

Revista
Brasileira de

ASTRO NOMIA

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 5 | Número 18
Ano 2023

FORMAÇÃO ESTELAR

Conheça o IAG/USP
Notícias do Universo
Astronomia dos Árabes



Editorial

Este número está sendo lançado justamente no dia em que uma grande descoberta astronômica é anunciada. Após 15 anos de coleta sistemática de dados, o consórcio internacional NANOgrav encontrou evidências de que o tecido do universo oscila segundo um tênue fundo de ondas gravitacionais produzidas por grandes eventos gravitacionais. Os cientistas responsáveis atribuem essas ondas à fusão de buracos negros supermassivos. Este anúncio abre novas rotas de investigação para a Astronomia, possibilitando até mesmo testar hipóteses ligadas a fenômenos tão remotos quanto a Era da Inflação Cósmica. Se compararmos essa descoberta à da Radiação Cósmica de Fundo, na década de 1960, podemos antever que uma nova era da Astronomia deve se iniciar.

Algo muito importante, ainda que secundário à primeira vista, precisa ser apontado nessa questão: o tempo total de coleta sistemática de dados. Qual projeto brasileiro conseguiria manter financiamento por tanto tempo antes de ser capaz de encontrar algo tão inovador assim? Provavelmente nenhum. Isso acontece por muitos fatores, mas a pressa e ritmo de produtividade imposto pelas agências de fomento brasileiras é um dos principais. A ciência inovadora requer tempo e financiamento regular, não há como ser desenvolvida de forma sustentável a cada 2 anos, dependente de um orçamento irrisório, sujeito às instabilidades políticas.

Para chegarmos ao patamar de impacto científico que deveria ser compatível com o tamanho de nosso país, precisamos chegar a um consenso mínimo de que recursos pessoais e econômicos aplicados em ciência não são gastos, mas sim investimentos de longo prazo.

Helio J. Rocha-Pinto

Editor da Revista Brasileira de Astronomia

Esquerda

Detalhe do par de galáxias interagentes Arp 273, situadas a 300 milhões de anos-luz (Crédito: NASA, ESA, Hubble Heritage).

Capa

Aglomerado de estrelas conhecido como R136, próximo ao centro da Nebulosa 30 Doradus (Crédito: NASA, ESA, Hubble Heritage).

Revista Brasileira de Astronomia

produzida pela
Sociedade Astronômica Brasileira
ISSN 2764-9423

Conselho Editorial Alan Alves Brito,
Reinaldo Ramos de Carvalho, Lucimara
Martins, Ramachrisna Teixeira,
Thiago Signorini Gonçalves

Editor Helio J. Rocha-Pinto

Equipe de colaboradores Hélio Dotto
Perottoni, David Dias Kappler de Souza,
Rafaela Bovareto

Contato secsab@sab-astro.org.br

Para anunciar Fale com Rosana no email
acima ou ligue (11) 3091-8684,
Seg. a Sex. 10 às 16 h.

Para submissões

Contacte um membro do conselho editorial



Presidente

Helio J. Rocha-Pinto

Vice-Presidente

Lucimara Martins

Secretária-Geral

Daniela Pavani

Secretária

Maria Jaqueline Vasconcelos

Tesoureiro

Alex Cavalieri Carciofi

Endereço

Sociedade Astronômica Brasileira
Rua do Matão, 1226
05508-090 São Paulo – SP
<http://www.sab-astro.org.br>

4 Notícias do Universo

David Kappler e Rafaela Bovareto trazem um resumo das principais descobertas em Astronomia realizadas nos últimos meses.

6 Astronomia no IAG/USP

Roberto D. D. Costa narra como o Instituto Astronômico e Geofísico da USP foi criado, suas principais conquistas e sua atuação na vida intelectual brasileira.

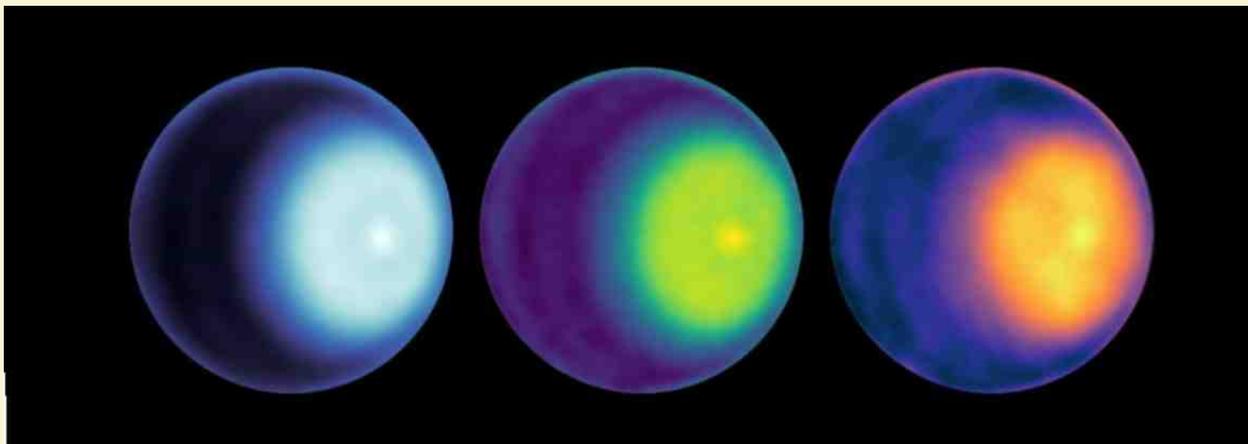
15 Formação de Estrelas

Vladimir Jearim apresenta um resumo sobre nossa compreensão acerca da formação de estrelas, desde o colapso inicial de uma nuvem do meio interestelar até a ignição do hidrogênio.

22 Astronomia na Era Dourada Árabe

O que seria da evolução da Astronomia sem a contribuição dos árabes entre os séculos IX e XV? Helio J. Rocha-Pinto mostra que esses povos fizeram muito mais do que lhes costumamos creditar.

Primeiro ciclone polar detectado em Urano



Três imagens de Urano mostrando seu ciclone polar, fotos tomadas nas bandas K, Ka e Q das micro-ondas. NASA/JPL-Caltech/VLA

SISTEMA SOLAR Pela primeira vez, cientistas da Nasa liderados por Alex Atkins conseguem registrar um ciclone polar em Urano. Só foi possível detectar esse fenômeno por conta das enormes antenas de rádio do Very Large Array (VLA), localizado em Novo México, EUA.

Com as antenas foi possível “espionar” abaixo das nuvens de Urano, descobrindo que o ar circulante no polo Norte parece ser mais quente e seco, características de um forte ciclone. Essas observações foram feitas em 2015, 2021 e 2022, sendo as mais profundas já feitas através da atmosfera de Urano.

Com essa descoberta, podemos dizer que quase todos planetas do sistema solar têm atmosferas com sinais de vórtice giratório nos polos, com exceção de Mercúrio.

Por conta da translação de Urano demorar 84 anos, só fomos ter o privilégio de observar melhor seus polos em 2015 e, por isso, os cientistas continuarão observando o ciclone para ver sua evolução com o passar dos anos (D.K.) •

Buraco negro de massa intermediária pode ter sido detectado

ESTRELAS Possível buraco negro de tamanho intermediário foi detectado com dados de dois telescópios que mostram a movimentação de estrelas capturadas em seu campo gravitacional.

Esses dados foram recebidos pelos telescópios Hubble e Gaia e, com eles, podemos determinar que a massa desse objeto chega a ser 800 vezes maior que a do Sol. Embora tenha tanta massa, não foi detectada qualquer radiação que ele emita. Considerando ainda que ele está localizado numa região que tem grande concentração estelar, é plausível que esse objeto seja um buraco negro de massa intermediária.

O buraco negro intermediário está cerca de 6 mil anos-luz de distância, localizado no aglomerado Messier 4. Sua existência pode lançar luz sobre a relação entre os



ESA/Hubble, NASA

buracos negros de massa estelar e aqueles supermassivos no centro de galáxias (D.K.) •

Um terço dos planetas da Galáxia em zona habitável

EXOPLANETAS Foi estimado que um terço dos planetas mais comuns da galáxia, aqueles que orbitam anãs vermelhas, podem estar em zona habitável. Essa descoberta foi feita por duas cientistas da Universidade da Flórida, nos Estados Unidos. Ou seja, esses mundos estão em localizações apropriadas para ter água em estado líquido e possivelmente abrigar vida.

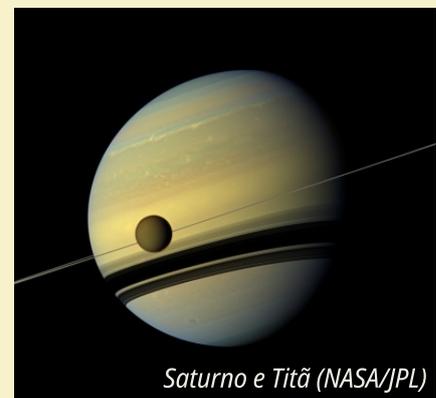


O estudo foi dirigido pela professora Sarah Ballard e sua doutoranda Sheila Sagar e foi publicado no periódico *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Elas estudaram centenas de planetas que giram em torno de anãs vermelhas e com isso, perceberam que as estrelas com vários planetas eram mais propensas a terem uma órbita circular, permitindo reter água líquida.

Esses dados foram obtidos através do telescópio Kepler, captando informações sobre exoplanetas enquanto eles se movem na frente de suas estrelas hospedeiras, e com informações do telescópio Gaia, que mediu a distância de bilhões de estrelas (D.K.) •

Senhor dos Anéis, Rei das Luas

SISTEMA SOLAR Até fevereiro de 2023, sabíamos que Saturno possuía 83 luas, ultrapassando, assim, o planeta Júpiter, que contava com 80 luas conhecidas. Porém, naquele mês, houve uma reviravolta: observações feitas pelo astrônomo Scott Shepard e sua equipe descobriram 12 novos satélites naturais do maior gigante gasoso do nosso Sistema Solar. Júpiter passou a liderar a listagem de planetas com mais satélites conhecidos. Entretanto, três meses depois, um grupo de pesquisadores de diversos países anunciaram a detecção de 62 novas luas ao redor de Saturno, as quais, juntamente com as já conhecidas, elevaram para 145 a corte satelital de Saturno, que retomou o posto de “rei das luas” dentre os demais planetas do Sistema Solar (R.B.) •



Saturno e Titã (NASA/JPL)

Objeto 10 milhões de vezes mais brilhante que o Sol

ALTAS ENERGIAS Em outubro de 2022, foi descoberto o objeto M82 X-2 que brilha ao menos 10 milhões de vezes mais do que o nosso Sol. Isso parecia colocar em cheque algumas leis da física, visto que o suposto astro violaria o denominado Limite de Eddington, que estipula a luminosidade máxima dos objetos em equilíbrio hidrostático.

Porém, novos estudos indicam que o estranho objeto, na verdade, é uma estrela de nêutrons com enorme densidade. M82 X-2 é a primeira estrela de nêutrons ultraluminosa detectada como fonte de raios X. Atribui-se seu brilho extremo à enorme intensidade de seu campo magnético. As linhas de campo magnético formariam dois cones de emissão ao longo dos polos magnéticos, concentrando neles a energia, e fazendo parecer que o limite de Eddington foi violado (R.B.) •



ESO/L. Calçada



Astronomia no IAG/USP

O ensino e a pesquisa em astronomia no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, de suas origens no século 19 aos nossos dias.

O Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) é uma das mais importantes instituições do Brasil nas áreas de astronomia, geofísica e meteorologia. Suas origens são muito antigas, anteriores à fundação da USP e anteriores mesmo à própria República já que o primeiro marco institucional para a história do

IAG é a criação da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, em 1886. Esta Comissão, chefiada pelo geólogo americano Orville A. Derby, tinha uma Seção de Botânica e Meteorologia, inicialmente dirigida pelo naturalista sueco Albert Löfgren, que deu início às observações meteorológicas regulares na capital de São Paulo.

Em 1907, já sob a chefia do en-

engenheiro José Nunes Belfort Matos, a agora chamada Seção Meteorológica da Secretaria da Agricultura do Estado de SP era encarregada das observações meteorológicas e nela também eram realizadas observações astronômicas a partir de um pequeno observatório instalado na casa do próprio diretor, em plena Avenida Paulista. O local era conhecido como *Observatório da Avenida*. A sede própria do Observatório de São Paulo foi inaugurada em 30 de abril de 1912, também na Avenida Paulista, e localizava-se ao lado de onde hoje é o Museu de Arte de São Paulo (MASP). Aí eram tabuladas as observações meteorológicas obtidas nas estações do estado e realizavam-se observações astronômicas para a determinação e disseminação da hora oficial do Estado.

Ao final da década de 1920, o local do Observatório já não era considerado adequado para suas atividades técnicas. O expressivo crescimento urbano na região da Avenida Paulista, inaugurada em 1891, tornava o local cada vez mais inadequado às observações astronômicas devido à iluminação pública e à vibração produzida pelos bondes e demais veículos que por ali trafegavam. O IAG era então dirigido pelo engenheiro Alypio Leme de Oliveira, que idealizou a mudança do Observatório para um local mais apropriado.

Após a análise de distintos locais na cidade, tais como o Miran-

te de Santana e o Pico do Jaraguá, optou-se pelo Parque do Estado, no bairro da Água Funda, zona sul da Capital, onde a pedra fundamental do novo instituto foi assentada em fevereiro de 1932, com projeto do próprio diretor. Em 22 de novembro do mesmo ano foi inaugurada a Estação Meteorológica, que está em operação até hoje. A inauguração do Observatório Astronômico ocorreu somente em abril de 1941 e seu conjunto arquitetônico original, todo ele no estilo art déco, é atualmente tombado pelo patrimônio histórico do Estado de SP e nele estão agora as instalações do Parque de Ciência e Tecnologia da USP.

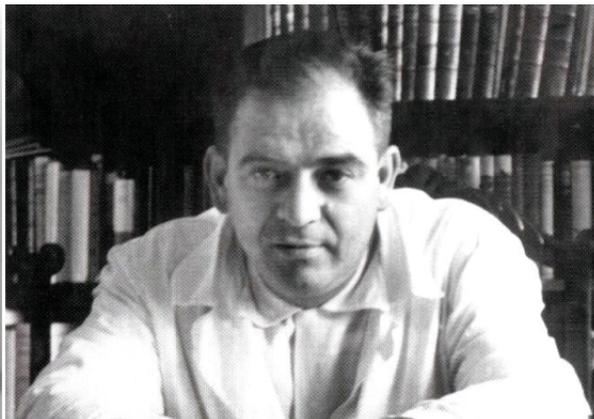


Incorporação à Universidade de São Paulo

A Universidade de São Paulo foi criada em 25 de janeiro de 1934 e o IAG passou a ser considerado um Instituto Complementar dela. Pouco mais de uma década depois, em 1946, o IAG foi definitivamente incorporado à USP como um de seus Institutos Anexos. A-

Na página anterior
Entrada principal do conjunto de prédios do IAG na Cidade Universitária da USP (Crédito: acervo do IAG).

Acima
Foto do Observatório de São Paulo, no bairro da Água Funda, à época de sua inauguração. Em primeiro plano, vê-se a estátua de Urânia, a musa dos corpos celestes, e ao fundo o pavilhão das lunetas meridianas (Crédito: acervo do IAG)



Acima

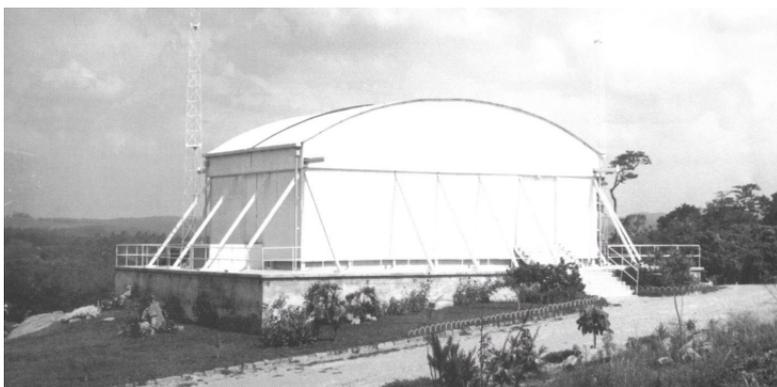
À esquerda, Alypio Leme de Oliveira, diretor do IAG de 1927 a 1955; à direita, Abrahão de Moraes, diretor do IAG de 1955 a 1970 (Crédito: acervo do IAG).

lypio Leme de Oliveira continuou como diretor até sua aposentadoria em 1955, tendo dirigido o IAG por 28 anos. Ele foi substituído por Abrahão de Moraes, docente da Universidade, que por sua vez permaneceu no cargo por 15 anos, até seu falecimento em dezembro de 1970.

gurado em 19 de abril de 1972 com o nome Observatório “Abrahão de Moraes”.

O Instituto Astronômico e Geofísico foi transformado em Unidade da USP em maio de 1972, quando foi estabelecida a departamentalização, passando o IAG a ser constituído pelos Departamentos de Astronomia, Geofísica e Meteorologia. O corpo docente dos novos departamentos reuniu professores de outras unidades da USP, jovens pesquisadores que haviam obtido suas titulações no exterior e também estrangeiros contratados temporariamente, pois existiam nas universidades brasileiras pouquíssimos pesquisadores com formação nestas áreas. Ficou imediatamente claro que o IAG deveria atuar na formação de recursos humanos para o desenvolvimento das áreas de astronomia, geofísica e meteorologia no Brasil.

No seu início, o IAG era uma unidade atípica dentro da USP porque seus programas de pós-graduação foram criados antes daqueles de graduação. No ano de



Acima

Pavilhão que abriga o círculo meridiano Askania-Zeiss no Observatório Abrahão de Moraes, em Valinhos/SP (Crédito: acervo do IAG).

Durante a gestão de Abrahão de Moraes, foi idealizado o projeto para a construção de um novo observatório para o Instituto pois, mais uma vez, o crescimento da região metropolitana de São Paulo começava a afetar as observações realizadas no Parque do Estado. O novo observatório foi construído no Morro dos Macacos, no Município de Valinhos/SP, e inau-



Ao lado
Uma das salas de aula modernas do IAG (Crédito: acervo do IAG)

1973 foi criado o programa de pós-graduação em astronomia e, no ano seguinte, o de geofísica. A área de meteorologia era parte do programa de geofísica até que o programa específico foi criado em 1984. O primeiro curso de graduação, o Bacharelado em Meteorologia, foi criado em 1977. Em 1984 tem início o Bacharelado em Geofísica, enquanto o Bacharelado em Astronomia iniciou suas atividades bem mais tarde, em 2009. Finalmente, em 2013, foi criado o Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia com o objetivo formar recursos humanos para ensino formal e não formal, bem como divulgação científica na área de astronomia.

Nos anos 1990 iniciou-se a construção da nova sede do IAG na Cidade Universitária da USP, no bairro do Butantã, em São Paulo. A mudança foi motivada tanto pela

necessidade de mais espaço para abrigar as crescentes atividades do Instituto quanto pelo interesse em aproximação com outras unidades da USP, como o Instituto de Física, o Instituto de Matemática e Estatística e o Instituto de Geociências. A transferência das atividades do IAG para a Cidade Universitária foi finalizada somente em 2001. No mesmo ano o IAG passou a adotar o nome *Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas*, vigente até hoje.

O início das pesquisas em astronomia

Mesmo antes de sua incorporação à USP, já se fazia pesquisa em astronomia no IAG, porém limitando-se à determinação da hora legal e algumas observações astrométricas. Não existiam nem o equipamento nem o pessoal qua-



Acima
Hall de entrada do prédio da administração, parte do conjunto de prédios do Observatório de São Paulo, no bairro da Água Funda. O vitral central e os mosaicos laterais formam um conjunto que se destaca por sua beleza e fazem parte da história da astronomia de São Paulo (Crédito: acervo do IAG).

lificado para observações que abordassem problemas de ponta em astronomia. O primeiro esforço de pesquisa “moderno” realizado no IAG foi a obtenção de imagens da lua em alta resolução usando uma Câmera Lunar de Markowitz instalada no refrator Zeiss de 18 cm existente até hoje na Água Funda. Essa câmera permitia obter imagens em alta definição de nosso satélite e as medidas, feitas entre 1958 e 1968 destinavam-se a reunir informações sobre a superfície lunar com vistas ao Projeto Apollo. Este projeto foi a primeira experiência de cooperação internacional da instituição, já que era liderado pelo

Observatório Naval de Washington. Além deste instrumento, no campus da Água Funda foram também instalados — e extensamente utilizados durante as décadas de 1960 e 70 — um celostato Zeiss de 300 mm equipado com um espectro-heliógrafo e um astrolábio impessoal de Danjon. A escolha dos equipamentos revela o viés pelas observações astrométricas que marcaram o início da pesquisa em astronomia no IAG.

A inauguração do Observatório Abrahão de Moraes em 1972 permitiu a instalação de equipamentos mais modernos do que aqueles que existiam no bairro da Á-

gua Funda. Ao longo da década seguinte foram nele instalados um círculo meridiano Askania-Zeiss de 19 cm de abertura e, posteriormente, um telescópio refletor Boller & Chivens de 60 cm de abertura. Este último permitiu a execução de projetos de pesquisa de fotometria e espectroscopia usando câmeras e detectores mais modernos.

Outro marco importante para a pesquisa em astronomia no IAG e no Brasil foi atingido no final dos anos 1970. Desde o início dos anos 1960 existia entre os astrônomos brasileiros o desejo de dotar o país de um observatório moderno, numa montanha com boas condições técnicas para observações astronômicas. Este projeto começou a tomar forma no início dos anos 1970 com a formação de uma comissão, coordenada por astrônomos do IAG, para selecionar o sítio mais adequado para o observatório. Foi feito um extenso trabalho de levantamento em montanhas localizadas nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo até que a comissão se decidiu pelo Pico dos Dias, próximo da cidade de Itajubá, no sudeste do Estado de Minas Gerais. Em 1979 o observatório entrou em funcionamento e sua operação ininterrupta desde essa época alavancou de forma decisiva a astronomia profissional no Brasil todo, incluindo o IAG. Hoje ele tem o nome de Laboratório Nacional de Astro-

física (LNA) e é ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Atualmente o LNA opera não só o Observatório do Pico dos Dias, mas também é o responsável pela gestão da participação brasileira em observatórios pertencentes a consórcios internacionais como o SOAR e o Gemini.

A astronomia no IAG hoje

O Departamento de Astronomia do IAG é atualmente o maior do Brasil, contando com 35 docentes, todos trabalhando em regime de dedicação exclusiva e com doutorado. O Departamento tem atualmente em torno de 20 doutores engajados em projetos de pós-doutorado e, na pós-graduação, mantém um corpo discente de aproximadamente 80 alunos em três diferentes programas: Mestrado Acadêmico, Doutorado Acadêmico e Mestrado Profissional. Muitos destes estudantes são originários de diferentes regiões do país e do exterior. Na graduação, o corpo discente é constituído por cerca de 80 alunos do Bacharelado em Astronomia. Cerca de 50 estudantes de graduação estão engajados em projetos de Iniciação Científica orientados por docentes ou pós-doutores do departamento.

No ensino de graduação, o Bacharelado em Astronomia se beneficia da multidisciplinaridade intrínseca à área, incluindo seus aspectos científicos, tecnológicos e culturais. O objetivo do curso é



Acima
Alunos em atividade na área de estudos da biblioteca do IAG, na Cidade Universitária (Crédito: acervo do IAG).

formar bacharéis que possam atuar de diversas maneiras: Pesquisa Científica, Instrumentação, Ciências e Técnicas Espaciais, Ciência de Dados, Difusão Científica e Ensino. Para tanto, o curso tem diversas vertentes que os alunos podem conhecer para posteriormente aprofundarem seus estudos. O interesse em Astronomia, aliado aos esforços de divulgação do curso pelo Departamento, contribuiu para a atração de um número significativo de alunos ingressantes, sendo que nos últimos anos o Bacharelado em Astronomia tem uma das maiores relações candidatos/vaga da área das ciências exatas no vestibular.

O programa de Pós-Graduação em Astronomia do IAG é o maior e o mais antigo do Brasil em atividade. Em função disso, foram os egressos deste programa que nuclearam todos os demais programas de pós-graduação na área hoje existentes no país. Em virtual-

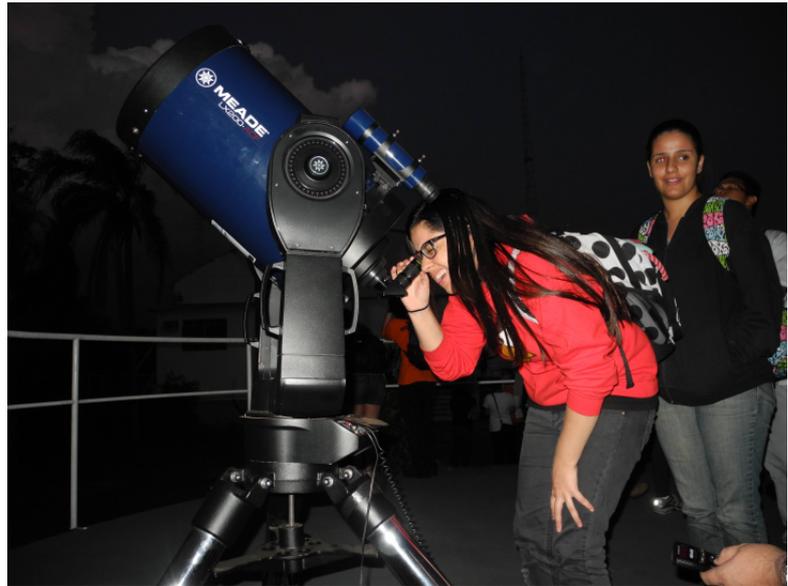
mente todos os grupos de pesquisa em astronomia do Brasil existem profissionais formados pelo programa do IAG, o qual, em 50 anos de atividade, completados em 2023, já formou cerca de 500 mestres e doutores em astronomia. Mais do que a atuação individual de um ou outro egresso, essa contribuição coletiva é sem dúvida fundamental para o desenvolvimento científico e tecnológico do Brasil. O programa recebe estudantes de todo o Brasil e do exterior. Aproximadamente 80% dos egressos do Programa Acadêmico trabalham em universidades e institutos de pesquisa no país e exterior. O restante é absorvido pela iniciativa privada, principalmente em atividades de ensino, mercado financeiro e informática. O Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia (MPEA) é dirigido a educadores que já são envolvidos ou pretendem se envolver com o ensino de astronomia, sejam eles professores, planetaristas, curadores ou educadores em espaços não-formais.

O Departamento de Astronomia tem seu foco em pesquisa acadêmica e suas atividades cobrem um largo espectro. As áreas de pesquisa em atividade atualmente são: Astrofísica Estelar, Astrofísica do Sistema Solar, Meio Interestelar, Astronomia Galáctica, Evolução Química da Galáxia, Astrofísica de Plasmas e Altas Energias, Astrofísica Extragaláctica e Cosmologia, Astroquímica e Astrobi-

ologia, Dinâmica do Sistema Solar e Exoplanetas, Astronomia Fundamental, Instrumentação Astronômica e Ensino de Astronomia

Para o desenvolvimento de seus projetos científicos, o Departamento realiza tanto atividades observacionais, como simulações numéricas. Tem sido crescente o número de trabalhos que utilizam os recursos de processamento paralelo em *clusters*, que contribuem para maior eficiência e melhor detalhamento nas simulações requeridas em projetos teóricos. Diversos destes equipamentos têm sido agregados ao departamento e são constantemente modernizados.

Em termos de recursos observacionais, o Departamento é um dos principais usuários do telescópio de 1,6 m do LNA, bem como do telescópio SOAR de 4 m, instalado nos Andes Chilenos, em Cerro Pachón, e dos telescópios Gemini Norte e Sul, de 8 metros, instalados no Havaí e nos Andes Chilenos, respectivamente, bem como do telescópio T80-Sul, também no Chile. Tanto o SOAR como o Gemini são operados por consórcios dos quais o Brasil é signatário e o Departamento é o maior usuário do Brasil, em termos de tempo concedido para a fração brasileira, em ambos os observatórios. Está instalada nas dependências do IAG/USP uma Estação Remota que permite operar o telescópio SOAR a partir de São Paulo, uma facilidade que torna muito mais



eficientes e econômicas as missões observacionais. Adicionalmente, docentes do Departamento têm tido atuação determinante no desenvolvimento de instrumentação para o telescópio SOAR. Os astrônomos do Departamento utilizam também outros telescópios instalados no Chile (nos observatórios CTIO e ESO), o telescópio espacial Hubble, e dados colhidos em vários Observatórios do Havaí, Palomar e dos telescópios espaciais: Hubble, CoRoT, XMM-Newton, Chandra, Spitzer, FERMI e PLANCK.

Outra área que merece destaque é o desenvolvimento instrumental, antes quase inexistente no Departamento. Vários projetos instrumentais de grande monta foram apoiados na última década pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), como aqueles associados aos projetos GMT, LLAMA, CTA-Mini Array e South Pol, o

Acima

Os programas de extensão abertos à comunidade são parte importante da atividade acadêmica e, sempre que possível, envolvem a observação do céu com instrumentos portáteis (Crédito: acervo do IAG).



Acima

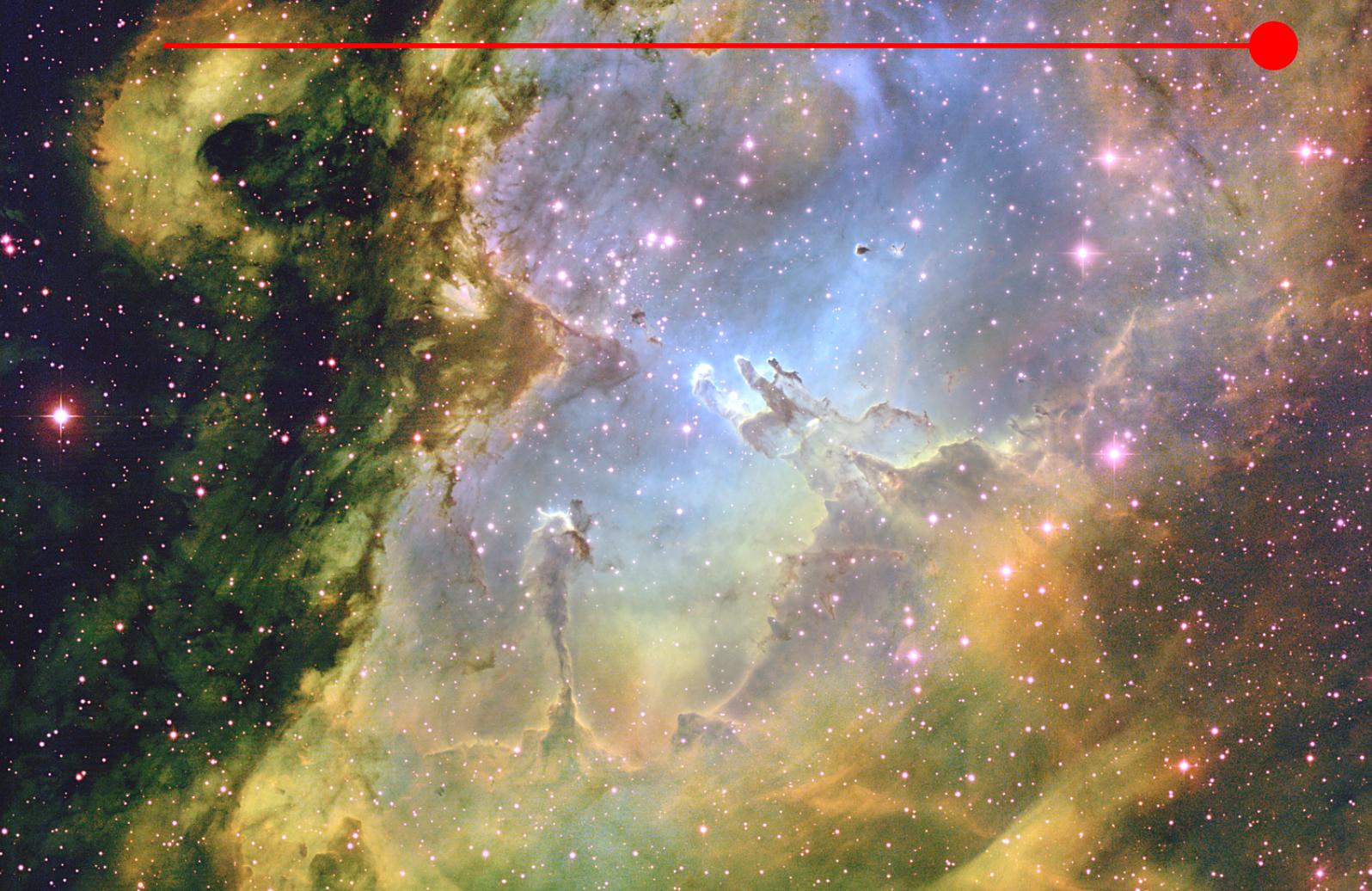
Em primeiro plano, uma vista aérea do conjunto de prédios do IAG na Cidade Universitária da USP (Foto: Jorge Maruta/Jornal da USP).

que aumenta a importância desta área não só pelo legado científico que os instrumentos propiciarão quando concluídos, mas também pela capacitação de pessoal nesta nova área. Também em função deste esforço, recentemente foram implantados modernos laboratórios de Óptica, Eletrônica e Mecânica de Precisão no IAG, que são passos importantes para a consolidação da área. O Laboratório de Astrobiologia é outra iniciativa na área da instrumentação aplicada que merece destaque por seu pioneirismo e pelo grande potencial de desenvolvimento científico desta área.

Com este perfil, o Departamento de Astronomia do IAG pretende nos próximos anos consolidar sua posição como um dos maio-

res e mais importantes centros de pesquisas em astronomia da América Latina, colocando-se também como um centro de referência na astronomia mundial. A participação em grandes projetos de pesquisa na área de instrumentação astronômica liderados por pesquisadores do Departamento, bem como a criação de uma Rede de Astronomia envolvendo o IAG e outros institutos da USP sob liderança deste, são um estímulo para um rápido e vigoroso crescimento e consolidação deste papel •

*Roberto D. D. Costa
roberto.costa@iag.usp.br
Universidade de São Paulo*



Uma nuvem que colapsa

Falando sobre o nascimento de estrelas

As estrelas nascem a partir de uma perturbação numa nuvem de gás. Mas não fique perturbado, pois explicamos tudo isso para você aqui!

Frequentemente as manchetes sobre grandes descobertas da astronomia são acompanhadas por fotos deslumbrantes dos objetos do espaço. Mas pouco se diz sobre como os cientistas conseguem saber sobre o que acontece em lugares tão distantes.

De fato, não temos como ir até essas regiões remotas do Universo. Mas recebemos “notícias” de lá. Essas notícias nos chegam através das emanções desses cor-

pos, dentre as quais a principal é a radiação eletromagnética, cuja contrapartida visível chamamos de luz. Por isso desenvolvemos diferentes instrumentos capazes de analisar a radiação eletromagnética em suas variadas faixas de energia, desde os raios gama até às ondas de rádio. E à medida que se aperfeiçoa a tecnologia dos telescópios e demais instrumentos astronômicos, vamos percebendo que os fenômenos celestes são mais complexos do que anterior-



Acima

Imagem apelidada de "Penhascos Cósmicos". Parece-se com montanhas escarpadas vistas em uma noite de luar. Na realidade, o que vemos é a borda da gigantesca cavidade gasosa dentro de NGC 3324, e os "picos" mais altos nesta imagem têm cerca de 7 anos-luz de altura. A área cavernosa foi esculpida na nebulosa pela intensa radiação ultravioleta e ventos estelares de estrelas jovens extremamente massivas e quentes localizadas no centro da bolha, acima da área mostrada nesta imagem (Crédito: NASA, ESA, CSA, and STScI).

Página anterior

Nebulosa M 16. imageada pelo telescópio NSF de 90 cm no Kitt Peak. A imagem foi criada por uma composição RGB de mapas de intensidade nas seguintes linhas de emissão: H α , verde; [O III], em azul; e [S II], vermelho (Crédito: T. A. Rector/NRAO e NOIRLab/NSF/AURA, B. A. Wolpa/NOIRLab).

mente achávamos.

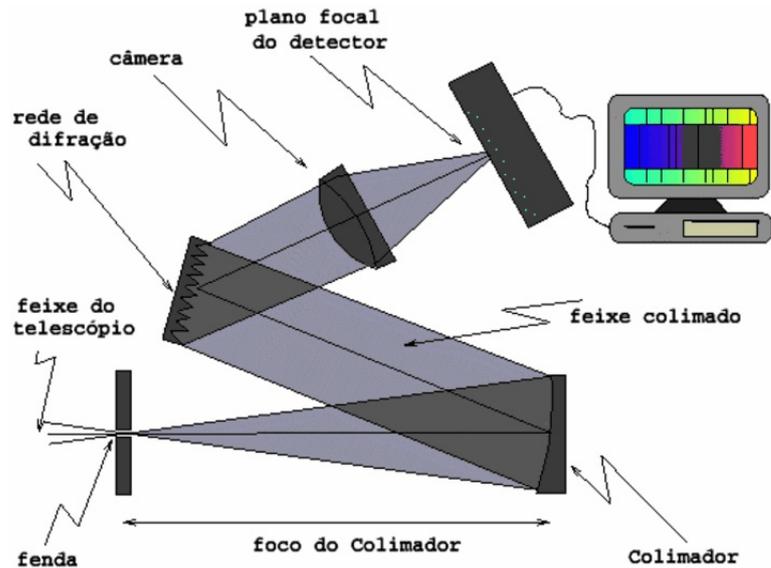
O lugar onde se formam as estrelas são as nebulosas chamadas de nuvem molecular. Nuvens deste tipo são enormes! Por isso, é comum serem atravessadas pela luz de outras estrelas que se encontram atrás delas, vistas a partir de nossa posição na Galáxia. A luz dessas estrelas não passa incólume pela nuvem; ela interage com os átomos e moléculas que existem na nuvem. Quando os astrônomos analisam a luz dessas estrelas, eles podem entender quais são as condições físico-químicas da nuvem.

Como dissemos, a luz é uma onda eletromagnética que possui frequências que nossos olhos são capazes de captar. Quando a luz entra nos olhos, ela atravessa o cristalino e chega até o fundo do globo ocular, onde encontra a retina. As células desta área do olho são excitadas pela luz, produzindo uma corrente elétrica que se propaga até o cérebro, onde se forma a imagem. Já numa nuvem molecular, a luz excita os elétrons de átomos que ali se encontram. Por exemplo, elétrons do gás de metano são excitados por energias diferentes daquelas necessá-

rias para excitar os elétrons do monóxido de carbono. As frequências correspondentes a essas energias serão progressivamente retiradas do feixe de luz incidente sobre a nuvem molecular, a depender da quantidade de cada substância (isto é, de cada tipo de gás) que a compõe.

Quando os astrônomos observam a luz que passa pelas nuvens moleculares, eles podem calcular em que frequências se deu essa absorção e quanto desse material absorveu luz. Isso é possível graças a um instrumento chamado espectrógrafo, que registra a intensidade de luz em cada frequência.

Na passagem da luz, cada molécula, cada átomo que se encontra na nuvem absorve apenas uma parte da energia da radiação, sempre nas mesmas frequências. O que acontece dentro do átomo ou da molécula com essa energia absorvida? Os átomos estão formados por elétrons, partículas muito leves cuja carga elétrica é negativa, e um núcleo positivo. A absorção da radiação em átomos e moléculas vai se traduzir em movimento desses elétrons dentro do átomo. Quando um elétron absorve essa energia, ele se afasta um tanto mais do núcleo atômico. Se a energia for muito grande, ele pode até escapar e ficar livre! Mas consideremos que não foi esse o caso; temos apenas um elétron excitado que se move mais distante de seu núcleo. Essa con-



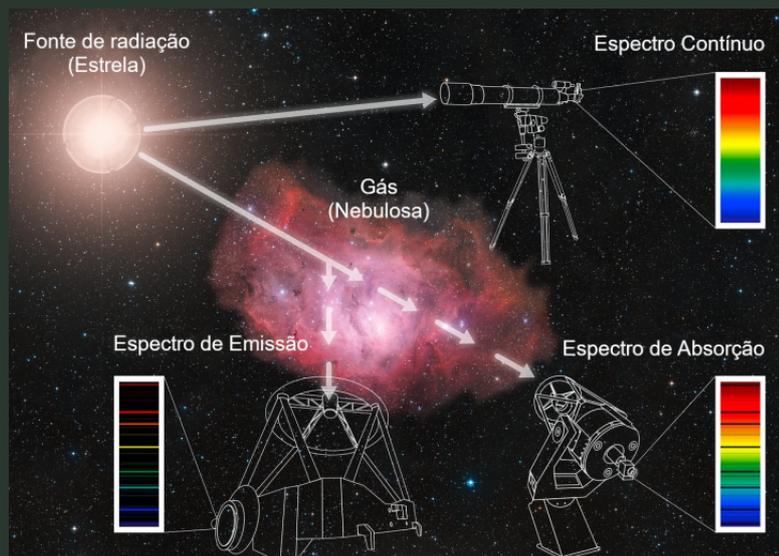
dição é instável. Em algum momento, o elétron vai perder esse excesso de energia e voltar ao nível onde estava inicialmente. Quando isso ocorre, ele emite um fóton com frequência bem definida. O estudo desses processos de emissão e absorção de fótons se chama espectroscopia e é uma das ferramentas fundamentais da Astronomia moderna.

As transições eletrônicas e podem ser motivadas pela absorção ou emissão de fótons. Cada substância possui elétrons que transicionam apenas em frequências específicas. E por isso é que os astrônomos conseguem identificar a composição das nuvens moleculares. As absorções e emissões sempre vão deixar umas “digitais” bem determinadas.

Uma nuvem molecular é muito maior do que nosso Sistema Solar. Usualmente elas possuem quase 1 milhão de vezes a massa do Sol, mas nelas a distribuição do gás

Acima

Espectrógrafos são instrumentos acoplados a telescópios, que permitem a decomposição da luz em suas diversas frequências, desde a cor vermelha (a menor frequência) até a cor violeta (a maior frequência). A luz entra no telescópio através de uma fenda estreita e encontra um espelho, que permite direcionar a radiação para a rede de difração, através da qual a luz se separa em suas componentes mínimas, como acontece quando se forma o arco íris. A rede de difração reflete a luz separada em um espelho, que pela sua vez conduz a radiação em um sistema fotodetector. Este dispositivo permite a digitalização do espectro da luz do objeto observado para ser analisada através de computadores (Crédito: Matheus H. I. Dias/WikiMedia Commons).



espectro de absorção específico. Quando a luz consegue estimular a produção de radiação ao atravessar o gás, o espectro observado corresponde a uma distribuição de luz com linhas brilhantes, especificamente nas frequências onde acontecem processos de emissão nos átomos do gás. A formação das linhas espectrais ilustra a natureza quantizada da interação entre a radiação e a matéria (Crédito: ESO).

Ao lado

A luz emitida por uma fonte luminosa, quando propagada diretamente até o observador, sem atravessar um meio gasoso, é observada diretamente como uma distribuição de intensidade luminosa contínua, representada por uma sequência colorida, como um arco-íris. Quando o feixe de luz observado atravessou uma região gasosa fria, se não houver algum processo que estimule a emissão de radiação desde a nuvem, o espectro observado será uma distribuição de energia com riscas escuras, correspondentes às frequências em que uma parte da energia da luz foi absorvida por átomos presentes no gás. Cada espécie química tem um

e a poeira é muito esparsa. Será nas partes mais densas dessas nuvens que se formarão estrelas. De fato, uma nuvem gigante pode gerar milhares de estrelas!

Berçários de estrelas

Você já se perguntou como os astrônomos descobrem quando uma nuvem cósmica está prestes a se transformar em estrelas?

Uma nuvem molecular é muito extensa. A força que mantém os gases dentro da nuvem é a gravidade. Embora a temperatura média dessas nuvens seja muito baixa, ainda é alta o suficiente para fazer com que o gás confinado por essa gravidade exerça pressão sobre si mesmo, o que mantém a nuvem estável.

Contudo, a nuvem não está iso-

lada na Galáxia; outras nuvens e conjuntos de estrelas ao redor podem atrair gravitacionalmente parte do seu material. Essas forças externas afetam a estabilidade da nuvem, frequentemente gerando perturbações gravitacionais que promovem seu colapso.

Quando a nuvem finalmente começa a colapsar, a matéria passa a confluír para a parte mais central. Esse processo leva alguns milhões de anos. Nesse tempo, a nuvem não chega a se colapsar em um único objeto, mas sim em vários. Tal acontece porque o colapso inicial muda a estrutura de equilíbrio dentro da nuvem, levando-a a fragmentar-se em amontoados menores ao redor das maiores concentrações de gás que ela abrigar. Essas regiões mais den-



Acima

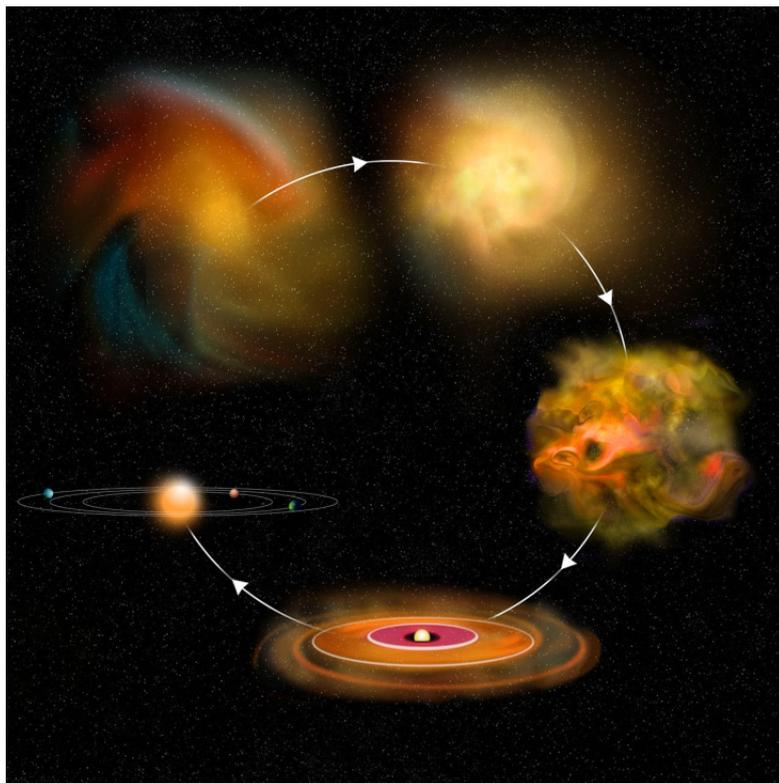
Um dos objetos de campo profundo mais visíveis no céu do verão é a nebulosa de Orion, na constelação homônima. Ao meio desta nebulosa, de aproximadamente 12 anos-luz de diâmetro, podem ser encontrados conjuntos de estrelas como a associação estelar do Trapézio. Se trata de um conjunto de estrelas muito brilhantes de idade inferior a , cujas massas são superiores a 15 vezes a massa do Sol. A nebulosa é considerada a região de formação estelar mais próxima do Sistema Solar, localizada a 1344 anos-luz. O brilho da nebulosa se explica considerando a presença de estrelas muito brilhantes como as do Trapézio, que emitem luz ultravioleta que é absorvida, refletida e espalhada pelo gás interestelar da nebulosa. Uma grande abundância de hidrogênio ionizado H II é uma das evidências da eficiente formação estelar da região. Na figura, tomada através do telescópio espacial James Webb, estão identificados algumas das estruturas associadas à formação estelar: centenas de estrelas jovens dentro da sua envoltória, cujo disco protoplanetário é “fotoevaporado” pela radiação de alta energia; densos filamentos de diferentes tamanhos e formas, abundantes em moléculas de hidrocarbonetos, assim como de hidrogênio molecular H_2 . A estrela θ^2 Orionis A, a mais brilhante da imagem, é um dos objetos observáveis a olho nu desde a Terra. A luz, refletida sobre as partículas do meio interestelar, adquire a tonalidade avermelhada que caracteriza a imagem conhecida deste objeto. Na figura também se aprecia uma estrela muito jovem, dentro de uma bolha, ainda em processo de alcançar uma configuração estável (Crédito: NASA, ESA, CSA).

As formas “caroços” que posteriormente evoluirão para estrelas. Muitas dessas serão estrelas brilhantes, com muita massa.

Quando o gás vai empelotando, em cada um desses caroços a temperatura começa a aumentar a centenas e milhares de graus, e isso quebra várias moléculas da

nuvem em seus átomos constituintes, e até ioniza vários desses átomos. Parte do gás fica composto por elétrons livres.

E aqui está um detalhe fascinante: à medida que a nuvem colapsa, sua velocidade de rotação aumenta. O resultado disso é uma região achatada em torno da

**Acima**

A evolução de uma nuvem molecular em berçário estelar depende do processo de contração gravitacional, que progressivamente transformará a estrutura irregular em uma configuração achatada, cuja rotação aumentará a medida que o colapso gravitacional atua. O estágio final do processo poderá conter várias estrelas, ou uma estrela dotada de um sistema planetário como o nosso (Créditos: Bill Saxton/NRAO/AUI/NSF).

futura estrela. Isso não te faz pensar num sistema planetário bem confinado num plano? Pois então, logo chegaremos lá.

Esses processos são muito lentos, mas já observamos várias nebulosas em diferentes etapas do processo. Ou seja, algumas já passaram pelas fases iniciais do colapso, outras já avançaram mais. Assim, identificamos as características que uma região de formação estelar apresenta em cada fase da sua evolução.

Lembra dos elétrons livres? Quando um desses elétrons se recombina com hidrogênio ionizado, um fóton de luz vermelha é formado. Desta forma, observando onde há intensa emissão desses fótons, identificamos onde ocorre a formação de estrelas.

Quando esses caroços em colapso alcançam um estado de equilíbrio, mesmo ganhando mais massa e aquecendo mais, sem sofrer alterações violentas no formato, passam a ser chamados de protoestrela.

A protoestrela começa sendo uma estrutura em equilíbrio hidrostático. Ou seja, sua gravidade atrai sua massa ao centro, e a pressão exercida por essa massa empurra-a para fora.

O gás no centro da protoestrela está tão quente que começa a emitir radiação em forma de calor, isto é, radiação infravermelha. A gradativa perda de energia afeta o equilíbrio hidrostático, levando a protoestrela a novo colapso. O centro da protoestrela vai crescendo e se adensando até chegar a temperaturas altíssimas.

Um átomo de hidrogênio ionizado é um próton. Sabemos que prótons isolados se repelem, uma vez que ambos possuem carga positiva. O centro da protoestrela é majoritariamente composto por esses átomos de hidrogênio ionizado, o que garante a ele alguma estabilidade devido à repulsão conjunta que os prótons mantêm entre si. Porém, com o paulatino adensamento do centro da estrela, essa barreira de repulsão é cada vez mais forçada, pois os núcleos do átomo são esmagados entre si pelo peso de toda a massa que a protoestrela contém.

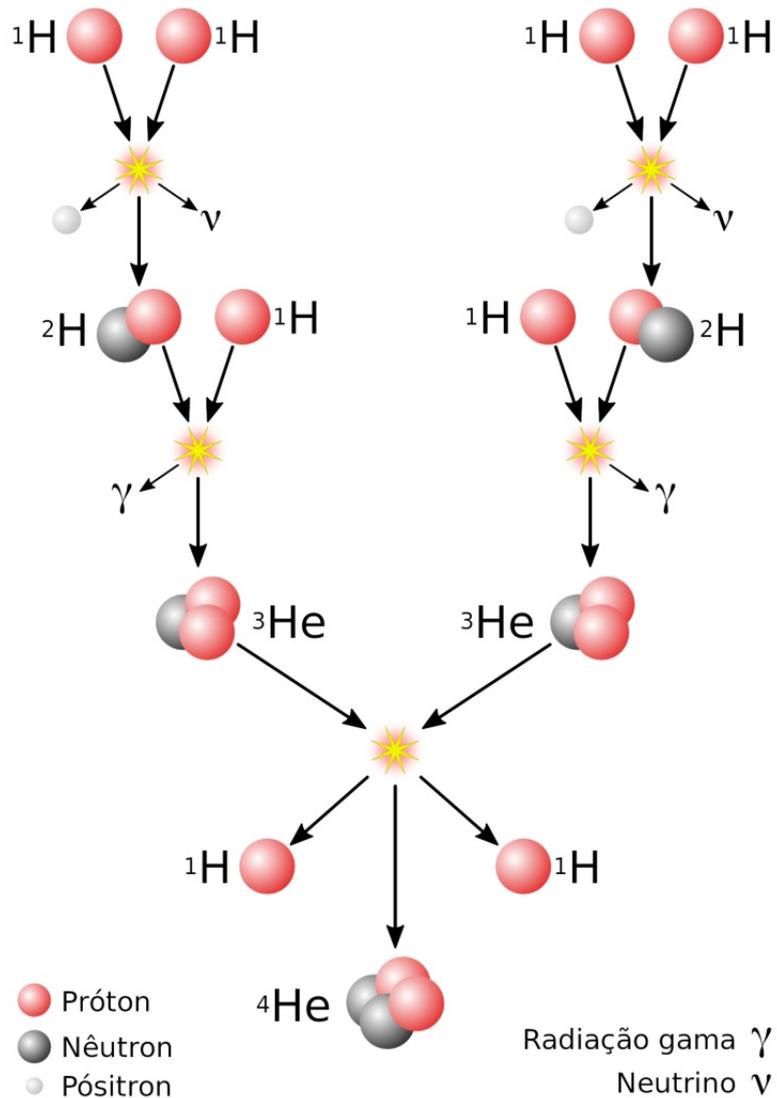
Quando a temperatura no cen-

tro da protoestrela supera os 10 milhões de graus, a repulsão entre os prótons é quebrada e eles começam a se fundir. Da fusão de dois prótons se produzem várias partículas. De um parte um novo núcleo, composto por um próton e um nêutron. De outra parte, uma partícula leve e sem carga, chamada neutrino, e uma partícula igual ao elétron, mas cuja carga é positiva: um pósitron.

Esse novo núcleo formado, denominado “deutério”, quando encontra um outro próton, também experimenta uma reação muito energética, que rende um terceiro núcleo, composto por dois prótons e um nêutron, que chamamos de hélio 3.

Quando um desses átomos de hélio 3 se encontra com outro igual, acontecerá um processo fundamental para a vida da estrela. Dessa fusão resultarão dois prótons e um novo núcleo, composto por dois prótons e dois nêutrons. Este núcleo mais maciço é o mais estável dos núcleos que foram mencionados até aqui. Trata do núcleo do átomo de hélio 4.

Quando o centro da protoestrela consegue começar a produzir núcleos de hélio 4, é porque alcançou uma nova condição de equilíbrio, que será sua fase mais prolongada. De fato, quando se soube a idade da Terra, que é aproximadamente 4,5 bilhões de anos, essa idade era coerente com os tempos estimados para todo esse ciclo de reações acontecer.



Em síntese: as mudanças na composição química são os indicadores das etapas evolutivas da vida das estrelas, e tais mudanças são estudadas através da análise da luz que é produzida ou absorvida nesses objetos •

Vladimir Jearim Peña
Univ. Est. do Rio de Janeiro
vladimirjearim05@gmail.com

Acima
A interação de prótons acontece através do ciclo de reações de fusão denominado cadeia próton-próton. Este ciclo de reações e a rota de fusão de três etapas, que permite a transformação de 4 prótons em um núcleo de hélio, com 2 prótons e dois nêutrons, e dois prótons (Crédito: WikiMedia Commons).



A Astronomia na

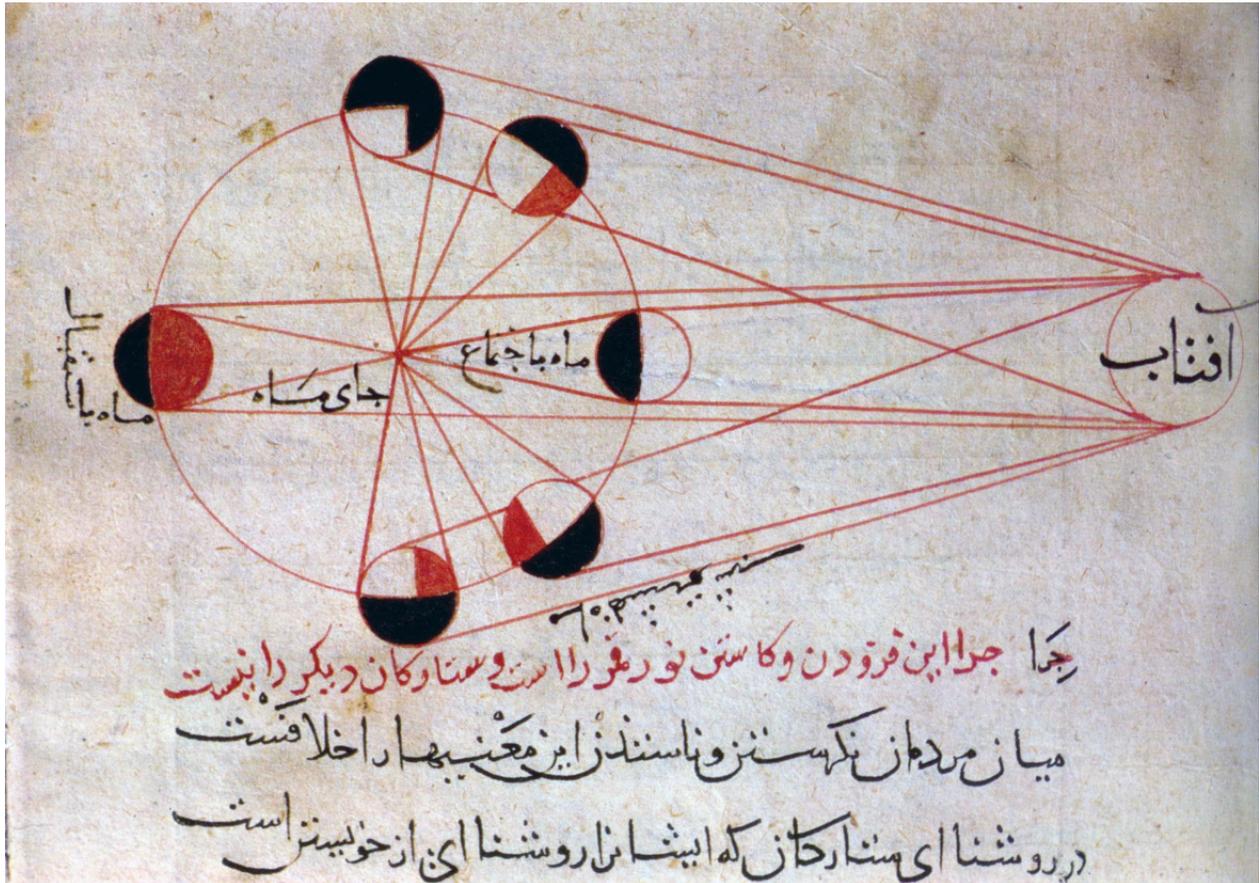
Era Dourada dos Árabes

A contribuição dos sábios árabes à Astronomia pré-renascentista foi enorme, mas pouco explorada no panorama histórico que o mundo ocidental construiu para sua própria instrução.

Hoje em dia, o mundo árabe é frequentemente associado à cultura enraizada na religião muçulmana. Todavia, a história cultural desses povos é bem mais antiga. Antes do advento do Islã, a região já possuía uma rica tradição astronômica que remonta às primeiras civilizações, como os

abilônios e os assírios. Essas culturas desenvolveram sistemas cosmogônicos complexos e coletaram um vasto conhecimento sobre os corpos celestes.

Os babilônios, por exemplo, foram mestres na arte da observação dos astros. Eles criaram calendários precisos e registraram meticulosamente os movimentos



dos planetas e da Lua. Seus registros astronômicos forneceram a base para a astronomia posterior na região.

Outra influência significativa veio dos persas, que mantiveram uma forte tradição de observação celeste, particularmente relacionada à astrologia.

Mas ao contrário dos babilônios, que desenvolveram elaborados sistemas de estudo matemático-astronômico, os árabes pré-islâmicos baseavam-se em observações empíricas, fundamentadas no nascer e pôr de estrelas específicas.

Com a expansão do Islã no século VII, vários povos da região foram incorporados ao império á-

rabe e o conhecimento astronômico dessas diversas escolas de pensamento se fundiu aos pré-islâmicos.

Contudo, foi no século seguinte que a astronomia realmente começou a florescer entre os árabes, durante o califado de al-Mansur, quando uma missão diplomática da Índia levou um de seus astrônomos para Bagdá, no ano 770.

A Era Dourada dos Árabes

Chamamos de *Era Dourada dos Árabes* o período de esplendor cultural, científico e econômico que ocorreu entre os séculos VIII e XIV, durante o domínio islâmico na região. Ela teria iniciado no rei-

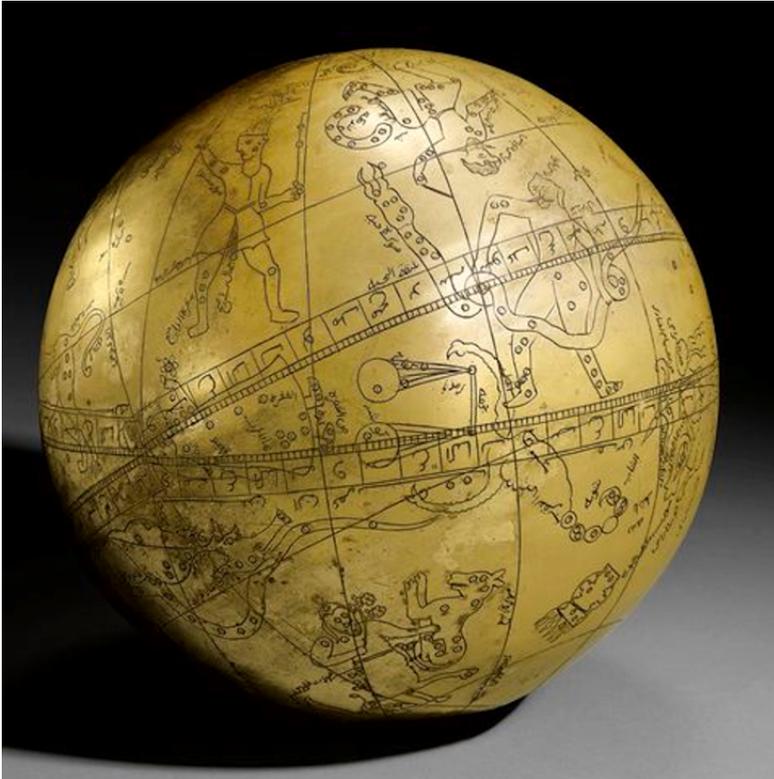
Acima

Ilustração de al-Birûni para explicar um eclipse lunar.

Página anterior

Detalhe de uma gravura do sec. XVI, que representa um conjunto de astrônomos no Observatório de Istambul.

nado do califa Hārūn al-Rashīd (de 786 a 809). Esse período foi marcado por uma grande valorização do conhecimento, resultando em avanços significativos de tecnologia.



Acima
Globo celeste persa feito em bronze (Crédito: Muhammadahmad79/WikiMedia Commons).

Então, os árabes tinham estabelecido um império vasto e poderoso, que se estendia desde a Espanha até o Oriente Médio e a Ásia Central. Esse império, conhecido como Califado Islâmico, proporcionou um ambiente propício para a promoção das artes, ciências e filosofia.

A astronomia desempenhou um papel central nesse florescimento cultural. Os califas abássidas, em particular, foram patronos entusiasmados do estudo dos fenômenos celestes, incentivando a pes-

quisa e o desenvolvimento nessa área. Mas esse apreço pela astronomia não era exclusividade das classes mais ricas. Houve uma variedade de razões, que abrangia aspectos científicos, religiosos, práticos e culturais. Algumas dessas são:

◇ **Importância religiosa:** A religião islâmica tem uma relação intrínseca com a astronomia. O calendário islâmico é baseado nas fases da lua, e o cálculo preciso dos horários de oração e a determinação do início e fim do Ramadã dependem da observação astronômica. Além disso, o estudo dos astros era considerado uma forma de contemplar a grandeza e a ordem do universo, o que levava a uma maior compreensão da criação divina.

◇ **Navegação e comércio:** Devido à sua localização geográfica, os árabes eram um povo ligado ao comércio marítimo e à navegação. A astronomia desempenhava um papel fundamental na determinação das rotas de navegação, auxiliando os comerciantes e marinheiros a se orientarem pelo céu noturno, utilizando estrelas e planetas como pontos de referência.

◇ **Herança cultural:** A cultura árabe tinha uma profunda admiração pelas antigas civilizações, como a Grécia e a Pérsia. Os árabes perceberam o valor da astronomia nessas culturas e buscaram preservar e desenvolver esse conhecimento.

◇ **Curiosidade científica:** Os ára-

bes da Era Dourada eram conhecidos por sua busca incessante pelo conhecimento e pela curiosidade científica. Eles valorizavam a observação cuidadosa, a experimentação e a aplicação prática do saber. A astronomia, como uma ciência que lida com o estudo do universo e dos corpos celestes, despertava um profundo interesse e fascínio intelectual.

◊ **Reconhecimento da importância prática:** Além das razões religiosas, culturais e científicas, a astronomia tinha uma relevância prática na sociedade árabe. A determinação precisa do calendário, o planejamento agrícola com base nas estações e a previsão do tempo eram questões práticas que dependiam da observação astronômica e do conhecimento dos ciclos celestes.

Esses fatores combinados resultaram em uma forte valorização da astronomia pelos árabes da Era Dourada. A astronomia não apenas atendia às necessidades práticas da sociedade, mas também era uma fonte de inspiração espiritual, um símbolo de prestígio cultural e uma demonstração do espírito científico e intelectual árabe da época.

Patronos e centros de aprendizado

Os astrônomos árabes receberam um apoio significativo do califado, o que fez a astronomia ser cultivada em prestigiados centros de aprendizado. Um de seus mais no-



táveis promotores foi o califa abássida al-Ma'mūn, que governou no século IX, e fundou a Casa da Sabedoria e um observatório em Bagdá. Al-Ma'mūn estava interessado em adquirir conhecimentos científicos e filosóficos de diferentes culturas. Ele iniciou um ambicioso projeto de tradução de obras gregas, persas e indianas para o árabe. Essas traduções incluíam textos fundamentais de astronomia, como as obras de Ptolomeu, Euclides e Arquimedes. Tal esforço de tradução ampliou o acesso ao

Acima
Ilustração que representa a constelação do Sagitário em uma das edições do *Livro das Estrelas Fixas*, de al-Şūfi.



Acima
Astrolábio árabe, um dos instrumentos astronômicos que foram aperfeiçoados durante a Era Dourada (Crédito: Almokad/WikiMedia Commons).

conhecimento astronômico antigo e permitiu que os estudiosos árabes se beneficiassem dos avanços da astronomia greco-romana.

O centro de aprendizado da Casa da Sabedoria foi o núcleo desse programa de tradução, desempenhando um papel fundamental no intercâmbio de conhecimentos pelos domínios dos abássidas. Durante sua existência, a Casa da Sabedoria abrigou estudiosos de diferentes origens culturais e fomentou o conhecimento científico em várias áreas do saber, da matemática à medicina. Foi nela que surgiram os grandes sábios árabes que se tornaram referência na história da Ciência.

Embora a Casa da Sabedoria tenha perdido sua influência e de-

clinado após alguns séculos, seu legado continua a ser reconhecido como um dos pontos mais brilhantes da Era Dourada. A instituição deixou um impacto duradouro na história da educação, tradução e disseminação do conhecimento, deixando um exemplo inspirador de como a promoção da sabedoria e do aprendizado pode impulsionar uma sociedade.

Além de Bagdá, outros centros de aprendizado se destacaram na promoção da astronomia. Cidades como Córdoba, no al-Andalus, e Cairo, no Egito, tornaram-se importantes centros intelectuais. Essas cidades atraíam estudiosos de diferentes partes do mundo árabe, permitindo o intercâmbio de conhecimentos e a colaboração entre astrônomos.

Instrumentação

O astrolábio é uma invenção que tem origem na Grécia Antiga, mais especificamente no século II a.C., atribuída a Hiparco. No entanto, foi no mundo islâmico que esse instrumento foi aprimorado e desenvolvido de maneira significativa. Durante a Era Dourada, os astrônomos árabes adicionaram-lhe escalas e dispositivos de ajuste, como a reta, que permitiam medir ângulos e fazer cálculos astronômicos mais precisos. Além disso, os astrônomos árabes também desenvolveram diferentes tipos de astrolábio, como o astrolábio planisférico.

Também os quadrantes foram substancialmente aperfeiçoados pelos árabes, que dominaram bem cedo seu uso na navegação.

Contribuições teóricas

Os astrônomos árabes desse período fizeram importantes contribuições teóricas para o estudo dos fenômenos celestes.

Um dos astrônomos mais proeminentes dessa época foi al-Battānī, também conhecido como Albategnius. Ele realizou observações ao longo de um período de 40 anos, de 878 a 918 d.C., através das quais obteve melhorou o valor de Ptolomeu para a precessão e para a excentricidade da órbita do Sol. Sua descoberta mais notável foi que o perigeu solar (o ponto mais próximo do sol à Terra) estava em movimento, embora este fosse muito lento. Anteriormente, apenas o movimento do perigeu da lua era conhecido. Suas tabelas para prever as posições do Sol, Lua e planetas eram mais precisas do que as de Ptolomeu, e seu trabalho foi amplamente conhecido durante o Período Medieval. Ele foi pioneiro na compreensão da natureza de um eclipse anular do Sol.

Outra contribuição notável foi feita por al-Farghānī, também conhecido como Alfraganus, que sistematizou e aprimorou a teoria geocêntrica de Ptolomeu. Ele escreveu o livro *Elementos de Astronomia*, que se tornou uma obra essencial entre os séculos X e XIII. Seu livro continha correções pa-

ra cálculos da circunferência da Terra, a inclinação axial da Terra e as apsides do Sol e da Lua. No século XV, Cristóvão Colombo baseou-se justamente nas estimativas de al-Farghānī para a circunferência da Terra, porém confundiu o tamanho da milha árabe usada pelo sábio, com o tamanho da milha romana, bem mais curta. Isto é, para Colombo, o mundo pareceu ser menor do que al-Farghānī efetivamente tinha calculado. Se não fosse por isso, talvez Colombo não tivesse ousado se aventurar a buscar o Caminho para as Índias navegando em direção ao Oeste.

Abaixo

Estátua em homenagem a al-Birūnī, em Teerã, no Irã (Crédito: David Stanley/WikiMedia Commons).



Al-Birūnī, um estudioso árabe do século XI, fez importantes contribuições para a astronomia. Ele escreveu o *Qanūn al-Masūdī*, uma enciclopédia astronômica, além de 94 outros livros dedicados ao tema. Al-Birūnī também estudou os movimentos planetários, desen-

volveu métodos matemáticos, criticou a teoria ptolemaica e projetou instrumentos astronômicos.

Vale ainda apontar al-Şūfī, também chamado de Azofī, um astrônomo árabe do século X, que é conhecido por seu trabalho na astronomia observacional. Seu *Livro das Estrelas Fixas* é um catálogo detalhado de cerca de mil estrelas, que descreve suas posições e características. Al-Şūfī também identificou e descreveu constelações, contribuindo para o mapeamento estelar. É dele o primeiro registro de observação da Galáxia de Andrômeda, que ele identificou como uma pequena nuvem. Seu trabalho influenciou a astronomia medieval e estabeleceu um padrão

para a observação e catalogação de estrelas.

Essas contribuições teóricas tiveram um impacto significativo no desenvolvimento da astronomia na Europa durante a Idade Média. Vemos um reflexo disso na terminologia que ainda usamos para descrever conceitos de astronomia esférica: azimute, zênite, nadir, almucântar, alidade são palavras de origem árabe. Sem falar na quantidade de nomes de estrelas que eles nos legaram!

De volta à Europa

Após terem sido traduzidos para o árabe durante a Era Dourada dos Árabes, vários antigos textos gregos foram posteriormente

Abaixo

Páginas de um manuscrito de al-Birūnī, que ensina a técnica de construção de astrolábios.





reintroduzidos na Europa através de diferentes rotas de transmissão e tradução.

A tradução desses textos árabes para o latim levou à transformação de quase todas as disciplinas de conhecimento no mundo latino medieval, da medicina, à filosofia e astronomia.

Um dos principais caminhos pelos quais esses textos chegaram à Europa foi através dos reinos cristãos do Mediterrâneo Ocidental. Durante a Idade Média, essas regiões estiveram sob domínio muçulmano, antes de serem retomadas pelos cristãos europeus. Eram sociedades em que havia intenso contato cultural e intelectual entre o mundo árabe e o mundo la-

tino, atualizando este último acerca das novidades realizadas pelos árabes e, indiretamente, por povos mais distantes, como os chineses.

Os reinos da Sicília normanda e da Espanha desempenharam um papel importante na transmissão desses textos para a Europa, particularmente a cidade de Toledo, onde eruditos cristãos, muitos dos quais fluentes em árabe, traduziram os textos para o latim, tornando-os acessíveis aos europeus.

Outra rota importante pela qual os textos árabes foram levados à Europa foi através dos cruzados europeus que viajavam para o Oriente Médio durante as Cruzadas. Durante essas expedições, os cruzados entraram em contato com

Acima

Os astrolábios árabes continham marcações que permitiam a determinação da qibla (a direção à Meca), bem como os horários corretos para as orações (Crédito: Coleção Whipple).



Acima
Astrônomos otomanos estudam a Lua e as estrelas. Ilustração de um manuscrito do século XVII.

a cultura e o conhecimento árabe, saquearam bibliotecas e centros de aprendizado muçulmanos. Alguns levaram consigo manuscritos e objetos árabes para seus países de origem.

Uma figura notável nesse processo de tradução foi Gerardo de Cremona, um estudioso italiano sediado em Toledo no século XII que se dedicou à tradução de textos árabes para o latim. Gerardo de Cremona traduziu várias obras de astrônomos árabes proeminentes, como al-Battānī, al-Farghānī e al-Khwārizmī. Suas traduções abriram as portas para o conhecimento árabe, incluindo os textos gregos traduzidos para o árabe, ser incorporado ao cânone acadêmico europeu.

As Tábuas Afonsinas, de 1252, são um exemplo significativo da influência árabe na astronomia europeia. Elas são uma coleção de tabelas astronômicas compiladas por uma equipe de astrônomos liderada pelo rei Afonso X de Castela no século XIII. As Tábuas baseiam-se fortemente nas obras astronômicas árabes e são consideradas uma adaptação e desenvolvimento das tabelas astronômicas árabes existentes na época. Elas foram muito influentes na astronomia europeia entre os séculos XIII e XV, fornecendo informações precisas sobre a posição dos corpos celestes e permitindo cálculos astronômicos mais complexos, segundo o modelo geocêntrico de Ptolomeu.

A influência árabe nas Tábuas Afonsinas é evidente em vários aspectos. Por exemplo, o sistema de numeração indo-arábico, que foi introduzido na Europa pelos árabes, foi usado nas tabelas pa-

ra realizar cálculos matemáticos. Além disso, os métodos e instrumentos astronômicos desenvolvidos pelos árabes, como o astrolábio e o quadrante, foram incorporados nas Tábuas.

Contudo, as Tábuas Afonsinas não foram apenas uma cópia das tabelas árabes, e sim uma combinação de elementos árabes e europeus. Os astrônomos de Afonso X adaptaram e refinaram as tabelas astronômicas existentes, introduzindo melhorias e correções com base em suas próprias observações.

O ocaso da Era Dourada

A destruição de Bagdá e da Casa da Sabedoria pelos mongóis em 1258 é considerada por muitos como o marco do fim da Era Dourada dos Árabes, mas outros fatores parecem ter contribuído para essa mudança de ênfase e diminuição do impulso científico na região.

Com o enfraquecimento dos califados e a fragmentação política na região, a estabilidade social e política foi afetada. Conflitos internos, invasões estrangeiras e disputas por poder levaram a um declínio geral das atividades científicas, incluindo a astronomia.

À medida que o comércio e o poder político mudavam de região, os centros de conhecimento e aprendizado também foram afetados. A influência cultural e científica começou a se deslocar para outras partes do mundo, como

a Europa, onde ocorria um renascimento intelectual.

Após o século XV, a região experimentou mudanças no pensamento filosófico e religioso, com o fortalecimento de correntes que tendiam a valorizar mais a teologia em detrimento das ciências naturais. Isso resultou em uma menor ênfase dada à astronomia e a outras ciências empíricas.

No entanto, é importante destacar que o legado da Era Dourada não foi completamente perdido. Muitos dos conhecimentos árabes contribuíram para o Renascimento na Europa. Os avanços em astronomia e matemática alcançados pelos árabes tiveram um impacto duradouro na ciência ocidental.

A astronomia continuou a ser estudada e cultivada em algumas partes do mundo islâmico mesmo após o declínio da Era Dourada. Houve outros astrônomos notáveis em diferentes períodos posteriores da história islâmica, que deram grande contribuição à astronomia.

A Era Dourada dos Árabes nos mostra como é importante termos governos que promovam a ciência. Pois, ao fim, é a própria sociedade que ganha •

Helio J. Rocha-Pinto
Univ. Fed. do Rio de Janeiro
helio@ov.ufrj.br

Contracapa
Cair da noite no
Observatório do Pico dos
Dias, em Minas Gerais
(Crédito: Wandeclyt Melo/
Céu Profundo).



S.A.B.