.

RBA: Alguma palavra final para aqueles que estão iniciando na carreira?

Seja crítico em relação a tudo o que lhe é apresentado bem como com aquilo que você faz. Lembre-se, a ciência é um corpo que nunca termina de realizar-se •

Horácio foi entrevistado por Reinaldo Ramos de Carvalho.



A Observação do Céu

Uma dúvida comum que muitos trazem aos astrônomos é como apreciar melhor a experiência de observação do céu e quais instrumentos adquirir. Neste artigo, pretendemos dar algumas dicas iniciais.

Basta olharmos para o céu estrelado que já nos envolvemos com a Astronomia! Pouca gente não olhou para as estrelas sem ficar imaginando os mistérios do Universo e o lugar que nele ocupamos. O fascínio exercido pela Astronomia é ainda mais arrebatador devido às facilidades com as quais qualquer pessoa pode participar de uma observação do céu.

A história da Astronomia está cheia de contribuições valiosas re-

alizadas por astrônomos amadores. Mesmo hoje em dia, quando astrônomos profissionais trabalham com equipamento caro e altamente sofisticado, ainda há lugar para que o observador comum, munido de um pequeno instrumento — binóculo ou lunetas — possa descobrir as maravilhas do Universo.

Se você tem interesse em astronomia e gosta de observar o céu, considere as seguintes sugestões para aperfeiçoar sua experiência.

Primeiro, você deve ter um pequeno conhecimento do céu, de preferência ser capaz de reconhecer as constelações. Um céu claro, sem poluição atmosférica e luminosa, já é um pré-requisito para a observação astronômica. Se estiver encoberto, nada poderá ser visto.

Se você olhar para o céu a olho nu à noite, verá vários pontos de luz. São as estrelas como o nosso Sol, mas estão bem mais distantes e que são bem diferentes. Se você olhar com mais acuidade, poderá ver que as estrelas não são todas da mesma cor. Algumas brilham em cor branca, outras em azul, outras em amarelo, laranja e vermelho. Isso pode ser visto melhor com instrumentos como binóculos, lunetas ou telescópio. As cores diferentes significam que as estrelas não possuem a mesma temperatura. Quando uma estrela é mais fria, emite mais luz vermelha. Quando a estrela é mais quente, emite mais no azul. Isso é uma pequena característica delas, pois existem outras que não serão mencionadas aqui.

Os astrônomos também medem o brilho aparente dos objetos que aparecem no céu, através da chamada magnitude. A escala de magnitudes é diferente da maioria das escalas que estamos habituados a utilizar, pois se trata de uma escala inversa. Nos astros mais brilhantes, a magnitude fica negativa. Como exemplo, temos a estrela Sirius, a mais brilhante do céu,



que tem magnitude $-1,5$; o planeta Vênus, $-4,5$; a Lua cheia, -13 ; o Sol, -27 .

A Astronomia Observacional é um passatempo gratificante e bem fácil para quem deseja começar. Em princípio, você pode começar com um simples binóculo ou uma luneta. No entanto, se você já tem um bom conhecimento e lida com a astronomia há mais tempo, e os binóculos já não atendem aos seus desejos, você poderá usar uma luneta ou um telescópio. Livros e revistas, além de softwares específicos para Astronomia, podem ser baixados em smartphones e computadores, ajudando-lhe a compreender melhor a abóboda celeste e os astros existentes nela, que cruzam diariamente nosso céu.

Acima

Um planisfério é uma esfera celeste planificada, que deixa à mostra apenas a parte do céu que é visível ao longo do ano, em uma determinada região da Terra. A aparência do céu visível em um determinado lugar, depende da hora do dia, da época do ano e da latitude do lugar.

Na página anterior

Algumas noites de observação do céu podem ser promovidas por instituições públicas e museus em parceria com clubes de astronomia locais. Uma delas foi promovida em 2019 pelo Museu do Amanhã, no cais do Porto do Rio de Janeiro (Crédito: Acervo pessoal de Carlos Ayres).

Quem já conhece bem o céu, diz que leva cerca de um ano para saber aproximadamente onde assistir e qual astro estará posicionado para observá-lo. No entanto, você deve escolher inicialmente uma área menor para observação do céu, e não pretender observar o céu inteiro de uma vez. É mais fácil encontrar objetos no céu que já são visíveis a olho nu, do que aqueles que você não pode ver sem instrumentos. Só mais tarde, e com uso de equipamentos ópticos apropriados, você poderá escolher objetos que não são visíveis aos nossos olhos, ou que também são visíveis, mas que exigem proteção especial, como o nosso Sol.

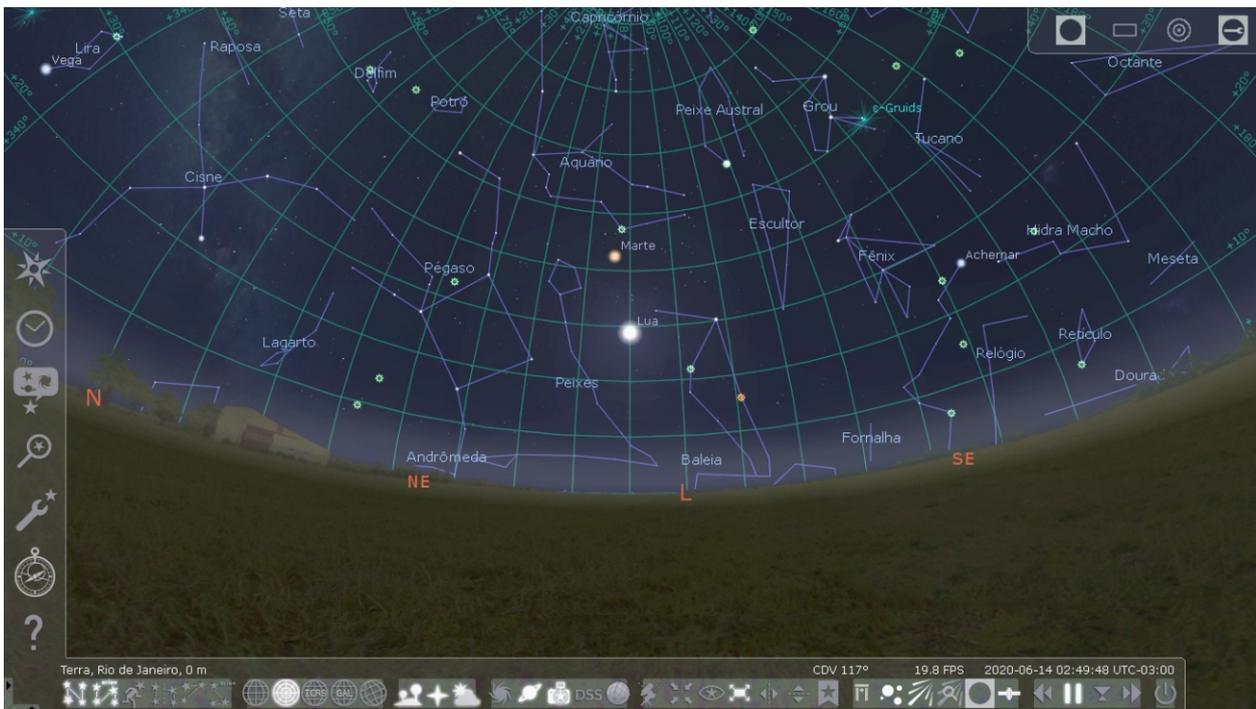
Na verdade, o leque da observação astronômica é bem grande para o público leigo. Se você está

pensando em se aprofundar mais e comprar um telescópio, têm que saber quais serão os objetivos da sua observação, determinando assim, o tipo de equipamento certo que você deverá comprar. Se você também pretende tirar fotos dos astros, as chamadas astrofotos, e ser um astrofotógrafo iniciante, também deverá pensar em qual equipamento usar em conjunto com um telescópio. A princípio, você pode usar seu smartphone com um suporte adaptador sobre a ocular do telescópio, no que é chamado método afocal.

Tendo já um pouco mais de experiência, você poderá adquirir câmeras que possam ser acopladas ao focalizador dos telescópios (as chamadas câmeras dedicadas), que podem ser ligadas ao seu notebook ou PC via USB. Assim, vo-

Abaixo

Stellarium é um planetário de código aberto para o seu computador. Ele mostra um céu realista em três dimensões igual ao que se vê a olho nu, com binóculos ou telescópio.



cê será capaz de observar, fotografar e filmar ao mesmo tempo na tela do seu computador.

Com algumas informações importantes já colocadas aqui, é preciso esclarecer ao público leigo, que a Lua, o Sol, as estrelas e os planetas, não são os únicos astros observáveis no céu noturno. Também existem aglomerados estelares, nebulosas e galáxias, que podem ser vistos mesmo a olho nu, mas em locais afastados das grandes cidades, devido à poluição luminosa, mas para ver melhor, requerem o uso de telescópios. Outro ponto importante a ser destacado é que o estudo do céu, nem sempre exige o uso de telescópios, uma vez que binóculos e lunetas simples, também atendem uma observação satisfatória para determinados os astros.

Por isso, estar com astrônomos amadores mais experientes, traz uma boa vantagem para quem está começando. Isso significa que você pode aprender muito, trocando ideias e obtendo informações, que só na prática observacional é possível.

Começar a observar os astros, não é tão difícil quanto parece. Se você ler livros, revistas e buscar informações na Internet sobre observação astronômica com antecedência, já facilitará muito o aprendizado. Na verdade, o segredo da observação do céu, está na capacidade de identificar os astros. Quando sabemos quantas são as constelações (88, ao todo) e as

mais famosas, os planetas, os aglomerados, as nebulosas e as galáxias visíveis, em uma determinada noite, você já progredirá muito no sentido de interpretar o céu.

As observações astronômicas monitoradas por astrônomos amadores do CARJ (Clube de Astronomia do Rio de Janeiro), em parceria com astrônomos profissionais do Observatório do Valongo e do Observatório Nacional, são um grande exemplo aqui no Rio de Janeiro, para quem deseja observar e aprender a identificação dos astros no céu, assim como ter

Primeiros instrumentos para iniciar a observação dos astros

Binóculos

Os binóculos oferecem um campo de visão muito maior. Binóculos são geralmente fáceis de usar e um tripé estável é recomendado. Você pode usar binóculos sem um tripé, mas geralmente é melhor com um tripé, para evitar a trepidação da imagem. Um binóculo simples é relativamente barato, adequado para observadores terrestres. No entanto, se você quiser fazer observações astronômicas, recomenda-se um binóculo mais potente (20×50), e que seja de boas marcas (Bushnell, Celestron e Orion).

Luneta (Telescópio Refrator) e Telescópio Refletor

A principal diferença entre os dois instrumentos está no nível do seu sistema óptico, frequentemente confusos para a maioria das pessoas. A literatura inglesa também emprega o termo *telescópio de refração* para luneta, que usa só lentes, e *telescópio refletor*, para um telescópio que usa espelhos. Muitos iniciantes que compraram seu primeiro telescópio ou até receberam um de presente, são imediatamente confrontados com a pergunta: o que pode ser observado primeiro no céu? Sem dúvida alguma é a Lua, pois é o astro mais interessante para um leigo ver pela primeira vez ao telescópio.



Acima

Lua capturada por celular em método afocal — lente do celular sobre a ocular do telescópio (Crédito: Carlos Ayres).

a oportunidade de mexer e operar telescópios, sob a orientação de experientes monitores e professores de Astronomia.

Mas para quem deseja observar o céu a olho nu, sem nenhum equipamento ou tecnologia, inclusive smartphones e seus apps, existe o planisfério celeste, um tipo de gráfico de estrelas, que é pré-definido para indicar o posicionamento dos objetos no céu, em qualquer data e hora do dia.

É pequeno, portátil e muito fácil de usar, uma ferramenta muito útil para identificar objetos vistos no céu ou localizar objetos específicos de interesse.

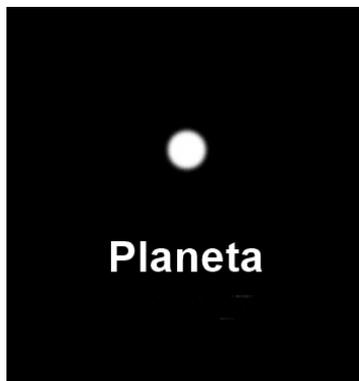
Os planisférios são projetados para serem corretos para uma determinada latitude do observador em particular, mas também são úteis em uma variedade de latitudes.

No entanto, para quem tem um computador, a melhor ferramenta para apresentar os astros no céu é o aplicativo *Stellarium*, que pode ser baixado gratuitamente, é livre e leve, fácil de instalar em qualquer computador e sistema operacional. Ele é basicamente, um planetário na tela de seu computador, permitindo exibir todos os astros do céu conhecido, em qualquer época e local, com marcações, delimitando constelações de diferentes culturas, podendo também ser personalizado pelo usuário •

Carlos Ayres
Clube de Astronomia do RJ
cjayres@gmail.com

Ao lado

Diferença clássica entre uma estrela e um planeta, vista num telescópio.



Objetos a serem observados com um telescópio

Lua

A Lua é geralmente a primeira a ser vista através de um telescópio. De fato, sua proximidade com a Terra, a torna muito facilmente observável e o alvo preferido, muito mais que os planetas. Mesmo com um binóculo ou um pequeno telescópio, você já consegue ver muitos detalhes! Se você nunca a viu num telescópio, ficará surpreso com a beleza do espetáculo que ela nos oferece e com todos os detalhes que podemos admirar. Esse sentimento mágico não desaparece após a primeira observação, mas permanece presente para sempre. É por isso que, não importa quantos anos os astrônomos tenham de experiência, a maioria deles nunca se cansa de olhar para ela. A Lua está coberta de relevos interessantes, como as crateras, onde a maioria delas foi causada por impactos de meteoros, que ocorreram durante sua existência. Quanto mais poderoso for o telescópio, mais detalhes são vistos. Mas há momentos em que a Lua não está no céu, e, para um neófito, é difícil diferenciar o que é aquele ponto de luz no céu, se é um planeta e/ou uma estrela. No entanto, com algum conhecimento e um bom local de observação com um céu escuro, é bastante fácil diferenciá-los um do outro.

Planetas e Estrelas

Uma das diferenças fundamentais entre uma estrela e um planeta, é ver se o objeto pisca ou, pelo contrário, tem uma luz constante. Para isso, é recomendado prestar atenção nas dicas abaixo:

- As estrelas cintilam, ou seja, têm níveis variados de intensidade de luz, devido a passagem dessa pela nossa atmosfera;
- Um planeta reflete apenas a luz que recebe de uma estrela, portanto seu brilho é constante;
- No telescópio, os planetas certamente apresentam uma luz homogênea, mas seus limites são de intensidade variável.

Planetas que podem ser vistos a olho nu, são: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno e Urano (esse último, só em condições especiais). Júpiter e Saturno são os melhores planetas a serem observados por um telescópio. Júpiter pelas nuvens que aparecem como faixas na sua atmosfera, assim como as suas quatro luas galileanas, chamadas assim, pois foi Galileo Galilei que as descobriu. Saturno pela beleza inigualável dos seus anéis. Já Netuno, somente para astrônomos amadores e que possuem telescópios com boa abertura.

Galáxias, Aglomerados e Nebulosas

Podemos ver numa noite sem Lua e afastado das grandes cidades, o centro da nossa Galáxia, a Via-Láctea, formada por milhares de estrelas, que aparece como uma grande mancha branca, daí o seu nome. Todas estas estrelas fazem parte da nossa galáxia em que o nosso Sistema Solar está localizado. É possível observar outras galáxias a olho nu: a galáxia de Andrômeda, a Grande Nuvem de Magalhães e a Pequena Nuvem de Magalhães. Já aglomerados estelares visíveis a olho nu, podemos destacar as Plêiades (M45), Híades e Praesepe (Messier 44). Já a Constelação de Órion, que abriga a famosa Nebulosa de Órion (M45), também possui diversos objetos do céu profundo, sobretudo nebulosas. A mais notável é a Nebulosa de Órion, única visível a olho nu, e que está a cerca de 1.500 anos-luz da Terra, na verdade, um berçário estelar.

O que há entre as estrelas?

O Meio Interestelar revisitado na era dos grandes levantamentos

O espaço entre as estrelas pode ser extremamente rarefeito, em comparação com as condições da nossa atmosfera, mas está longe de ser vazio. E esse gás interestelar está ganhando cada vez mais atenção dos astrônomos profissionais.

Se as estrelas sempre fascinaram e atraíram os olhos e mentes humanas, o meio entre elas nem sempre recebeu igual atenção, mesmo entre os astrônomos profissionais. Uma pesquisa rápida em buscadores especializados, por tópicos de assuntos publicados nos

últimos 30 anos, mostra que o tema *meio interestelar* aparece em cerca de 5 a 10% das publicações em Astronomia e Astrofísica.

Mesmo com um papel coadjuvante na Astronomia, o meio interestelar já estava presente na descrição dos modelos cosmológicos mais primitivos. Para expli-

car o movimento diurno (movimento aparente dos astros, em função da rotação da Terra), as primeiras civilizações concebiam esferas ou rodas girantes, na qual as estrelas eram representadas como furos em uma estrutura (pelos quais passava a luz do fogo divino) ou eram objetos celestes fixados (em estruturas cristalinas). Independente da concepção, previa-se um meio material entre as estrelas.

O estudo científico do meio interestelar iniciou no século XVII, com a implementação do método científico e o uso de telescópios. Isto levou à descoberta das nebulosas, objetos celestes fixos como as estrelas, mas de aspecto extenso e nebuloso, com formatos e luminosidades variadas. Vários astrônomos elaboraram catálogos delas, destacando-se o francês Charles Messier e o alemão (naturalizado inglês) Frederick William Herschel. Seu aspecto sugeria uma natureza gasosa, mas somente em 1864, o inglês William Huggins observou pela primeira vez, o espectro da Grande Nebulosa de Órion e concluiu que ele mostrava linhas de gases quentes. O advento da fotografia na observação astronômica, a partir da segunda metade do século XIX, possibilitou trabalhos mais apurados das nebulosas, como o dos americanos Edward Emerson Barnard e Max Wolf, que fizeram inúmeras imagens de nebulosas escuras entre 1895 e 1919, inter-

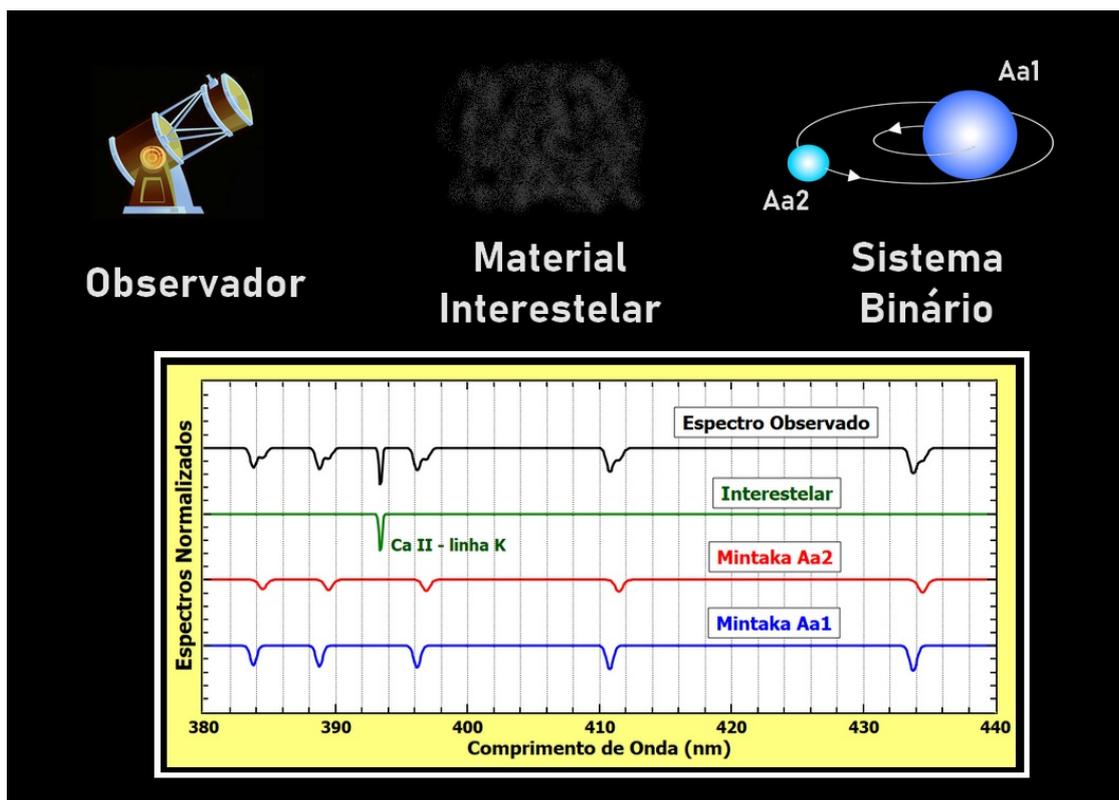
pretando-as corretamente como nuvens de gás e poeira, que obstruíam a luz das estrelas de fundo da Via-Láctea.

A prova definitiva da existência de material no meio interestelar, foi obtida em 1904, pelo alemão Johannes Franz Hartmann, quando observava o espectro da estrela binária principal do sistema estelar Delta Orionis (mais conhecida como Mintaka, uma das Três Marias). Ele encontrou que a linha K do íon Ca^+ (na parte violeta do espectro visível), aparecia em absorção e não estava associada ao sistema. Concluiu que a linha só poderia vir de algum material gasoso entre a estrela e o observador.

Durante o século XX, o conhecimento acerca do meio interestelar sofreu evolução notável, não só pelo aumento do número de pesquisas, mas também pela evolução tecnológica, sobretudo com o surgimento da radioastronomia e da era espacial, que possibilitou observatórios fora da atmosfera e acesso às regiões do espectro outrora inacessíveis. Antes, os trabalhos pioneiros do americano Vesto Slipher, em 1912 e do suíço (naturalizado americano) Robert Julius Trumpler, em 1930; evidenciaram a presença de poeira no meio interestelar e o conseqüente efeito da extinção e avermelhamento da luz dos astros ao atravessar este meio. A análise da extinção interestelar continua, até hoje, uma importante ferramenta para

Na página anterior

Região do céu na direção da nuvem molecular de Rho Ophiuchi. A imagem é uma composição RGB que mostra, em azul, a banda R do DSS2; em verde, a emissão na banda de $4.6 \mu\text{m}$ do WISE-ASS; e em vermelho, a emissão na banda de $12 \mu\text{m}$ do WISE-ASS. A radiação no infravermelho médio, possibilita a visualização de inúmeros objetos estelares jovens, bem como a emissão da poeira associada à nuvem (Créditos: DSS2: AAO, ROE, CalTech, STScI, JPL/NASA).



Acima

A componente principal de Mintaka, uma das Três Marias, é uma estrela binária. As linhas de seu espectro oscilam para comprimentos de onda menores e maiores em um período de 5.73 dias conforme a movimentação das estrelas desse par, de acordo com o conhecido efeito Doppler-Fizeau. Em 1904, Hartman observou que o espectro do par não resolvido continha a linha K do Ca⁺, que era atípica para o sistema. Foi a primeira observação documentada de uma banda de absorção associada a material interestelar.

estudar as propriedades, composição e estrutura do meio interestelar.

Em 1951, os americanos Edward Purcell e Harold Ewen observaram pela primeira vez, a famosa linha de 21 cm do átomo neutro de hidrogênio em ondas de rádio, provando que o meio interestelar também tinha vastas quantidades de átomos neutros. A observação desta linha possibilitou o mapeamento da distribuição de matéria no disco da Via-Láctea, mostrando que ela era uma galáxia com braços espirais. Mais tarde, foram observadas as primeiras transições rotacionais (em ondas de rádio) de moléculas no meio interestelar: em 1969, os americanos Lewis Snyder, David Buhl e

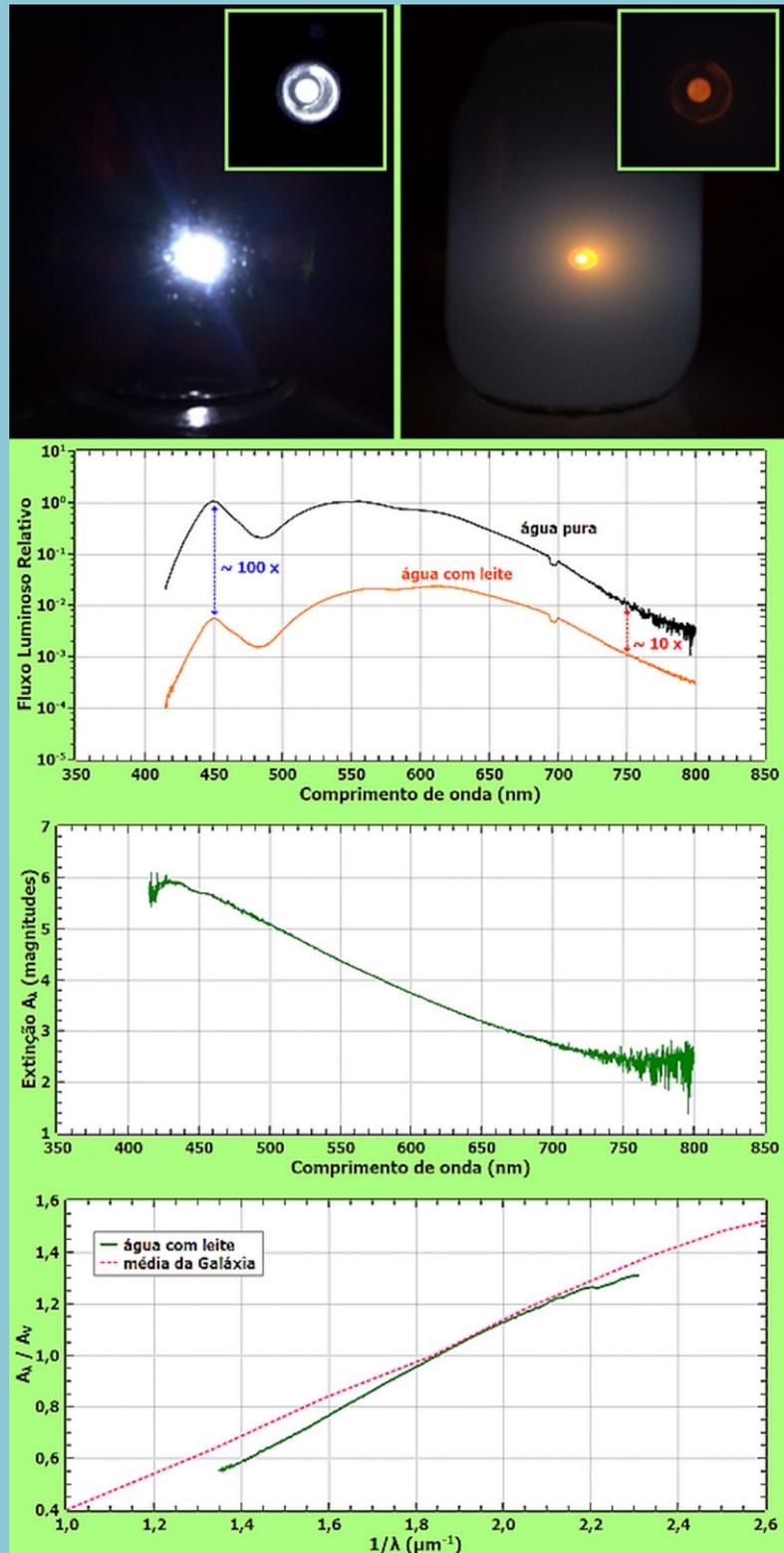
Ben Zuckerman detectam formaldeído (H₂CO); em 1970, os americanos Arno Penzias e Robert Wilson (os mesmos que observaram pela primeira vez a radiação cósmica de fundo), detectaram o monóxido de carbono (CO). Também na década de 70 do século passado é que tivemos os primeiros observatórios espaciais no ultravioleta e no infravermelho, abrindo novas janelas para o estudo do meio interestelar.

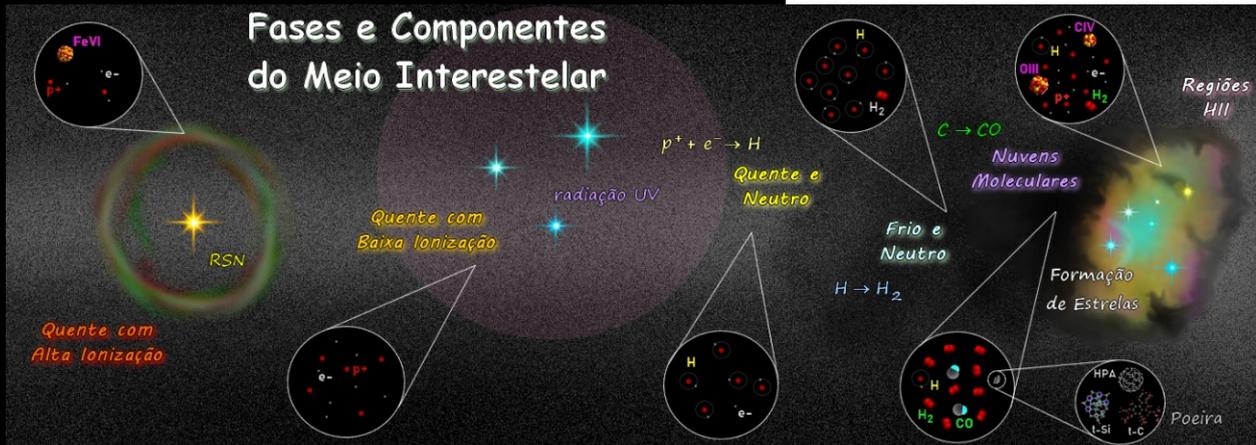
Características do meio interestelar

O meio interestelar está longe de ser vazio. Ademais, é necessário entendê-lo como um meio fluido, multifase, multicomponente, translúcido e turbulento; no qual ocor-

Ao lado

A extinção interestelar pode ser entendida em um experimento caseiro, usando uma pequena lanterna de LED branco, um pote de vidro cheio de água e algumas gotas de leite. Quando observamos a luz da lanterna de LED branco através da água, praticamente não vemos alteração em seu brilho e sua coloração branco-azulada. Mas se misturamos cerca de 20 gotas de leite para cada litro de água, a situação muda: a luz não só é atenuada, como sua cor parece avermelhada. No laboratório de Técnicas Observacionais em Astrofísica da UNIFEI, vamos além e obtemos o espectro desta luz, em ambas as situações, como mostra o primeiro gráfico, de cima para baixo. É notório que a atenuação da luz é seletiva, porque seu espectro, ao atravessar a mistura água com leite, tem queda de brilho muito mais intensa no azul do que no vermelho. O segundo gráfico, de cima para baixo, mostra justamente a extinção, em magnitudes, por comprimento de onda. Neste experimento, temos cerca de 6 magnitudes de atenuação no azul e somente 2 magnitudes, no vermelho. A explicação para isto é que a luz interage com as partículas do leite, em suspensão na água, sendo absorvida ou espalhada (note como o pote fica iluminado por luz difusa, com o leite), mas de modo seletivo, conforme o comprimento de onda da luz incidente. Como a física da interação da luz com as partículas do leite é similar à interação com as partículas do meio interestelar, temos praticamente os mesmos efeitos de extinção, como atesta o último gráfico, embaixo, comparando os resultados do experimento com a curva de extinção média do meio interestelar da Via Láctea





Acima

As componentes e fases do meio interestelar estão esquematizadas nesta ilustração. O Gás Quente com Alta Ionização ocupa cerca de metade do volume do meio interestelar, com temperaturas altíssimas, mas densidades muito baixas. Ele é formado principalmente por remanescentes de supernovas (RSN). A segunda componente em volume é o Gás Quente com Baixa Ionização, bastante comum no Disco Galáctico, formado pelo campo de radiação ionizante (sobretudo UV) das estrelas. Nas regiões um pouco mais densas, existe uma interface, o Gás Quente e Neutro, que é instável termicamente. Nele, ocorre a recombinação de íons e elétrons. Para densidades ainda maiores, aparece o Gás Neutro e Frio, a componente que detém quase a metade da massa do meio interestelar. Nestas regiões, a densidade e o reduzido fluxo radiativo permite que átomos formem moléculas simples. Ocupando apenas 1% do volume do meio interestelar, temos as regiões mais densas: as Nuvens Moleculares, onde moléculas mais complexas podem formar-se; são também as regiões que concentram a maior quantidade de poeira (embora a poeira esteja presente em todas as componentes). A Poeira interestelar é formada por compostos moleculares complexos, com três componentes principais: Silicatos (t-Si), Carbonáceos (t-C) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs). Nas Nuvens Moleculares pode ocorrer a formação de estrelas e, naquelas maiores, estrelas de grande massa nascentes formam as chamadas Regiões HII, ionizadas pela emissão de radiação UV destas estrelas. Embora sejam regiões com gás quente e ionizado, as Regiões HII diferem pelas densidades altas, ionização parcial e tempo de vida curto.

re uma fenomenologia complexa, em termos de evolução física e química, acoplado aos outros componentes da Galáxia. Elétrons, íons, átomos neutros e moléculas compõem o gás do meio interestelar, podendo estarem juntos ou em ambientes e fases distintos. Em massa, o meio interestelar tem cerca de 10 a 15% da massa total da Via Láctea. O gás responde por 99% da massa do meio interestelar e é composto de 70% de hidrogênio, 28% de hélio e apenas 2% de outros elementos (chamados coletivamente de metais). A poeira responde por apenas 1% da massa total, mas tem grande importância na formação de moléculas e no balanço radiativo, térmico e químico do meio interestelar.

Componentes gasosas e plasmas

O gás do meio interestelar é composto principalmente de hidrogênio, sendo 2/3 na forma atômica e 1/3 na forma molecular. O hidrogênio atômico é principal-

mente observado com a linha de 21 cm, mas o hidrogênio molecular, por ser uma molécula diatômica simétrica, não possui transições de dipolo, o que dificulta muito a sua observação. Assim, o gás molecular é principalmente observado com a segunda molécula mais abundante, o monóxido de carbono (CO). Muitas outras moléculas já foram observadas no meio interestelar, contabilizando 221 espécies, até o presente momento. Na Via Láctea, o gás molecular mais denso está concentrado na região central, dentro de 2 kpc de raio, bem como no chamado anel molecular do disco galáctico, entre 4 e 6 kpc.

O gás também aparece disperso, geralmente na forma de plasma (gás ionizado) no meio interestelar. O plasma ocupa cerca de 80% do volume do meio interestelar, mas tem somente 25% da massa de gás. Está associado a fenômenos energéticos, como supernovas, que provocam imensas bolhas no meio interestelar via ondas de choque; bem como ao campo de radiação ionizante, provocado pelas estrelas da Galáxia.

Poeira interestelar

A poeira do meio interestelar não deve ser entendida como a poeira terrena do nosso dia a dia. A maioria dos grãos dessa poeira são nanopartículas, tipicamente compostos moleculares grandes; como o fulereno, uma molécula de 60 átomos de carbono, organi-

zados e ligados de forma esférica, lembrando muito uma bola de futebol. A análise das curvas de extinção, da emissividade no infravermelho, da polarização da luz e de algumas assinaturas espectrais indicam que a poeira interestelar é composta principalmente por três tipos: silicatos amorfos (principalmente óxidos), carbonáceos amorfos (aromáticos e alifáticos) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Os componentes principais desta poeira seguem as abundâncias universais: carbono, oxigênio e hidrogênio, combinados com magnésio, silício e ferro. Em menor monta aparecem sódio, alumínio, cálcio e níquel.

A poeira está sujeita à interação com o campo de radiação e o próprio gás, podendo apresentar formas e composições distintas, conforme as características do meio em que se forma. Existem evidências observacionais que os grãos de poeira das regiões menos densas sejam menores e menos complexos do que os de regiões mais densas. Interações com o gás mais denso podem favorecer o depósito de substâncias, formando mantos de material mais leve, que cobrem o grão. A própria transformação direta de hidrogênio atômico em hidrogênio molecular tem baixíssima eficiência no meio interestelar, sendo que os grãos interestelares provavelmente servem como catalizadores no processo.

Nuvens interestelares

O gás neutro (atômico e molecular) pode concentrar-se e formar estruturas mais densas — as *Nuvens Interestelares*. As nuvens moleculares são as regiões mais densas e frias do meio interestelar. Existe relação entre as propriedades das nuvens interestelares e o ambiente galáctico onde elas estão inseridas. Isto sugere que sua formação e evolução depende da dinâmica do gás na Galáxia. Elas são estruturas filamentosas e possuem distribuição hierárquica de densidade.

Em condições físicas propícias, ocorre a formação de estrelas nas partes mais densas das Nuvens. A eficiência de formação de estrelas (transformação de massa de gás em massa de estrelas) é pequena — perto de 1%. A distribuição estatística de massa das regiões mais densas apresenta similaridade com a distribuição de massa inicial das estrelas.

De modo geral, o tempo de vida das nuvens está associado ao ambiente galáctico em que ela se forma e aos eventuais processos de formação estelar em seu interior, que a dissipam em poucos milhões de anos. Assim, estrelas ainda jovens podem aparecer isoladas, uma vez que as nuvens que as geraram foram dissipadas.

Fenômenos físico-químicos

O gás do meio interestelar está sujeito ao potencial gravitacional

e à dinâmica geral da Galáxia. Ele responde ao padrão de onda espiral do disco galáctico, concentrando-se nos braços espirais, bem como à instabilidades rotacionais. Além disso, vários outros fenômenos energéticos geram ondas de choque supersônicas no meio interestelar, como a ação de supernovas, ventos estelares, colapsos gravitacionais e efluxos estelares. Desta forma, o gás pode concentrar ou dispersar, dependendo da situação e sofrer alterações nas suas condições físicas. A turbulência assume um papel muito importante; podendo agir como elemento aglutinador ou dispersor do gás. Aparentemente, ela influi muito na eficiência de formação estelar e no tempo de vida das nuvens.

O balanço térmico do meio interestelar é complexo, com vários fenômenos aquecendo o meio interestelar (ondas de choque, absorção de radiação, ionização, raios cósmicos, etc), ao passo que o resfriamento é principalmente radiativo (seja na forma de emissão contínua ou de linhas espectrais). A poeira assume papel importante neste balanço, sobretudo nas regiões mais densas.

O meio interestelar também participa do balanço de massa e químico, no processo evolutivo das galáxias. De modo geral, galáxias jovens apresentam grande conteúdo de gás, alta taxa de formação de estrelas e conteúdo de metais irrelevante. Com os ele-

mentos de maior número atômico sendo forjados principalmente no interior de estrelas de grande massa, eles irão enriquecer o gás do meio interestelar quando essas explodirem em supernovas. As novas estrelas formadas neste gás enriquecido terão maior quantidade de metais. Este processo de troca de material com a componente estelar e enriquecimento químico do meio interestelar continua, enquanto houver gás suficiente para a formação de estrelas.

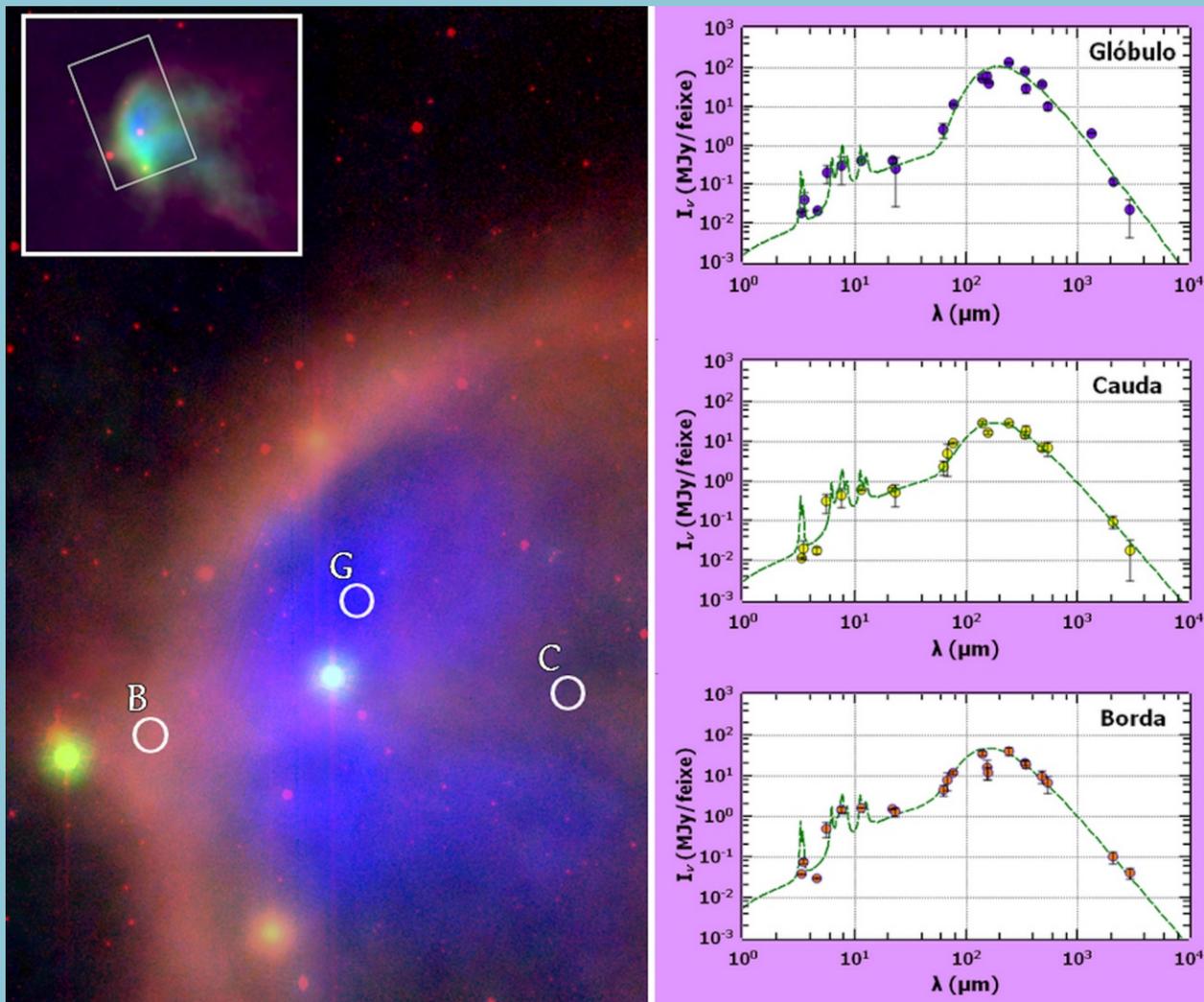
Novos levantamentos, novos resultados

A Astronomia e Astrofísica tem experimentado uma mudança de paradigma na forma de fazer ciência e obter novos resultados; particularmente nos últimos 30 anos: o pesquisador e seu esforço individual tem dado lugar ao consórcio científico. Estes reúnem múltiplos pesquisadores, de várias instituições e nações, com esforços e gastos divididos; em torno de grandes projetos observacionais e/ou objetivos científicos comuns. Isto tem permitido uma nova era de instrumentação e levantamentos de dados astronômicos, requerendo do astrônomo ou astrofísico contemporâneo novas habilidades computacionais. Também tem levado à criação de bancos de dados astronômicos públicos, que possibilitam uma quantidade muito grande de trabalhos científicos na atualidade e no futuro. Vários destes levantamentos têm fornecido

uma quantidade de dados incensuráveis, ao ponto de não poderem mais ser explorados, se não por ferramentas computacionais específicas.

Para a pesquisa do meio interestelar, não foi diferente, mesmo que consórcios não tenham sido construídos especificamente com este objetivo. Levantamentos feitos no infravermelho (1 a 300 μm) e microondas (0,3 a 1 cm) levaram a novos resultados na análise e caracterização da formação estelar, bem como das características da poeira interestelar. Entre os realizados em solo, destaca-se o 2MASS (*Two Micron All Sky Survey*, 2001). Mas os principais resultados vieram dos observatórios espaciais, como o Spitzer (NASA, 2003), Akari (JAXA, 2006), Planck (ESA, 2009) e Herschel (ESA & NASA, 2009). Estes levantamentos permitiram traçar um quadro claro da distribuição da poeira na Galáxia, com medidas de emissão e polarização, levando à estimativas do campo magnético galáctico. Mostraram também que as nuvens interestelares têm distribuição fractal e natureza filamentar e que a formação estelar depende especificamente de condições ambientais nas quais as nuvens são formadas, só ocorrendo para densidades muito grandes. A distribuição de massa inicial das estrelas reflete basicamente a distribuição linear de massa destes filamentos.

Igualmente importante é o le-



Acima

Ajustes da emissividade da poeira interestelar na direção da nuvem interestelar CG13, na região da IRAS Vela Shell. Esta nuvem está sob ação de radiação ionizante e forma uma borda brilhante no infravermelho médio, associada à região fotoionizada. Na imagem pequena, em cima, vemos a nuvem em um campo de 30' de arco de lado. O detalhe destacado é o que vemos na imagem ampliada, em composição RGB: em vermelho, a emissão em 7.6 μm (Spitzer-IRAC-C4); em verde, a de 77 μm (Akari-FIS-WS); em azul, a de 341 μm (Herschel-Spire-PMW). As três regiões onde avaliamos a emissividade da poeira estão marcadas na figura: B (borda), G (Glóbulo) e C (Cauda). Embora as três distribuições espectrais pareçam similares, elas tem diferenças sutis no infravermelho médio e valores de pico, que revelam diferenças na composição, temperatura e campo de radiação ambiente a que a poeira está submetida. Os ajustes foram efetuados com o THEMIS (*The Heterogeneous dust Evolution Model for Interstellar Solids*). Créditos das imagens públicas: Spitzer: Spitzer Space Telescope/IRSA/IPAC/NASA. Herschel: Herschel Science Center/ESA. Akari: ISAS/JAXA, imagem obtida com a interface eletrônica SkyView (High Energy Astrophysics Science Archive Research Center (HEASARC) at the NASA/ GSFC Astrophysics Science Division).

vantamento do telescópio espacial Gaia (ESA, ainda em operação) na região do visível, fornecendo fotometria precisa e homogênea de todo o céu (o que não existia antes), bem como determinando a distância das estrelas por paralaxe. Isto permite determinar com maior precisão, através de análises de extinção da luz das estrelas, a distância das nuvens interestelares mais próximas de nós.

Outros grandes levantamentos no óptico, feitos em solo (SDSS, VISTA, PanSTARRS, entre outros) têm igualmente contribuído com dados fotométricos e espectros, permitindo caracterizar melhor a extinção interestelar e as bandas de absorção interestelares.

Os levantamentos em ondas de rádio, com objetivos cosmológicos, de modo geral, precisam caracterizar bem a emissão de origem local (Via Láctea), a fim de eliminá-la da radiação de fundo geral ou da época de interesse. Assim, eles acabam fornecendo dados para estudos da emissão da poeira, em micro-ondas, bem como do hidrogênio atômico do meio interestelar, na linha de 21 cm.

Recorro ao trabalho que iniciamos neste ano, com dois estudantes de Física, na UNIFEI, para exemplificar como os levantamentos e os decorrentes bancos de dados públicos podem gerar trabalhos científicos. Nossa pesquisa busca caracterizar a poeira de nuvens interestelares através de múltiplas frentes: a análise da emis-

sividade (com auxílio dos dados públicos dos levantamentos efetuados no infravermelho e em micro-ondas), da extinção (com dados de múltiplos levantamentos), e da polarização (parte com o levantamento do observatório espacial Planck, parte com observações próprias, a serem efetuadas no Observatório do Pico dos Dias). Na página anterior, mostro uma prévia do que podemos fazer com dados públicos, para caracterizar a emissividade da poeira.

O estudo e análise do meio interestelar é fundamental para esclarecermos vários problemas em Astrofísica, como a formação e evolução das galáxias, a formação de estrelas, a física e química que leva à formação de grãos interestelares — predecessores para a formação de planetas e da química pré-biótica. Esta é uma área que requer mais atenção dos futuros pesquisadores e, certamente, os grandes levantamentos (já efetuados e vindouros) fornecerão dados suficientes para esta evolução •

Gabriel Rodrigues Hickel
Universidade Federal de Itajubá
gabrielhickel@unifei.edu.br

Contracapa
Cometa C/2020 F3
(NEOWISE) observado a
partir da Estação Espacial
Internacional (Crédito: ISS).

