

Revista
Brasileira de
**ASTRO
NOMIA**

Produzida pela Sociedade
Astronômica Brasileira

Volume 6 | Número 24
Ano 2024

Cometas
brilhantes

Como morrem as galáxias
Tornando acessível o Universo
Por que estudar nossa Galáxia?



Editorial

Quando soube da possibilidade de ensinar Astronomia para cegos, fiquei bastante surpreso. Afinal, sendo vidente, eu não conseguia dissociar a observação dos fenômenos astronômicos, e sua compreensão, do ato de ver. A Astronomia tinha nascido da observação, então ver pareceu-me uma atividade essencial em sua formulação. Porém, fui confrontado com o fato de que só vemos efetivamente em comprimentos de onda de luz visível; nos demais comprimentos de onda, somos cegos. E para contornar essa cegueira, elaboramos diversos equipamentos capazes de ver em nosso lugar. De forma análoga, é possível elaborar materiais e equipamentos que permitam que nossos cidadãos com deficiência visual aprendam sobre a Astronomia, como nosso primeiro artigo mostra.

O conhecimento científico avança de maneira imprevisível, a passos largos. Trinta anos atrás, víamos nossa Galáxia como um sistema estelar bem diferente do que hoje em dia aceitamos, como nosso segundo artigo conta. Em 1994, Rodrigo Ibata tinha acabado de descobrir nossa vizinha galáxia anã de Sagittarius, que está em processo de interação gravitacional com a Via Láctea. Desde então, encontramos inúmeros outros destroços de galáxias e aglomerados ao redor da Via Láctea. Nossa Galáxia exemplifica localmente como os sistemas estelares maiores desmontam e roubam o gás de sistemas estelares satélites, um dos muitos processos tratados no nosso terceiro artigo, acerca da morte das galáxias.

Por fim, este número termina com um apanhado de alguns cometas brilhantes que nos visitaram desde o século XV. Certamente é uma lista incompleta, pois no espaço da revista não caberiam todos; mas buscamos trazer um pequeno rol dos principais cometas que causaram rebuliço na sociedade, com destaque para os mais recentes.

Helio J. Rocha-Pinto

Presidente da Sociedade Astronômica Brasileira

Esquerda

Detalhe de Sagittarius C, na região central da Galáxia (Crédito: NASA, ESA, CSA, STScI, S. Crowe).

Capa

Cometa ATLAS-Tsuchinshan observado em Cerro Paranal, junto aos telescópios do ESO (Crédito: Thallis de Lourenço Pessi).

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
Assistente Hélio Dotto Perottoni

Contato secsab@sab-astro.org.br
Para anunciar Escreva ao email acima ou
ligue (11) 3091-8684,
Seg. a Sex. 10 às 16 h.
Para submissões
Contacte um membro do conselho editorial



Presidente
Helio J. Rocha-Pinto
Vice-Presidente
Lucimara Martins
Secretária-Geral
Marina Trevisan
Secretário
Matthieu Castro
Tesoureira
Paula Coelho
Endereço
Sociedade Astronômica Brasileira
Rua do Matão, 1226
05508-090 São Paulo – SP
<http://www.sab-astro.org.br>

4 Universo Acessível

Silvia Lorenz-Martins, Jackson Farias, Aires Silva e Priscila Marques explicam como tornar conhecimentos astronômicos acessíveis a pessoas com deficiência visual.

13 Por que estudar nossa Galáxia?

Cristina Chiappini compara o salto entre o conhecimento atual e o que sabíamos sobre a Via Láctea há 30 anos, bem como alinha as expectativas para as próximas décadas nesse campo.

23 Como morrem as galáxias

Natanael de Isídio apresenta as diversas formas pelas quais uma galáxia para de formar estrelas e vai, aos poucos, morrendo.

32 Cometas brilhantes

Em comemoração à recente visita do cometa ATLAS-Tsuchinshan, Helio J. Rocha-Pinto relembra alguns dos principais cometas brilhantes que foram avistados na história.



Tornando o Universo acessível

A astronomia desenvolveu-se inicialmente a partir de observações óticas. Mas é possível falar de astronomia e ensiná-la mesmo para quem não pode ver com os olhos.

Astronomia é uma ciência que sempre desperta um interesse especial nas pessoas, independentemente de sua origem cultural ou social. Desde os primórdios, sempre olhamos para o céu com admiração e curiosidade, impulsionados por questões fundamen-

tais sobre nossa existência e nosso lugar no Universo. Por seu caráter lúdico, a astronomia pode ser considerada com um dos maiores motivadores para despertar o interesse de jovens para as áreas de ciência e tecnologia. Além desta capacidade motivadora — servindo para atrair futu-

ros estudantes para a área científica, a astronomia simplesmente serve para popularizar a ciência nas diversas camadas da população.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que define o conjunto orgânico de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver na Educação Básica, já propõe, desde o primeiro ano, a astronomia como tópico. De fato, a ideia é bastante interessante e promissora, uma vez que o assunto é motivador. No entanto, existem algumas falhas na formação dos professores do ensino básico, onde erros conceituais persistem. Ademais, os cursos de licenciatura têm conteúdo limitado, ou sequer apresentam conteúdo de astro-

nomia. Assim, se já há problemas de conteúdo de astronomia para crianças videntes, para pessoas com deficiência (PCD) visual o problema se acentua. Somado a isso, a população de PCD visual não é desprezível no Brasil. Segundo dados do IBGE (2010), 18,6% da população brasileira possui algum tipo de deficiência visual. Desse total, 6,5 milhões apresentam deficiência visual severa, sendo que 506 mil têm perda total da visão (0,3% da população) e 6 milhões grande dificuldade para enxergar (3,2%).

Quando pensamos em Astronomia, logo nos vêm à mente as imagens difundidas pela mídia e ima-



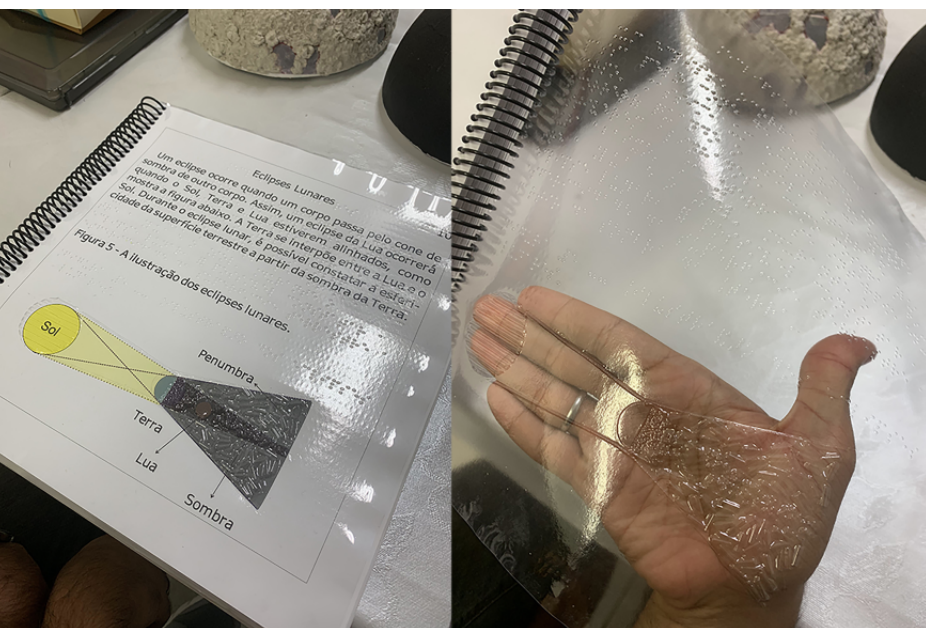
Universo Acessível

ginamos que seria impossível transmitir tais sensações para PCD visual. Entretanto, se pensarmos que mesmo os videntes têm limitações diversas, tais como a restrição à faixa do espectro visível, o bloqueio de diversos comprimentos de onda pela atmosfera e a dependência de satélites e sensores especializados para observar o universo, percebemos que, na verdade, é possível ensinar astronomia também para o público com deficiência visual. Essa reflexão está no cerne do *Projeto Universo Acessível*, que desenvolve material didático em relevo com diferentes texturas e contraste de co-

res, transcritos em braille e em formato ampliado, para o ensino de astronomia para pessoas com deficiência visual, buscando assegurar uma educação inclusiva e equitativa de qualidade, reduzindo as desigualdades de acesso à educação e ao conhecimento científico. Inspiramo-nos em alguns trabalhos pioneiros como, por ex., os de Tânia Dominici, Adriana Bernardes e Karla Diamantina Soares, que produziram cartas celestes e constelações 2D, audiodescrição e modelagem de constelações com cerâmica fria, jogos e demais materiais em placas confeccionadas através do processo de termoformagem.

O projeto de extensão Universo Acessível nasceu em 2013, e tinha

Na página anterior
Imagem da Lua tátil de 70 cm, sendo testada por estudantes do IBC. O objeto foi doado para ser usado em aulas no IBC.



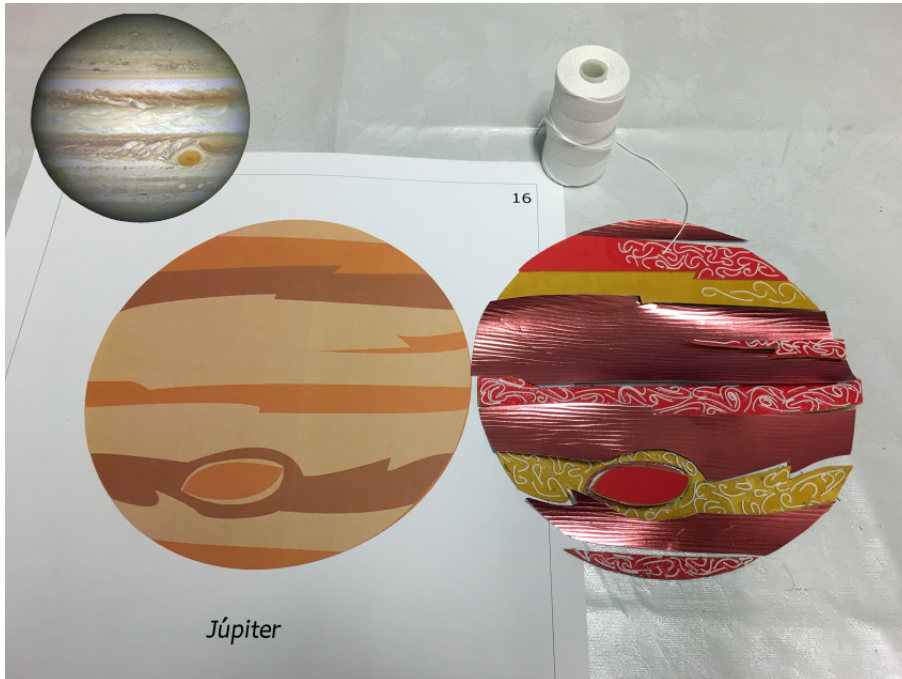
Acima

Um dos cadernos produzidos pelo projeto. A folha em relevo representa o eclipse lunar.

outro nome: *Visitação à Coleção de Instrumentos Científicos do Observatório do Valongo/UFRJ: inclusão de material tátil para visitantes portadores de deficiência visual*. A ideia inicial era tornar as visitas ao observatório do Valongo acessíveis, mas a equipe era pequena e não tínhamos como testar o material produzido. Foi somente através do convênio com o Instituto Benjamin Constant (IBC) que o projeto começou a se desenvolver de forma mais eficiente. O IBC é uma instituição pública de ensino e pesquisa localizada no Rio de Janeiro, especializada no atendimento e educação de pessoas com deficiência visual, vinculado ao Ministério da Educação. No IBC, nossa parceria se dá com o grupo de pesquisa *Ciência ao alcance das mãos*. Assim, com o apoio de professores, revisores, técnicos e alunos cegos do IBC, desenvolvemos e testamos diversos

materiais educativos e inclusivos. Todo material passa por várias fases de testes e, uma vez aprovados, os produtos são doados ao IBC. Um dos principais diferenciais desta parceria, é que o IBC distribui o material produzido, mediante solicitação, para instituições públicas de ensino no Brasil que atendem alunos com deficiência visual. No início da parceria, realizamos diversas visitas técnicas ao IBC, e essas visitas foram fundamentais para redefinir as diretrizes do projeto. Nelas pudemos perceber a carência de materiais didáticos voltados para o ensino de astronomia para PCD visual. Foi essa constatação que nos motivou a adaptar e criar recursos que atendessem a essa demanda específica. Todo material desenvolvido segue as diretrizes da BNCC a fim de ser aplicado em diferentes séries.

O grupo, que começou no Observatório do Valongo, cresceu ao longo do tempo e atualmente conta com alunos de diversas áreas, como Física, Ciências da Computação, Design, Terapia Ocupacional, Arquitetura, Geologia, além de estudantes de Astronomia. Temos notado que a multidisciplinaridade favorece a criação de novos objetos, ideias e modos de pensar. Com essa reformulação, sentimos a necessidade de um novo nome. A marca Universo Acessível foi escolhida entre várias sugestões propostas pelos membros do grupo.



Ao lado
Imagem adaptada de
Júpiter e o material
utilizado para texturizá-la.
Acima, à esquerda, a
imagem real do planeta.

Um tipo de material desenvolvido são cadernos didáticos táteis, que utilizam a técnica de termoformagem. As folhas previamente texturizadas são utilizadas como matriz para replicação em folhas de PVC (policloreto de vinila), onde figuras e texto (em Braille) ficam em alto relevo no plástico, tornando assim o processo de replicação possível. As imagens astronômicas utilizadas nos cadernos são obtidas de satélites e telescópios espaciais e adaptadas para serem utilizadas nos cadernos. Uma vez escolhido o tema, as imagens e redação do texto são realizadas pelo grupo de astrônomos do projeto e, na sequência, os professores do IBC verificam a adequação das escolhas. Uma vez aprovado o material, ocorre o processo de adaptação das imagens seguido pela texturização e

finalmente, testes. Os cadernos táteis são separados por temas e, paralelamente, desenvolvemos material tridimensional, a fim de complementar o aprendizado. Como um exemplo, o Caderno de Astronomia I: Terra à Lua e seus movi-

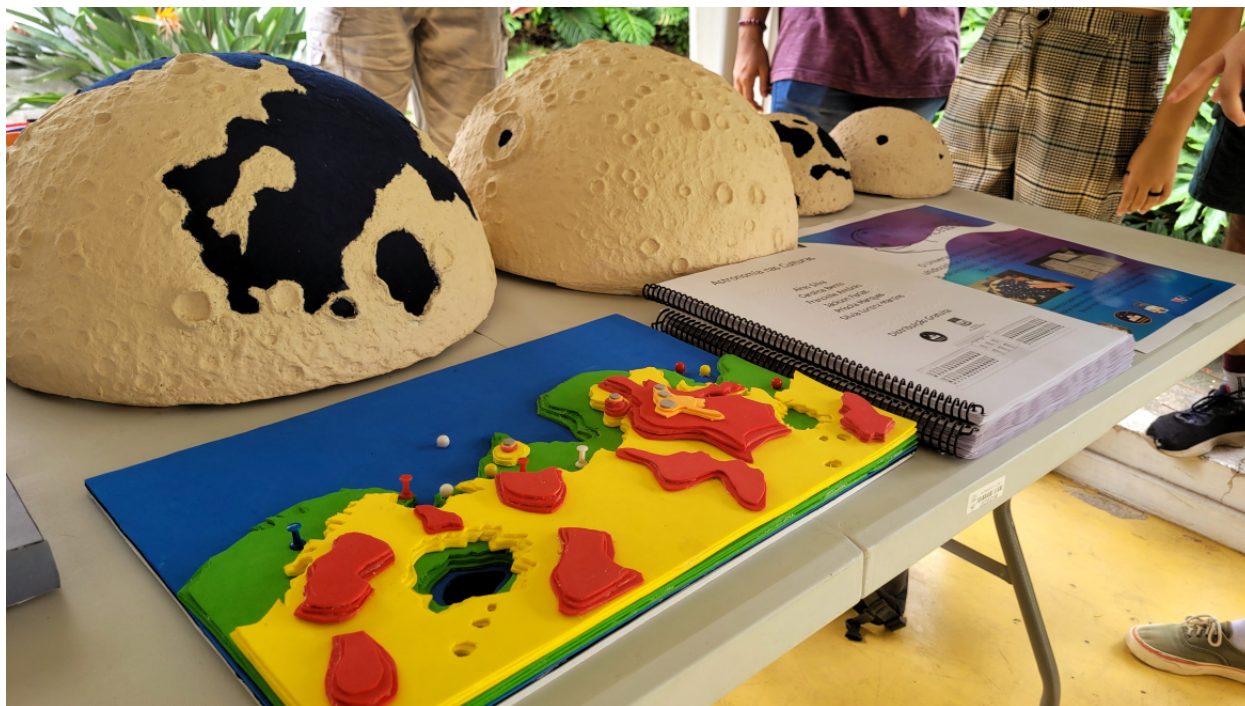
Para saber mais

BERNARDES, A. O. Astronomia inclusiva no universo da deficiência visual. (2009) Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual do Norte-Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro.

DE FARIAS, J.; NAVIA, M.; LORENZ-MARTINS, S., SILVA, A. (2022) Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, 33, no. 1, 152-153

DOMINICI, T.P., OLIVEIRA, E., SERRAF, V., DEL GUERRA, F. (2008) Revista Brasileira de Ensino de Física, v.30, no.4, p.4501.

SOARES K.D.A; CASTRO, H.C.; DELOU, M.C., (2015) Astronomia para deficientes visuais: inovando em materiais didáticos acessíveis. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias v.14, n.3, p. 377-391



Acima

Material tátil apresentado na exposição “São elas na física”, na Casa da Ciência da UFRJ, Março de 2024. A imagem a frente, a esquerda, representa o mapa topográfico tátil de Marte. No plano de fundo, vemos a Lua tátil construída por nossa equipe.

mentos, aborda os movimentos entre Terra, Lua e Sol e suas consequências. Simultaneamente, desenvolvemos uma Lua tridimensional tátil para fixar o aprendizado das suas principais características físicas (crateras e planícies), mas também porque é o objeto celeste mais proeminente visto à noite. A Lua foi desenvolvida com o intuito de proporcionar a PCD visual um conhecimento similar ao que videntes obtêm da observação da Lua Cheia. Feita em papel machê colado sobre o mapa real da Lua fixado em uma esfera de 70 cm, preservamos crateras e planícies importantes a fim de manter uma correspondência mais próxima do real com o que normalmente enxergamos, ao observar a Lua. Deste modo, a Lua e o caderno podem ser usados jun-

tos em sala de aula, enriquecendo ainda mais os processos de ensino e de aprendizagem. O caderno de Astronomia II foi dedicado ao Sistema Solar e sistemas extrassolares, e tem como complemento o sistema extrassolar Trappist 1, reproduzido tridimensionalmente. Os cadernos têm-se mostrado efetivos no ensino de astronomia para PCD visual.

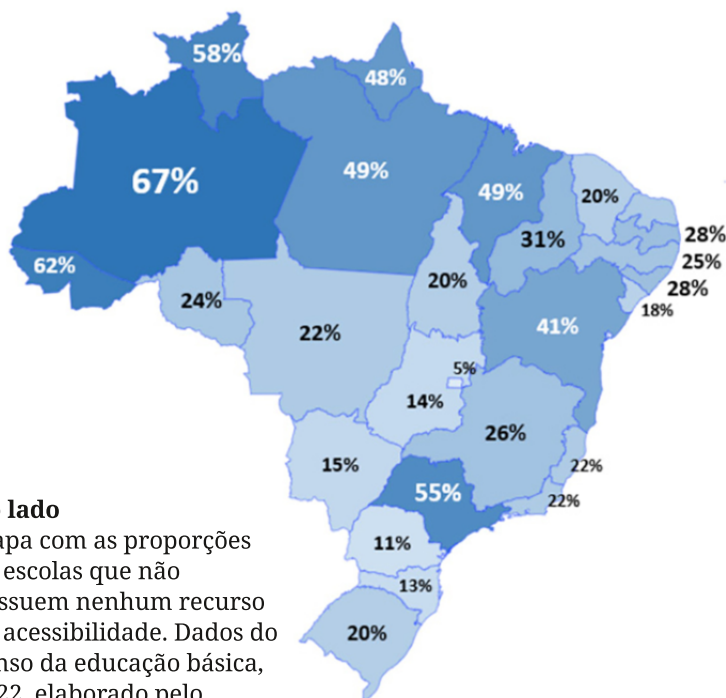
Diante do isolamento social causado pela pandemia do coronavírus SARS-CoV-2, em 2020, as atividades de ensino precisaram se adaptar, superando dificuldades de acesso a recursos didáticos. O impacto sofrido no ensino de PCD visual teve por agravante tal isolamento, visto que os materiais educativos fazem uso majoritariamente de conteúdo tátil. Assim, nosso projeto adotou uma refor-

mulação na produção de conteúdo didático para reduzir estes impactos. Frente a tais obstáculos e suas implicações, encontramos como solução a exploração das ferramentas de áudio, desenvolvendo livros falados. Os livros falados priorizam a leitura branca na gravação, que é a leitura simples e objetiva que simula a voz interior de alguém que faz sua leitura silenciosa. Foram gravados nos estúdios da Coordenação do Livro Falado, no IBC, com uma radialista que realizou a locução. Até o momento, quatro livros foram produzidos: A história da Astronomia em formato de livro falado; Desvendando o satélite natural da Terra em formato de Livro Fala-

do; Astronomia nas Culturas; e Tateando Marte. O livro falado Astronomia nas Culturas se mostrou tão pertinente que também foi publicado em braille-tinta, e tem sido usado em sala de aula. Nele, são descritas as constelações ocidentais mais importantes e a mitologia grega associada a elas, além das principais constelações indígenas, seguindo as preconizações da BNCC de aprofundar os conhecimentos sobre a cultura indígena e sua interrelação com outros povos. Como objeto tridimensional complementar, foi desenvolvido um protótipo que mostra a constelação do Cruzeiro do Sul e para evidenciar as diferentes distâncias das estrelas até nós. O li-

Abaixo
Maquete da cúpula da
luneta Pazos, em escala de
1:20



**Ao lado**

Mapa com as proporções de escolas que não possuem nenhum recurso de acessibilidade. Dados do censo da educação básica, 2022, elaborado pelo Ministério dos Direitos Humanos e Cidadania.

vro falado Tateando Marte ganhou complementos: um objeto tridimensional representando Marte e seu interior e um mapa topográfico tátil. Como a ideia do projeto é desenvolver recursos utilizando material de baixo custo e fácil acesso, permitindo a replicação, foram produzidos dois manuais: o Kit-Lua e o Kit-Marte. No Kit-Marte, mostramos como reproduzir o mapa topográfico do planeta. O manual tem moldes para recriar a topografia e marcações das principais missões que estiveram em Marte. Adicionalmente, apresentamos algumas das missões que já visitaram Marte e seus resultados. Já no Kit-Lua mostramos como produzir uma Lua tridimensional usando papel machê. Acompanha o kit, um mapa superficial real da Lua, montado em go-

mos. Esse último integrou o trabalho de final de curso de uma aluna do grupo.

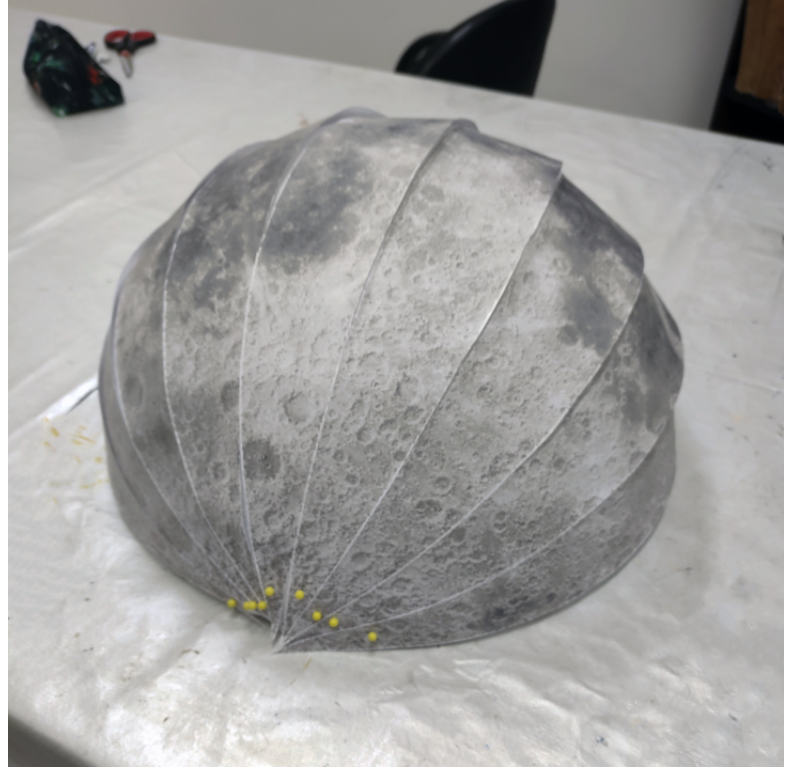
Ainda durante o período de isolamento social, foram desenvolvidos quatro jogos com assuntos diferentes bem como a forma de jogar; são eles: o Astrodicás, Unidade Astronômica; DescubASTRO e o CombinASTRO. Os jogos didáticos têm se mostrado uma poderosa ferramenta de apoio para o ensino de ciências há muito tempo. Tais jogos são produzidos com o objetivo de proporcionar determinadas aprendizagens, diferenciando-se do material pedagógico, por conter o aspecto lúdico. É uma alternativa interessante para melhorar o desempenho de estudantes de uma forma geral.

O Universo Acessível também foi objeto de estudo e tema de dois trabalhos de conclusão de curso na UFRJ. Um no Instituto de Física da UFRJ e outro no Observatório do Valongo. O primeiro trabalho intitulou-se "Abordando cores e formas de modo multissensorial — Ensino inclusivo de ciências para pessoas com deficiência visual através da técnica de texturização". O segundo trabalho, "Desvendando a Lua: recursos didáticos multissensoriais no processo de ensino e aprendizagem de Astronomia".

Nesse ano voltamos a nos dedicar em tornar o Observatório do Valongo mais acessível. Produzimos maquetes, na proporção 1:20, das cúpulas e telescópios do ob-

servatório. Sabemos que a utilização de maquetes é relevante para possibilitar uma exploração tátil guiada de um espaço físico muitas vezes inacessível ao público com deficiência visual. Tais objetos permitem que a pessoa cega realize uma construção imagética a partir do toque. Ainda pensando na acessibilidade às visitas ao observatório, começamos a trabalhar com sonificação. O processo foi desenvolvido pela NASA, e é um processo que traduz dados astronômicos em som, processo semelhante ao de transformar dados digitais em imagens. A sonificação preserva a ciência dos dados de seu estado digital original, mas fornece um caminho alternativo para que pessoas cegas possam experimentar dados astronômicos. Estamos produzindo imagens tácteis de vários objetos astronômicos associadas aos sons para que sejam expostas no observatório.

O Universo Acessível é um projeto inclusivo, mas não exclusivo. Assim, adaptamos o conteúdo dos cadernos táteis, removendo as páginas de PVC, onde estavam o Braille e as texturas, e ajustando o alto contraste, para que pessoas fora do universo das deficiências visuais também pudessem utilizá-los. A partir dessa adaptação, surgiram dois novos trabalhos: o Caderno de Astronomia nas Culturas — falando sobre mitos nas constelações e o Caderno Sistema Solar e Sistemas Extrassolares, am-



bos em versão eletrônica. Todo material produzido é apresentado em um site acessível, especialmente desenvolvido por estudantes da ciência da computação da UFRJ, para que nosso trabalho atingisse um público maior.

Trabalhar com acessibilidade e inclusão é um grande desafio. O desenvolvimento de material tátil para a compreensão de ciências e, em especial, de astronomia, ainda é muito pouco para as necessidades reais. Na produção do material, nem sempre é fácil ou possível alcançar o pretendido. Os materiais são testados inúmeras vezes até serem aceitos para a utilização, e às vezes, não o são. No entanto, quando aprovados, há uma grande satisfação em poder contribuir para o ensino e divul-

Acima
Lua sendo preparada para receber a massa de papel machê.

gação da astronomia para uma parcela importante da população. Criar adaptações com material de baixo custo e de fácil replicação também é fundamental para nós. Tentamos com isso promover a redução das desigualdades e uma educação inclusiva, igualitária e de qualidade. O projeto coloca em evidência a importância da interdisciplinaridade na construção da acessibilidade cultural e educação inclusiva. Para conhecer um pouco mais sobre os trabalhos desenvolvidos, temos as redes sociais dos grupos de pesquisas Universo Acessível e Ciência ao Alcance das Mãos. Lá são encontradas fotos de alguns dos materiais produzidos, dicas e publicações científicas na temática descrita aqui •

Silvia Lorenz-Martins
Univ. Fed. do Rio de Janeiro
slorenz@ov.ufrj.br

Jackson Farias
Museu de Astron. e Ciências Afins
jacksonfarias@mast.br

Aires Silva
Instituto Benjamin Constant
airessilva@ibc.gov.br

Priscila Marques
Instituto Benjamin Constant
pricilamarques@ibc.gov.br

Siga o Universo Acessível

Instagram

@universoacessivel

Facebook

universoacessivel





Por que estudar

Nossa Galáxia?

Ao nosso redor encontram-se os astros fósseis mais antigos que podemos estudar em grande detalhe, formados logo após o Big Bang. Devemos aproveitar essa oportunidade!

A Via Láctea tem uma história rica e complexa, assim como outras galáxias. Uma das questões mais fundamentais da astrofísica moderna é entender como as galáxias se formam e, em particular, como a nossa Galáxia nasceu e evoluiu ao longo de bilhões de anos. Sim, bilhões! Mas por que a nossa Galáxia tem um papel tão central, se o Universo está repleto de outras galáxias, muitas delas bastante diferentes da nossa? A resposta é simples, mas incrivelmente fascinante: a Via Láctea é a única galáxia para a qual é possível obter a cinemática e a composição química de milhões de estrelas, individualmente. E por que isso seria importante? Um dos conceitos mais básicos é que as estrelas mais antigas contêm informações sobre o gás do qual foram formadas há bilhões de a-

Na página anterior

Céu estrelado no Japão
(Crédito: Kanenori/
Pixabay).

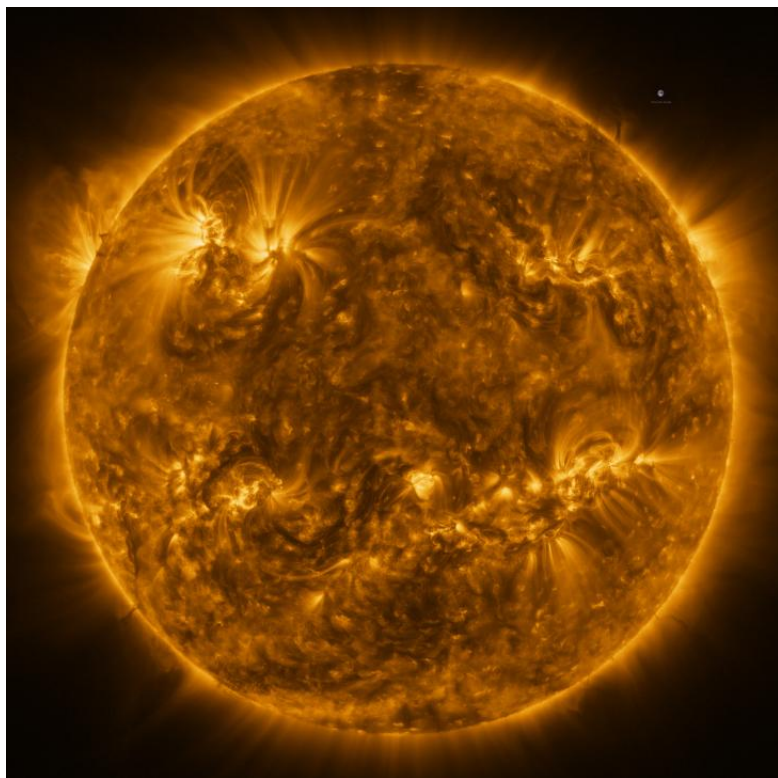
Abaixo

Sol visto pelo Solar Orbiter.
Imagem capturada em
março de 2022, quando a
sonda estava a meio
caminho entre a Terra e o
Sol, ou seja, a 75 milhões de
km de nós (Crédito: ESA &
NASA/Solar Orbiter/EUI
team, E. Kraaikamp).

nos, no início da formação da Via Láctea. Elas agem como testemunhas do passado, preservando vestígios do material primordial e dos primeiros eventos de formação estelar. Essas estrelas, com suas características distintas, fornecem pistas preciosas sobre a história da Galáxia, além de nos ajudar a entender como a composição química do Universo — que começou com uma simples tabela periódica, composta quase exclusivamente por hidrogênio e hélio — evoluiu para a composição que todos conhecemos e estudamos na escola.

Por exemplo, o Sol, formado há 4,6 bilhões de anos, preserva a composição química do gás que o formou nas suas camadas mais externas. Se extrapolarmos isso

para as estrelas mais velhas que conhecemos, fica claro que aqui, na nossa Galáxia, encontram-se talvez os fósseis mais antigos dessa história. Estrelas de diferentes massas produzem diferentes elementos químicos e, ao morrerem, enriquecem o gás. O Sol eventualmente se tornará uma nebulosa planetária, soltando suas camadas externas e deixando para trás uma anã branca. Em contraste, estrelas mais massivas passam por explosões de supernovas, criando elementos mais pesados, como o oxigênio. Outro tipo de explosões acontecem em sistemas binários de estrelas, quando a anã branca acreta massa da companheira. Nesse caso, a produção maior é de ferro. Elementos ainda mais pesados como ouro ou prata, são produzidos pela fusão de estrelas de nêutrons. Todos esses processos contribuem para a evolução química contínua de uma galáxia. Esse processo evolutivo faz com que a composição do Universo, das galáxias e da Via Láctea mude com o tempo. Como diferentes elementos químicos são produzidos em diferentes escalas de tempo, por estrelas de diferentes massas, estes também podem ser usados como uma espécie de relógio químico que nos diz quanto rápido estrelas se formam em diferentes regiões. Não ao acaso essa área de estudos foi denominada Arqueologia Galáctica, pois utilizamos as propriedades das estrelas para tentar inferir a histó-



ria da nossa Galáxia, já que estas passaram por muitos eventos durante suas vidas.

Outra maneira de estudar essa história é observar galáxias distantes. Além disso, como a luz viaja a uma velocidade finita, as galáxias mais distantes que conseguimos ver estão, na verdade, no passado, uma espécie de “imagem congelada” de momentos primordiais da evolução do Universo. Essa é uma verdadeira viagem no tempo, e é exatamente o que telescópios como o JWST tentam fazer ao medir as propriedades de galáxias muito distantes, cujas luzes são fracas e avermelhadas. Mas como podemos relacionar o que vemos nos primórdios do Universo ou nas galáxias distantes com a história que a nossa própria Galáxia conta? Enquanto a observação de outras galáxias nos oferece uma “foto momentânea” de cada uma delas, as estrelas da nossa Galáxia funcionam como uma linha do tempo. Elas são testemunhas do passado da Via Láctea, e suas características nos permitem reconstruir a jornada evolutiva da Galáxia, descobrindo em detalhe os mais variados eventos pelos quais passou. Por exemplo: como se formou, como interagiu com (e até mesmo canibalizou) outras galáxias ao longo do tempo e como ela chegou à configuração que observamos hoje.

Mas quais são os desafios para conseguir contar essa história? Começamos com uma imagem des-

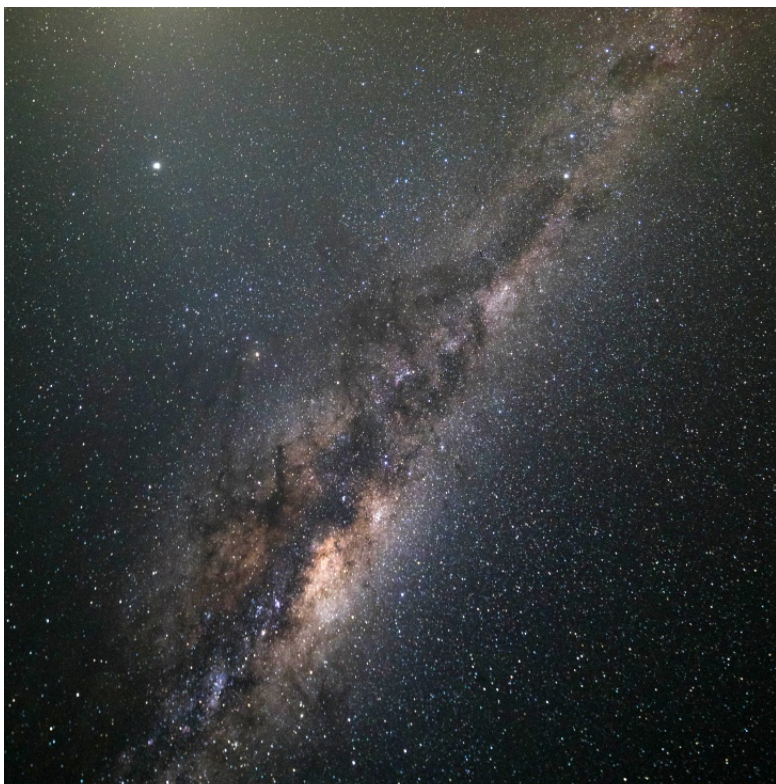
lumbrante que todos podem admirar ao visitar um local com céu suficientemente escuro e livre de poluição luminosa. No entanto, infelizmente, não estamos mais imunes à poluição provocada pelas recentes constelações de satélites, como os do tipo Starlink, que refletem a luz do sol e criam trilhas luminosas visíveis. Isso não apenas prejudica a observação astronômica, mas também compromete a beleza do céu estrelado. A proteção do céu como patrimônio da humanidade é das preocupações da IAU (União Astronômica Internacional), onde cientistas buscam soluções para que todos possamos continuar nos emocionando com a visão da nossa Galáxia espalhada pelo céu.

Abaixo

Foto oficial do Simpósio 395 da União Astronômica Internacional, em homenagem à carreira científica da Prof.^a Beatriz Barbuy.



O céu estava esplêndido perto de Paraty, onde reunimos estudiosos de vários países para um simpósio que encerrou com chave de ouro os eventos da IAU em 2024. Este simpósio também teve como objetivo refletir sobre as incríveis três décadas que se passaram desde um evento semelhante, organizado em Angra dos Reis pela pro-



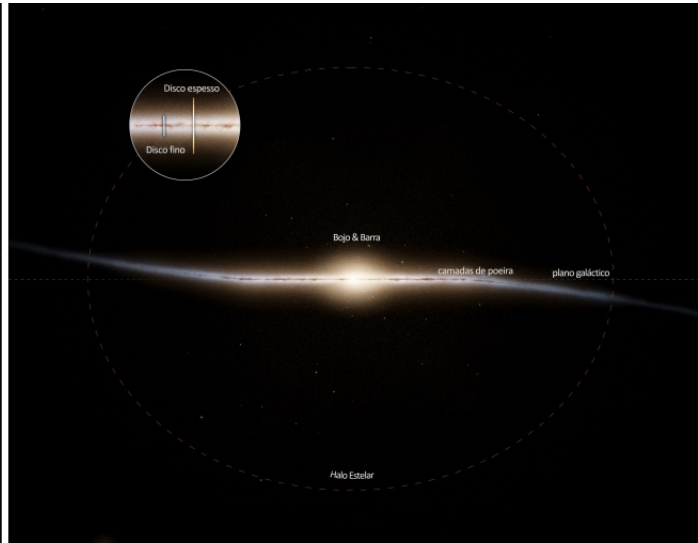
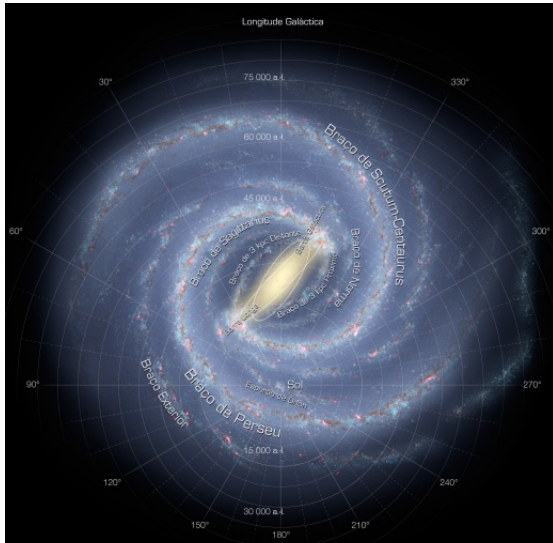
Acima

Parte da Via Láctea correspondente à constelação guarani da Ema, fica como o contraste de áreas escuras sobrepostas às luminosas (Crédito: Kerry Dunlop/Pixabay).

fessora Beatriz Barbuy, grande homenageada do nosso encontro. Nosso objetivo, reunidos naquele local rodeado por áreas de proteção ambiental, era construir uma visão mais holística da formação da nossa Galáxia e, assim, entender melhor a formação de galáxias em geral. Esse objetivo pode ser inspirado pela visão que os povos originários tinham do céu. Ao invés de interligarem estrelas para desenharem constelações, esses povos viam o céu de um modo mais holístico, como era o caso da constelação da Ema. Tal constelação guarani anunciava a chegada do inverno, ou seja, da seca na região. A falta de água era simbolicamente associada à chegada da ema, que bebia da água do rio — a Via Láctea no céu, en-

quanto o Cruzeiro do Sul tentava segurar a cabeça da ema para impedir que ela bebesse tudo. A partir dessa perspectiva mais holística, discutimos os grandes desafios e as oportunidades na nossa área de pesquisa. Essa busca por respostas, muitas vezes fragmentada, é impulsionada por um avanço tecnológico contínuo que traz novas descobertas e, ao mesmo tempo, grandes desafios.

A distância entre a Praia do Fra-de, onde ocorreu o simpósio IAU 149 em 1991, e Paraty, que sediou o IAU 395 em novembro de 2024, pode ser medida não em anos-luz, mas em três décadas de descobertas científicas durante as quais astrônomos (muitos deles ali presentes) realizaram feitos extraordinários que não só ampliaram significativamente nosso conhecimento, como também apontaram os caminhos a serem seguidos nas próximas décadas. Em 1990, o Telescópio Espacial Hubble começou suas observações, proporcionando avanços profundos na compreensão dos aglomerados globulares, que estão entre os objetos mais antigos da Via Láctea e que hoje nos fornecem importantes informações sobre a idade de sua componente central, o bojo galáctico. Na mesma época, o satélite Hipparcos, precursor do satélite Gaia, transformou a astronomia ao fornecer medições precisas de distâncias e velocidades de estrelas localizadas até 100 parsecs do Sol. As velocidades



transversais (no plano do céu) medidas pelo Hipparcos foram complementadas com espectros que fornecem a velocidade radial (na direção do observador), permitindo o cálculo das órbitas estelares e a análise de sua composição química. Outra avanço importante foi proporcionado pelo satélite CoRoT, que descobriu que oscilações de brilho em estrelas gigantes vermelhas poderiam ser usadas para estimar a massa e o raio de estrelas distantes e, com isso idades (uma técnica chamada astrossismologia). A partir desse passado rico, surgiram os satélites JWST e Gaia, que estão promovendo uma verdadeira revolução no nosso entendimento do universo e transformando a forma como trabalhamos. Lançado em 2013, o satélite Gaia tem produzido dados cada vez mais precisos, transformando a área de arqueologia galáctica a cada uma das suas famosas "data releases", quando os dados são colocados à

disposição de todos. No campo da astrossismologia, em 2026, será lançado o satélite PLATO, cujo objetivo principal é o estudo de planetas fora do Sistema Solar, mas que, sem dúvida, também contribuirá com um número significativo de gigantes vermelhas, para as quais será possível obter idades, expandindo assim nossos "cronomapas" galácticos.

A construção de telescópios de 8 a 10 metros, como o VLT do ESO, equipado com o espectrógrafo UVES, foi fundamental para o famoso *First Stars Program*. Esse projeto investigou a composição química detalhada de estrelas com baixa metalicidade, ou seja, com apenas 1/10 a 1/1000 da quantidade de elementos pesados do Sol. Inicialmente, espectros eram coletados individualmente, como no trabalho monumental do *Geneva-Copenhagen Survey*, até o desenvolvimento de espectrógrafos multiobjetos que observam centenas de estrelas ao mesmo tempo. Entre

Acima

Visão de topo e visão lateral da Galáxia. Imagine nossa Galáxia como uma espiral. Se você a olhasse de cima, veria braços espirais distintos e um bojo central. Nós estamos a cerca de 26000 anos-luz do centro galáctico. Estamos localizados dentro do disco da Via Láctea. Na região do plano galáctico há muita poeira, o que dificulta a observação das partes mais centrais. (Crédito: painel esquerdo, NASA/JPL-Caltech/R. Hurt; painel direito, ESA, Stefan Payne-Wardenaar/MPIA).



Acima

Telescópio VISTA no Chile onde está sendo montado o espectrografo 4MOST que deve iniciar observações do céu já no final de 2025 ou início de 2026. Ao fundo, a Via Láctea em todo seu esplendor (Crédito: ESO).

os levantamentos espectroscópicos, o APOGEE, que obtém espectros no infravermelho, revolucionou o estudo da Via Láctea, pois esse comprimento de onda é menos afetado pela poeira galáctica. O sucesso de Gaia já era esperado, e os astrônomos se preparavam para projetos complementares, especialmente com espectros para estrelas para as quais Gaia não fornece dados espectroscópicos.

Atualmente, espectrógrafos em construção, como o 4MOST no hemisfério sul e o WEAVE no hemisfério norte, começarão a operar nos próximos anos e terão a capacidade de observar mais de 2000 estrelas ao mesmo tempo, coletando dados de milhões de estrelas em apenas cinco anos. Para a década de 2030-2040, planeja-se instrumentos capazes de obter até 10000 espectros simultaneamente em grandes áreas do céu, como o WST, um telescópio de 12 metros em desenvolvimento. Outro projeto na pauta dos astrônomos é o Maunakea Spectroscopic Explorer, com cerca de 11 m de diâmetro e 4000 fibras. Para 2040-

2050, um dos principais projetos em andamento é o de um novo Gaia, o GaiaNIR, que será capaz de observar no infravermelho e, assim, estudar aproximadamente 8 bilhões de estrelas, pois poderá explorar as regiões mais centrais da Galáxia, áreas que o Gaia atual, por ser baseado no espectro óptico, não consegue alcançar. Esses levantamentos de dados prometem uma série de descobertas, que serão confirmadas por telescópios ainda maiores e mais sofisticados. Já está em construção o *Extremely Large Telescope* (ELT) no Chile, e também estão sendo desenvolvidos os primeiros instrumentos para este telescópio de 49 m de diâmetro.

Os desafios não são apenas tecnológicos, mas também relacionados ao volume de dados. Como tratar milhões de espectros de maneira eficiente? A inteligência artificial se torna essencial, pois permite combinar informações de diferentes fontes em análises mais complexas. No entanto, essas técnicas exigem treinamento e dados confiáveis para construir suas a-

mostras de treino. O progresso é rápido, mas a formação de pesquisadores com habilidades diversificadas continua sendo um desafio. Além disso, grandes projetos de longo prazo exigem equipes maiores, e é fundamental reconhecer jovens pesquisadores nessas colaborações. Por fim, é crucial garantir um investimento estável em ciência, sem o qual a participação efetiva nos grandes projetos seria inviável.

O que buscamos com todos esses dados? Embora já tenhamos uma versão simplificada da nossa Galáxia vista de cima ou de lado, criar mapas precisos é complexo. Precisamos de medições exatas das distâncias para grandes amostras de estrelas, o que Gaia está nos ajudando a coletar, mas são necessárias mais informações para expandir os mapas além de um volume de 3000 a 6000 anos-luz (1-2 kpc), usando apenas as paralaxes de Gaia (a paralaxe é aproximadamente inversamente proporcional à distância, mas isso se aplica apenas a objetos não muito distantes ou ocultos por poeira). Isso nos permitirá criar um mapa mais preciso e detalhado do que qualquer ilustração, além de ser muito rico e multidimensional, onde, para cada estrela, teremos a posição, a velocidade e as propriedades químicas, cobrindo vastas regiões da Galáxia. Aos poucos, o rio onde a Ema bebe sua água vai se transformando em um verdadeiro mapa multidimensional, um

Para saber mais

Cristina Chiappini, *The Formation and Evolution of the Milky Way*, *American Scientist*, vol. 89, n. 6, p. 506 (2001)

Igor Zolnerkevic, *An enigma in the Milky Way*, *Revista Fapesp*, 232 (2015)

Walter Maciel, *Fundamentos de Evolução Química da Galáxia*, IAG/USP (2023)

Cristina Chiappini, *Tracing the Milky Way's History*, *Sky and Telescope*, vol. 108, n. 4, p. 32 (2004)

Jan Hattenbach, *Did the Milky Way form faster than we thought?*, *Sky and Telescope*, online (2024)

James R. Riordon, *A bar of stars at the center of the Milky Way looks surprisingly young*, *Science News*, online (2023)

4MOST

<https://www.4most.eu/cms/home/>

Gaia

https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Gaia

mapa crono-químico-cinemático!

Os dados que temos atualmente fornecem informações valiosas sobre a nossa Galáxia. Finalmente, conseguimos ir além da vizinhança solar, com medições precisas o suficiente para entender melhor a estrutura da Via Láctea. Descobrimos que nossa Galáxia colidiu com outra há cerca de 10 bilhões de anos e identificamos estrelas em nossa Galáxia originárias de galáxias externas que foram canibalizadas pela Via Láctea. Além disso, observamos que as Nuvens de Magalhães exercem um impacto dinâmico significativo, al-

Abaixo

Quando estrelas de baixa massa chegam ao fim da vida, elas ejetam sua atmosfera ao meio interestelar. O gás, aquecido pelo núcleo exposto da estrela, forma uma nebulosa planetária, tal como a Nebulosa do Anel (Crédito: ESA/Webb, NASA, CSA, M. Barlow, N. Cox, R. Wesson).



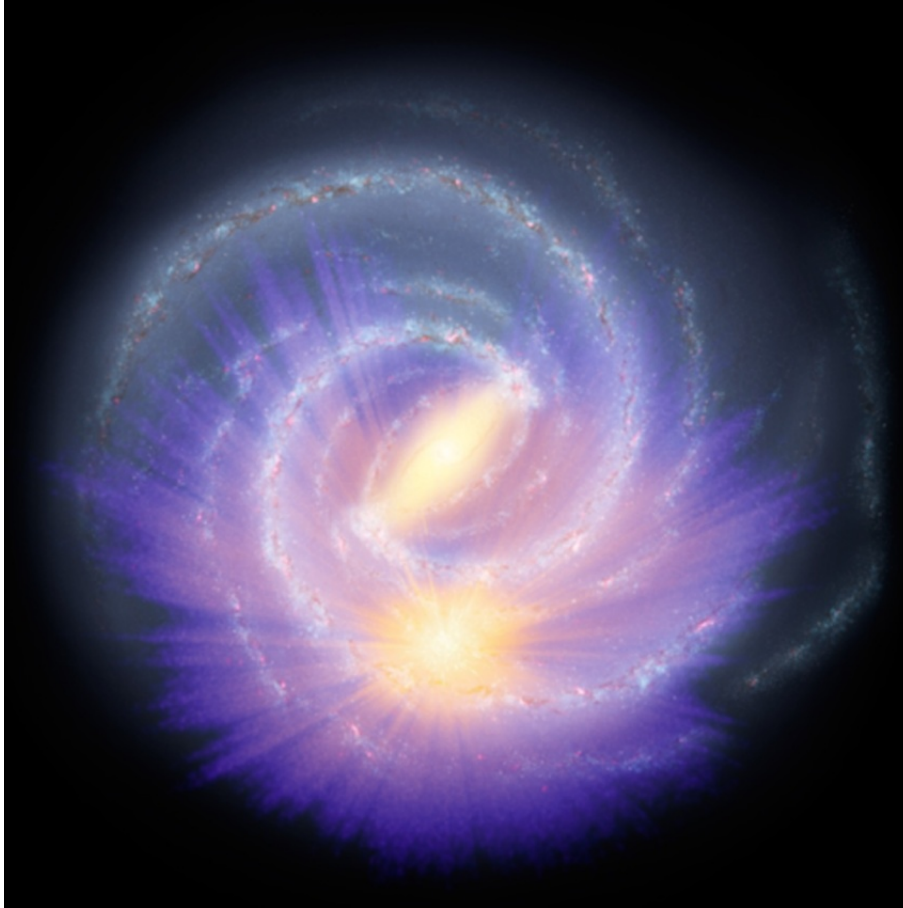
terando a forma da nossa Galáxia. Também descobrimos a presença de muitas estrelas muito antigas, mas ricas em metais, nas regiões centrais da galáxia.

No meio dessa jornada, um grande desafio se transformou em uma oportunidade única. O desafio é entender a história de formação da Via Láctea, pois descobrimos que estrelas podem nascer em uma região e migrar para outra. Isso dificulta o uso das propriedades das estrelas e dos nossos mapas para reconstruir a história da formação estelar em diferentes partes da Galáxia. No entanto, essa complexidade também oferece oportunidades. Algumas estrelas, originárias de regiões com intensa formação estelar próximas ao bojo, agora estão nas cercanias do Sol. Essas estrelas, mais ricas em metais do que as nascidas na vizinhança solar, provêm de outras áreas, como fica claro a partir de suas i-

dades e composição química.

Outro exemplo são as estrelas da galáxia anã Sagitário, que ainda está em processo de fusão com a Via Láctea. Elas se encontram espalhadas por nossa Galáxia. Embora o núcleo de Sagitário esteja localizado atrás do bojo da Via Láctea, algumas dessas estrelas estão passando perto de nós, o que nos permite até mesmo determinar suas idades. O mesmo ocorre com a galáxia Gaia-Enceladus, que colidiu com a nossa há 10 bilhões de anos. E o mesmo se aplica a muitas outras galáxias chamadas anãs. Com informações cada vez mais completas, conseguimos localizá-las no meio de outras tantas estrelas da nossa Galáxia e, assim, contar a história de outros sistemas estelares além do nosso, utilizando o mesmo tipo de análise. Isso é um verdadeiro presente da natureza.

Atualmente, sabemos que o disco da Via Láctea apresenta uma estrutura química que indica que o disco espesso e o disco fino se formaram de maneira independente. O halo da Galáxia é composto principalmente por fragmentos de outras galáxias, enquanto a maior parte da massa, incluindo os discos e o bojo, tem uma origem distinta. A maioria das estrelas do disco espesso são antigas, com uma idade média de cerca de 11 bilhões de anos, enquanto as partes externas desse disco parecem ser mais jovens, e serem formadas por estrelas do disco fi-



Ao lado

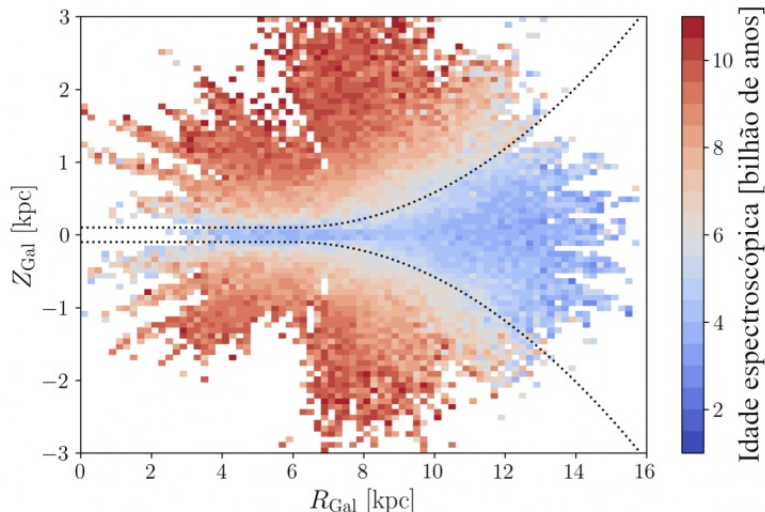
Mapa da Galáxia obtido combinando dos dados do satélite Gaia com as cores das estrelas. Este mapa de densidade contem 200 milhões de estrelas e foi produzido logo apos a segunda data release do Gaia, mostrando claramente a existência de uma barra nas regiões centrais da Galáxia (Crédito: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt; A. Khalatyan/Colaboração StarHorse).

no que são levantadas do plano galáctico por efeitos dinâmicos. O disco fino se formou de maneira mais vigorosa nas regiões internas e de forma mais calma nas externas.

Simulações recentes ainda discutem se a formação do disco espesso está relacionada à colisão com Gaia-Enceladus, ocorrida por volta da mesma época. No entanto, o grande desafio é reduzir as incertezas nas idades das estrelas, pois é necessário distinguir entre estrelas com idades de 11, 12 ou 13 bilhões de anos para poder reconstruir essa história, o que exige precisões superiores a 10%. Re-

centemente, encontramos estrelas muito antigas no disco fino, o que pode sugerir que esse disco também começou a se formar nas fases iniciais da evolução da Galáxia. Esse resultado é semelhante a algumas descobertas recentes do JWST, que revelou grandes discos e bojos formados em menos de 1 a 2 bilhões de anos após o *Big Bang*. O Universo parece ter sido mais eficiente do que imaginávamos!

Para resumir, podemos afirmar que vivemos um momento crucial, com resultados impressionantes. Aprendemos muito nas últimas três décadas e já temos planos sólidos para os próximos 30 anos.



Acima

Idade estelar média em função da posição em coordenadas galactocêntricas. As linhas tracejadas indicam aproximadamente a região onde a idade média é igual a 5 bilhões de anos, mostrando claramente o efeito da expansão do disco jovem para regiões acima do plano da Galáxia — que corresponde a Z_{Gal} igual a zero na figura (Crédito: F. Anders/Colaboração StarHorse).

Este período é marcado por três avanços fundamentais:

- i. o satélite *Gaia*, juntamente com os estudos baseados nas cores e espectros das estrelas observadas da Terra, que têm fornecido dados detalhados sobre suas composições químicas, idades e movimentos, graças ao aprimoramento das técnicas de análise;
- ii. o sucesso do telescópio *JWST*, que tem revelado imagens de diferentes estágios da evolução das galáxias, permitindo o estudo delas de maneiras antes inimagináveis; e
- iii. novas simulações numéricas, agora apoiadas por dados mais precisos, que estão gerando previsões mais realistas sobre galáxias como a nossa, a *Via Láctea*.

Com esses dados extraordinários, os astrônomos podem contar suas histórias sob diversas perspectivas, sendo a colaboração e a troca de conhecimentos fundamentais para o avanço da ciência. Fa-

zer ciência é um ato democrático, pois muitos dos planos que temos para os próximos anos visam permitir que as novas gerações descubram mais, e estas, por sua vez, irão sonhar com novos rumos para o futuro. Preservar nossa pequena nave espacial, a Terra, seu céu e seus povos, torna-se imprescindível! •

Cristina Chiappini
 Leibniz Inst. für Astroph. Potsdam
 cristina.chiappini@aip.de



Como morrem as galáxias?

Se as galáxias em algum momento são formadas, isto é, nascem, quando podemos dizer que elas morreram?

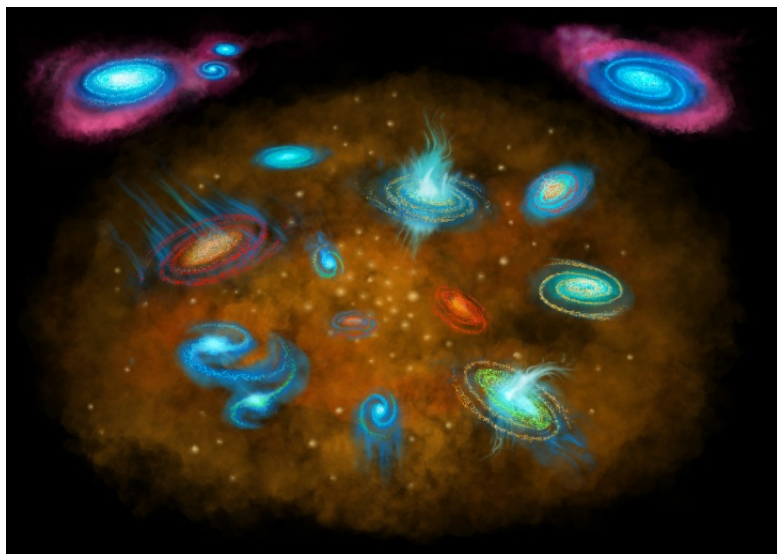
Com base no nosso atual conhecimento sobre a formação e evolução de galáxias, sabemos que elas não são objetos isolados, mas, sim, sistemas autorregulados cuja vida é governada pelo conteúdo de gás disponível no meio interestelar e no ambiente ao redor.

À medida que o tempo passa e estes objetos evoluem, uma série de fenômenos pode moldar a forma como eles envelhecem. Na verdade, apesar de parecer estranho, exis-

tem casos em que ao invés de envelhecer, algumas galáxias podem rejuvenescer através da acreção de gás, como discutiremos mais à frente.

Antes de apresentar explicitamente os diferentes processos que levam as galáxias a pararem de formar estrelas e serem consideradas 'mortas', é importante discutir brevemente como esses objetos se formaram, para começo de história.

Segundo o modelo cosmológico



Acima

Ilustração resumindo os diferentes processos discutidos neste texto que levam as galáxias a pararem de formar novas estrelas. Mesmo quando uma galáxia se torna satélite dentro do halo de matéria escura de uma galáxia maior e dominante, a cessação da formação estelar nesses objetos está relacionada a uma combinação de mecanismos que afetam o gás presente na galáxia, muitas vezes agindo de forma simultânea (Créditos: L. Cortese, B. Catinella, R. Smith).

Na página anterior

Galáxia M 51, ao lado da companheira NGC 5195 (Crédito: S. Beckwith, Hubble Heritage Team, ESA, NASA, Robert Gendler).

padrão Λ CDM, logo após o *Big Bang* o Universo era muito quente e denso para que qualquer estrutura envolvendo matéria bariônica — essencialmente a matéria que compõe nossos corpos e tudo o que conhecemos mundo afora — pudesse evoluir para formar estruturas complexas, como planetas ou mesmo seres humanos.

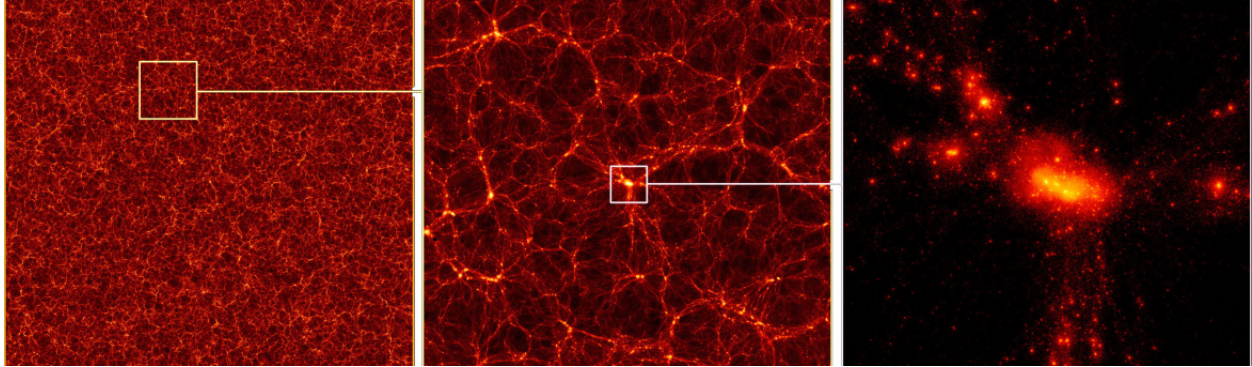
No entanto, a matéria escura, conhecida especialmente por sua natureza não interagente, começou a se aglutinar e formar pequenos núcleos gravitacionais. À medida que o Universo se expandia e esfriava, esses núcleos passaram a acretar massa, evoluindo para formar estruturas cada vez maiores e mais complexas. É importante notar que estes núcleos gravitacionais, por configurarem regiões mais densas, atraem a matéria ao redor com mais facilidade, enquanto regiões menos densas tendem a evoluir para se tornarem ainda mais vazias. Em certo grau, esta é uma definição eficiente pa-

ra explicar as instabilidades gravitacionais, as mesmas que marcam o início da formação de estrelas. Além disso, a disposição de galáxias no espaço está diretamente relacionada a essas instabilidades ou à ausência delas. No Universo observável, frequentemente identificamos regiões de alta densidade, conhecidas como 'nós', assim como regiões de densidade muito baixa, chamadas de 'vazios'. É exatamente nos nós que encontramos os grupos e aglomerados de galáxias, enquanto os vazios são o ambiente onde encontramos as galáxias consideradas como 'isoladas'.

A forma como uma galáxia evolui é um tópico que vem sendo extensivamente investigado nas últimas décadas por pesquisadores em todas as partes de mundo. De uma forma geral, a evolução desses objetos está diretamente relacionada ao seu conteúdo de gás e ao ambiente no qual a galáxia em questão está inserida.

Isso significa que os fenômenos que uma galáxia isolada está sujeita a encarar ao longo de sua evolução são consideravelmente diferentes daqueles observados em galáxias que pertencem a grupos, aglomerados ou que, de alguma forma, estão conectadas a outros objetos.

De fato, se uma galáxia se encontra a uma distância grande o suficiente de qualquer outro objeto, sua evolução deve ocorrer de uma forma suave e ser ditada por



Acima

Simulação cosmológica mostrando a estrutura do Universo em larga escala. As regiões mais brilhantes da imagem representam os locais de maior densidade de matéria escura. As regiões escuras correspondem aos vazios (Crédito: The AbacusSummit Team).

mecanismos internos. Nesses objetos, à medida que o tempo passa, o consumo natural do gás presente no meio interestelar no processo de formação de novas estrelas deve ser a principal razão pela qual a galáxia acaba se tornando mais passiva e, conseqüentemente, passa a ser classificada como 'morta'. É importante deixar claro que, ao longo deste texto, o termo 'morta' é usado exclusivamente para caracterizar uma galáxia que, devido à diferentes motivos (muitos deles abordados ao longo deste texto), não está a formar novas estrelas.

Existem muitos processos físicos capazes de cessar a formação estelar e tornar uma galáxia passiva. Dentre eles, a presença de um núcleo ativo no centro das galáxias, conhecido como AGN (do inglês, *Active Galactic Nucleus*), é frequentemente usado para explicar o decaimento precoce na taxa de formação estelar em galáxias próximas à Via Láctea.

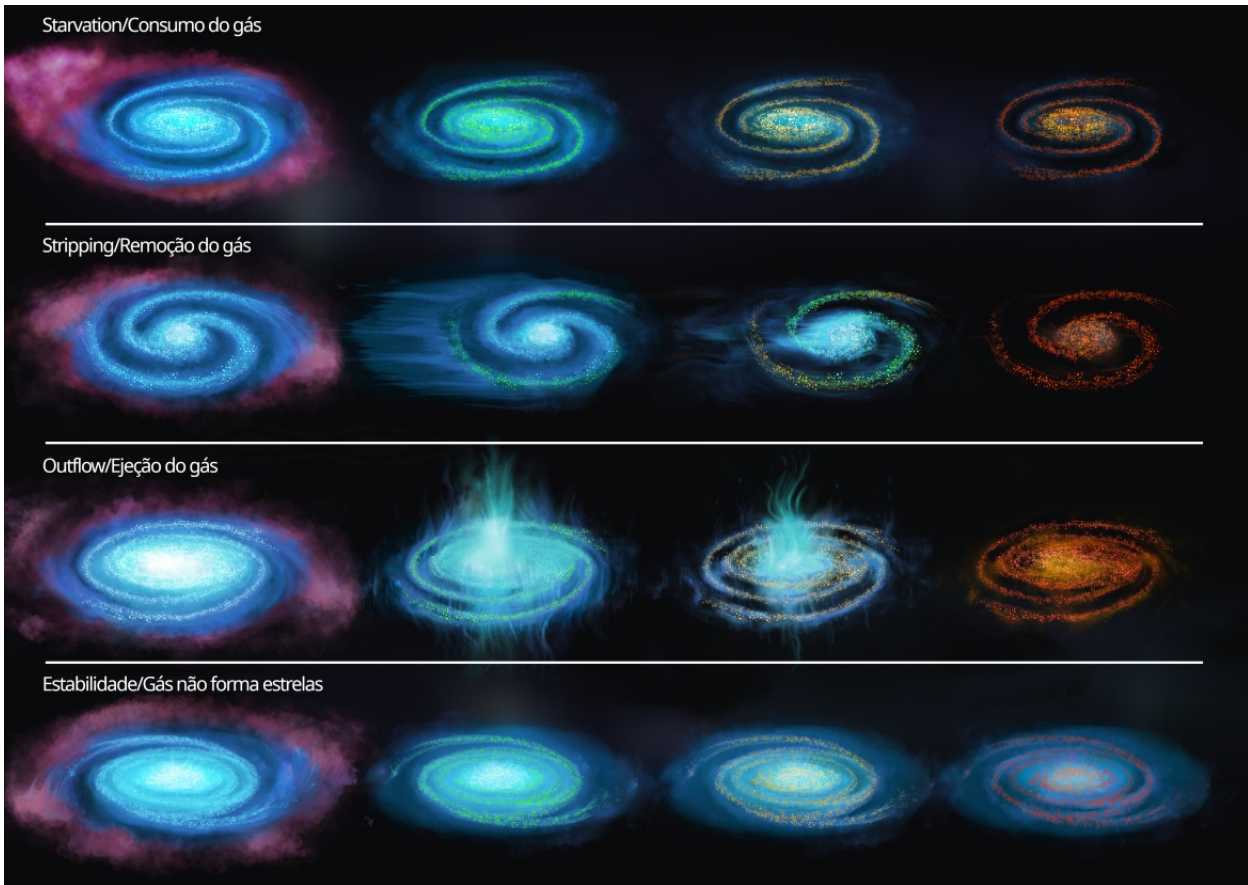
Uma vez que estes núcleos ativos surgem como resultado do crescimento do buraco negro supermassivo presente no centro da

galáxia à medida que este vai acrescentando massa, AGNs emitem enormes quantidades de energia na forma de radiação e, em casos mais extremos, jatos relativísticos.

A presença destes jatos depende de outras propriedades do buraco negro, como o seu grau de rotação, campo magnético, taxa de acreção, entre outras.

De uma forma geral, estes processos liberam energia suficiente para aquecer e até expulsar o gás interestelar frio, essencial para a formação de novas estrelas.

A este processo físico damos o nome de *AGN feedback*. Apesar de AGNs serem mais frequentemente observados em galáxias de alta massa, como a Via Láctea, existem estudos que confirmam a presença destes núcleos ativos até mesmo em galáxias consideravelmente menos massivas do que a Via Láctea. No entanto, pesquisas recentes apontam que o principal mecanismo responsável pelo declínio na formação estelar em galáxias de baixa massa é o *feedback* gerado por estrelas de alta massa, como ventos estelares, e as explosões características do fi-



Acima

Diferentes processos relacionados à cessação da formação estelar em galáxias. Para cada processo, vemos a evolução da galáxia em quatro momentos diferentes (Crédito: L. Cortese, B. Catinella, R. Smith).

nal de suas vidas: as supernovas.

O *feedback* estelar ocorre principalmente em regiões de intensa formação de novas estrelas, onde estrelas de alta massa nascem e rapidamente (astronomicamente falando) evoluem, liberando grandes quantidades de energia para o meio interestelar.

Essas estrelas massivas, durante sua curta vida, emitem ventos estelares poderosos que aquecem e dispersam o gás presente ao redor. Ao explodirem como supernovas, esses objetos liberam ainda mais energia e criam choques que atravessam o gás interestelar. Devido à quantidade significativa de radiação envolvida nestes

fenômenos, é esperado que processos como estes aqueçam o gás e, conseqüentemente, dificultem seu resfriamento, inibindo a formação de novas estrelas.

Quando se trata de galáxias que possuam outras companheiras a distâncias relativamente curtas, como é o caso da nossa própria Galáxia, também é esperado que outros mecanismos atrelados à interação entre galáxias passem a ser tão importantes quanto os processos apresentados acima. Na verdade, em determinados casos, fenômenos como colisões entre galáxias podem ser responsáveis por cessarem a formação estelar muito mais rapidamente do que nos

casos de *feedback* estelar ou devido à presença de um AGN.

Para explicar melhor como estes processos de interação galáxia-galáxia funcionam, vamos usar o seguinte exemplo.

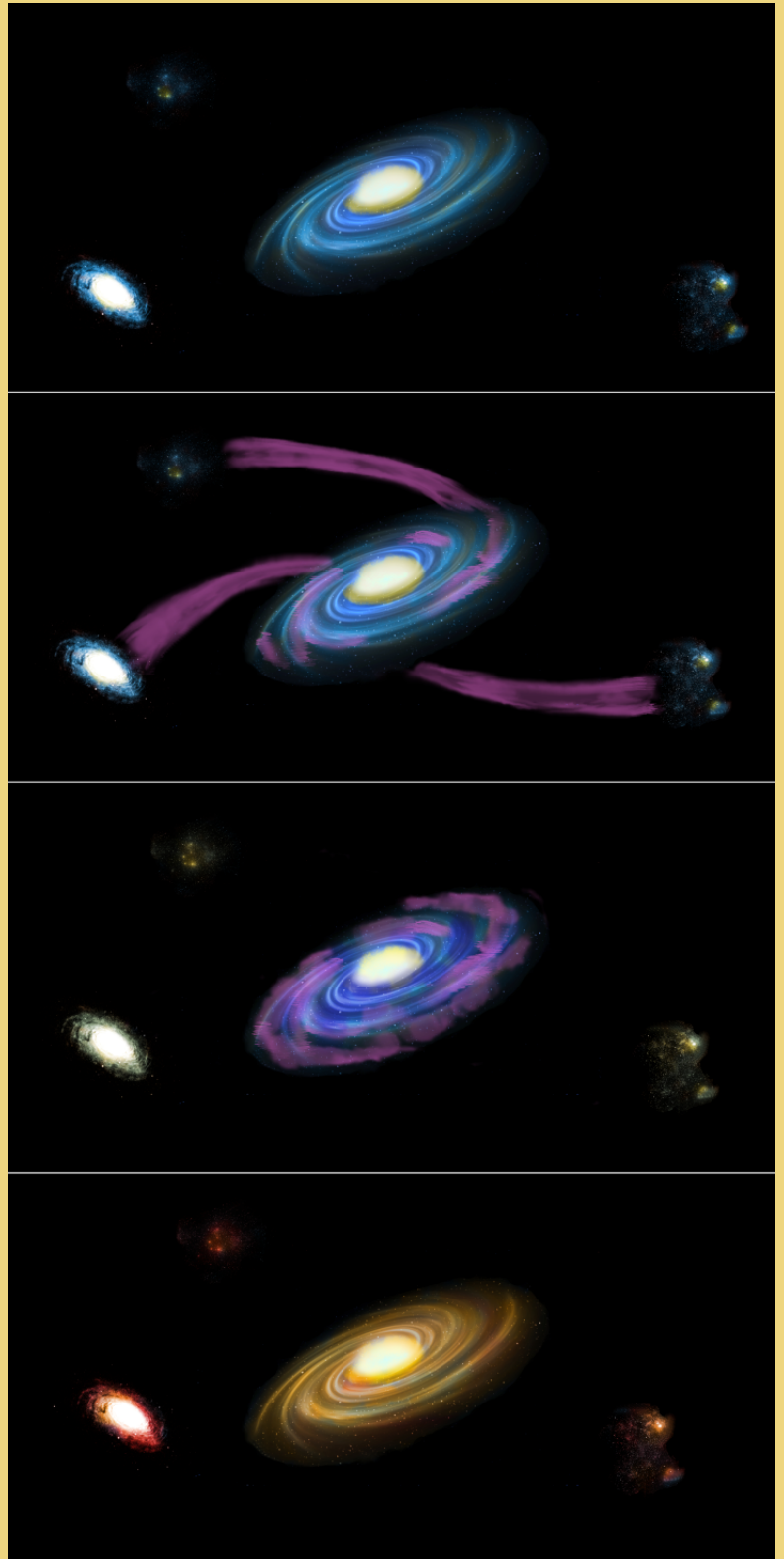
Imagine que inicialmente temos um halo de matéria escura dentro do qual há uma galáxia situada próxima ao centro do poço de potencial do halo. Em geral, esta galáxia é também a de maior massa e a mais luminosa do sistema.

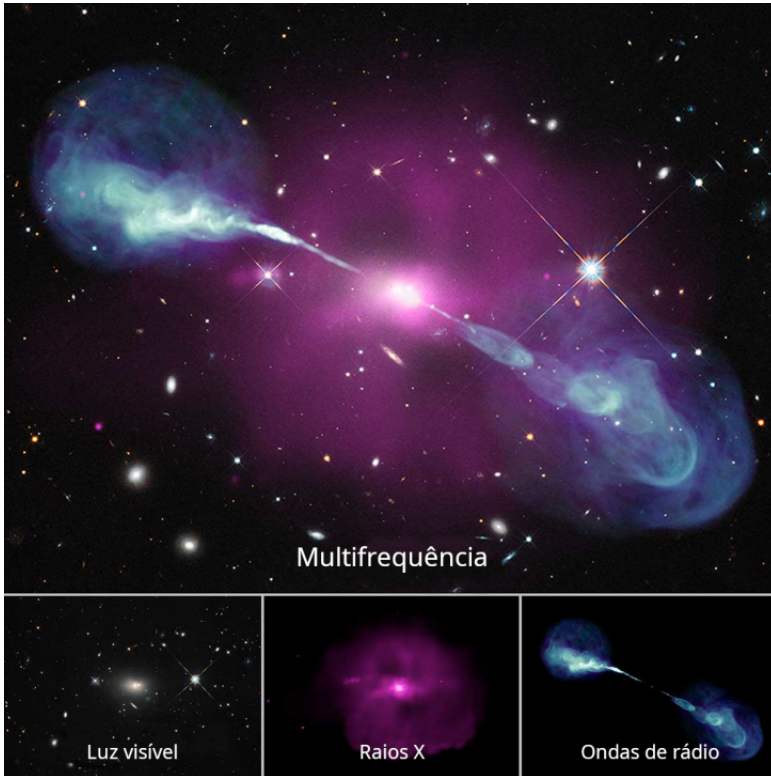
Além da galáxia central, há também galáxias menores, que, a partir de agora, iremos nos referir como 'satélites'. Estes satélites estão presos gravitacionalmente ao halo de matéria escura do sistema, e as interações dinâmicas com o ambiente ao seu redor resultam em processos que frequentemente levam à interrupção da formação estelar. Dois dos mecanismos mais importantes associados a sistemas com múltiplas galáxias são *starvation* (inanição, em tradução literal para português) e a remoção do gás (ou, em inglês, *gas stripping*).

Em resumo, o processo de *starvation* ocorre quando a galáxia deixa de receber gás do ambien-

Ao lado

A imagem mostra a evolução temporal de um grupo de galáxias em quatro estágios. A galáxia central, dominante em massa, rouba o gás dos satélites ao redor. No momento em que os satélites perdem todo o gás, a galáxia central consome o combustível que lhe resta e também se torna passiva.





Acima

Composição que mostra diferentes características da galáxia Hercules A. Em azul, temos a emissão em rádio associada com os jatos relativísticos; em rosa, vemos a emissão em raios X traçando o gás quente ao redor da galáxia; as regiões brancas e alaranjadas mostram a distribuição de estrelas da galáxia central no óptico e o fundo da imagem traçando outros objetos presentes no campo (Créditos: raios X, NASA/CXC/SAO; óptico: NASA/STScI; Rádio: NSF/NRAO/VLA).

te ao seu redor. As interações entre o halo de gás quente que envolve a galáxia e o halo de matéria escura no qual a galáxia está imersa, como a pressão exercida pelo meio intragrupo (espaço presente entre grupos de galáxias), podem remover esse gás quente.

Sem este gás quente para resfriar e alimentar o disco da galáxia, o suprimento de material para a formação de novas estrelas é interrompido. Como resultado, a galáxia consome lentamente o gás frio já presente em seu disco, até que este se esgote por completo. É importante notar que este é um processo relativamente lento, ocorrendo em escalas de tempo que podem levar até bilhões de anos.

Por outro lado, a remoção de gás é um processo mais abrupto, co-

mo, por exemplo, a remoção de gás devido à pressão de arraste. Neste caso, ao se mover rapidamente dentro do halo de um grupo de galáxias, a galáxia pode encontrar uma resistência semelhante à de um vento forte que nos empurra na direção contrária àquela que tentamos nos mover. Quando se trata de galáxias, essa pressão dinâmica é capaz de arrancar o gás interestelar de seu disco. Este processo é mais eficaz em ambientes densos, como em aglomerados de galáxias, onde a pressão exercida pelo ambiente dentro do aglomerado é extremamente alta. Como consequência, o gás necessário para a formação de novas estrelas é removido rapidamente, resultando em uma interrupção da formação estelar de forma quase que instantânea.

A remoção de gás por efeitos de maré, por outro lado, é causada pelas interações gravitacionais entre a galáxia satélite e a galáxia central. Em alguns casos, este fenômeno também pode ser atribuído à interação entre a galáxia e o próprio halo de matéria escura no qual a galáxia satélite está inserida. As forças de maré geradas por essas interações podem deformar a galáxia e, em alguns casos, remover não apenas o gás, mas também as estrelas mais externas. Este mecanismo é particularmente eficiente para satélites que orbitam muito próximos à galáxia central, onde o gradiente gravita-

cional é mais intenso. Além de interromper a formação estelar, a remoção de gás por efeitos de maré também pode alterar significativamente a morfologia da galáxia, transformando espirais em elípticas ou estruturas irregulares.

O efeito cumulativo desses mecanismos resulta em uma população crescente de galáxias satélites passivas, que deixam de formar estrelas em escalas de tempo que variam entre dezenas e centenas de milhões de anos.

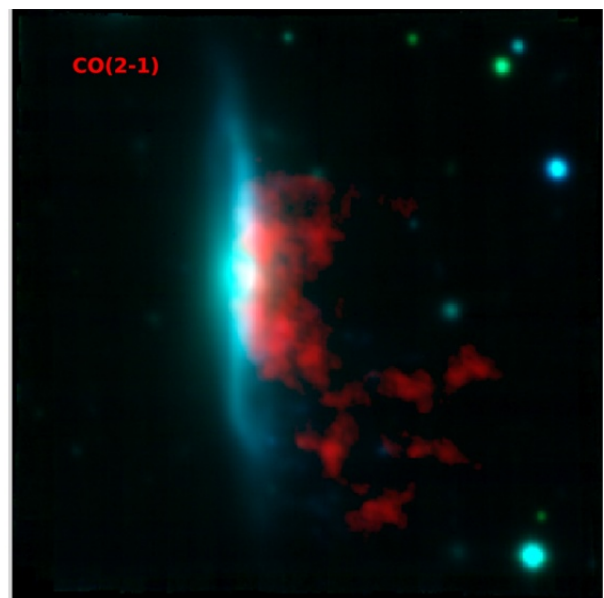
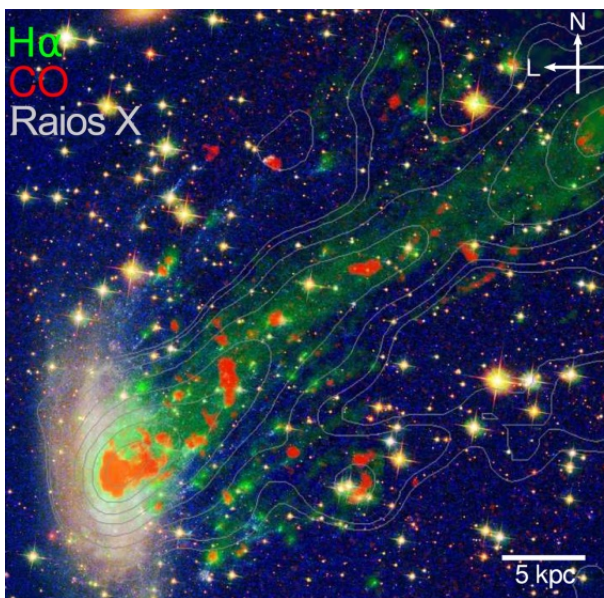
No entanto, da mesma forma que temos inúmeros processos que levam as galáxias a pararem de formar estrelas, existe também a possibilidade destes objetos acreta-rem massa e, ao invés de diminuir sua formação estelar, aumentá-la. Isto é o que acontece quando uma galáxia central rouba o gás de uma galáxia satélite. À medida que o gás do objeto central vai sendo naturalmente consumi-

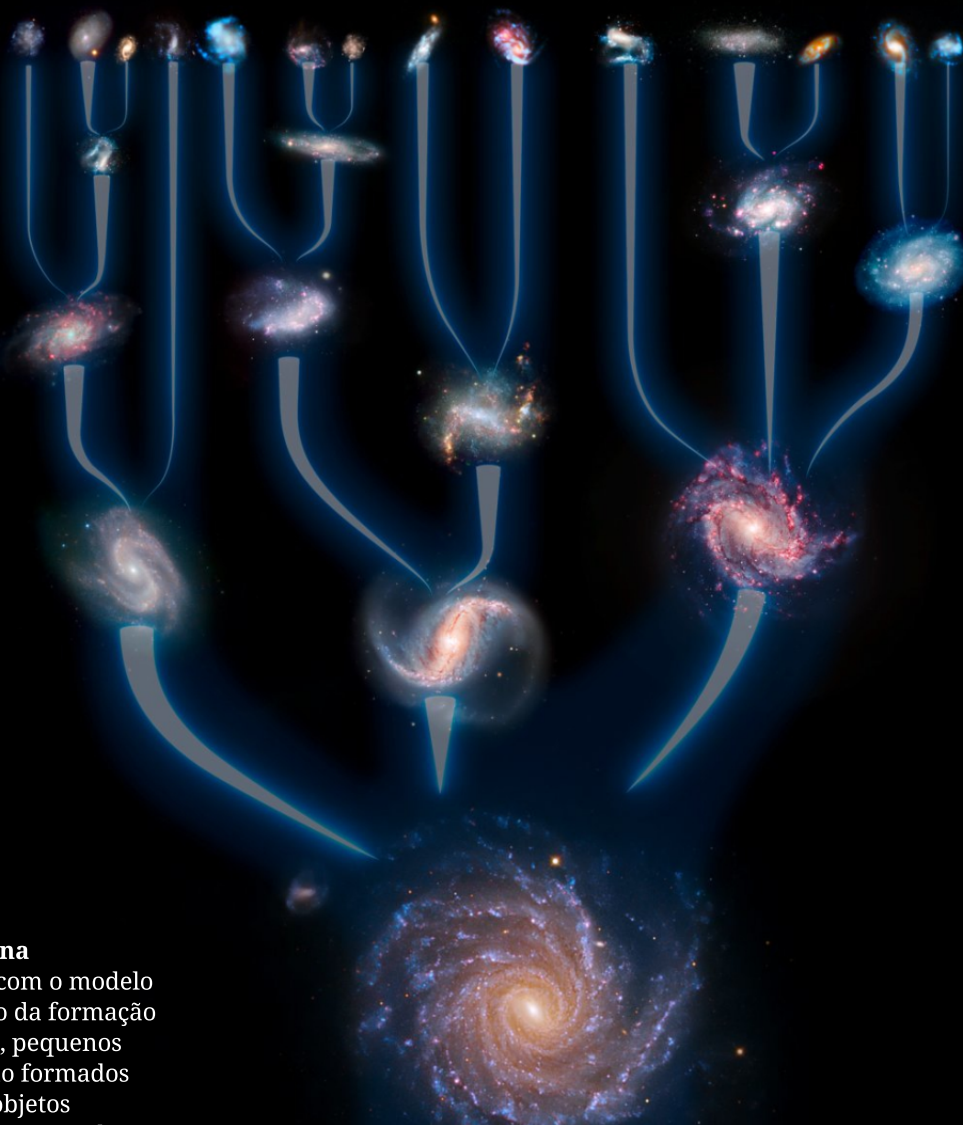
do no processo de formação estelar, a presença de uma galáxia satélite rica em gás vai agir como um reservatório que reabastece o gás utilizado. Isto então funciona como uma balança que equilibra o gás convertido em estrelas e o gás reabastecido pela presença do satélite. Em casos como este, a galáxia satélite é a principal afetada pela remoção de gás, fenômeno que consequentemente a tornará passiva. No entanto, agora a galáxia central passa a ser também afetada, já que seu reservatório de gás acaba se esgotando. Neste momento, em vez de continuar formando estrelas em uma taxa constante, a galáxia central terá um grande declínio na sua taxa de formação estelar.

Em geral, é comum separarmos galáxias em duas classes principais: elípticas e espirais. Quando se trata de galáxias elípticas, é esperado vermos uma população es-

Abaixo

Exemplos da remoção do gás molecular traçada pela distribuição de monóxido de carbono (em vermelho). À esquerda, temos a galáxia ESO 137-001 caindo no aglomerado de Norma. Além da emissão de CO(2-1), vemos também a emissão do gás ionizado, H α , em verde, com contornos. À direita, vemos a galáxia IC 5337 no aglomerado de galáxias Abell 2626. Novamente, a emissão do gás é mostrada em vermelho, a qual forma uma estrutura que lembra uma cauda. A emissão azulada é uma composição gerada a partir de observações das bandas V e I, no óptico, produzidas pelo instrumento MUSE do Very Large Telescope (Crédito: NASA/Hubble, ESO, Moretti et al. 2020a; Cortese et al. 2021).





Nesta página

De acordo com o modelo hierárquico da formação de galáxias, pequenos sistemas são formados primeiro (objetos mostrados no topo da imagem). Estes, com o passar do tempo, vão coalescendo e se tornando galáxias cada vez maiores em tamanho e massa (Créditos: ESO/L. Calçada).

telar mais velha, com estrelas de cores mais avermelhadas, maior presença de elementos mais pesados que o hélio e uma dinâmica de rotação suportada majoritariamente por movimentos estelares aleatórios.

Por outro lado, as galáxias espirais em geral apresentam discos bem definidos e braços ricos em gás e estrelas jovens, cores mais azuladas, alta taxa de formação

de novas estrelas e uma dinâmica de rotação governada por movimentos estelares mais ordenados em torno do centro de massa.

Assim como a evolução interna da galáxia depende do conteúdo de gás, a evolução que leva galáxias a serem classificadas como espirais ou elípticas está, também, diretamente relacionada aos fenômenos que estes objetos enca-

ram ao longo do tempo cósmico. No entanto, quando se trata de galáxias satélites, as mudanças morfológicas podem acontecer a passos largos. Isso se dá especialmente porque a interação com o meio ao seu redor acaba moldando suas estruturas, levando a transformações que conectam diretamente a morfologia ao estado evolutivo da galáxia.

Um exemplo interessante no que diz respeito à evolução morfológica é o papel da *starvation*. Este processo priva as galáxias do recebimento contínuo de gás. Quando a *starvation* age de forma individual, a galáxia não migra morfológicamente de espiral para elíptica ou lenticular, mas sim tem suas cores modificadas. Neste caso, a galáxia tende a se tornar mais "vermelha e morta", apesar de ainda ter um disco espiral.

Um outro acontecimento importante na evolução morfológica de galáxias é a interação gravitacional com vizinhos, sobretudo quando se trata de fenômenos extremos como colisões. A fusão de galáxias pode transformar duas galáxias que inicialmente eram espirais em um único objeto de morfologia elíptica, assim como redistribuir suas estrelas e gás, gerando ondas de formação estelar que serão seguidas de cessação completa dessa formação de novas estrelas devido ao aquecimento do gás e/ou à potencial ativação de um núcleo ativo no centro da galáxia. Fenômenos de fusão entre

galáxias são especialmente vistos no Universo distante, apesar de também vermos muitos casos em galáxias próximas. Em muitos casos em que a interação está ocorrendo, pode ser impossível estabelecer uma morfologia. Na realidade, a grande maioria destes objetos acabam sendo classificados como irregulares, uma vez que tanto a distribuição visual das estrelas quanto a distribuição cinemática do gás apresentam altos graus de assimetria.

De uma forma geral, é visível que a evolução de galáxias não é apenas uma questão de parar de formar estrelas; mais do que isso, ela é uma dança complexa entre processos internos e externos que moldam suas estruturas e influenciam seu formato e propriedades físicas •

Natanael G. de Isídio
Natanael.Isidio@eso.org
European Southern Observatory



Cometas brilhantes

A maioria dos cometas brilhantes visita o Sistema Solar interior inesperadamente. Mas alguns possuem órbita conhecida e são esperados com ansiedade. Em ambos os casos eles fascinam quem consegue observá-los.

Os cometas sempre fascinaram a humanidade com suas aparições no céu noturno. No passado eram vistos como presságios, pois quebravam a ordem aparente dos céus. No entanto, com o avanço da astronomia, compreendemos que os cometas são visitantes periódicos do nosso Sistema Solar, originários principalmente da Nuvem de Oort e do Cinturão de Kuiper.

A cada ano, cerca de 20 cometas entram no Sistema Solar interior,

onde passam a uma distância relativamente próxima do Sol, suficiente para que comecem a exibir atividade, que é como denominamos o seu desenvolvimento de caudas de poeira e gás. No entanto, somente alguns deles alcançam brilho suficiente para serem visíveis a olho nu. E um número ainda menor corresponde a cometas realmente brilhantes, que chegam a ter impacto na cultura humana. Entre os séculos XV e XIX, vários cometas brilhantes

marcaram épocas inteiras, à medida que ciência dava seus primeiros passos para compreendê-los. O retorno do cometa Halley em 1986 foi o estopim para a popularização da Astronomia nos meios de comunicação e pela inspiração de várias mentes jovens à ciência, incluindo este autor. No século XXI, a aparição de cometas brilhantes mantém-se como um fenômeno astronômico de enorme interesse público, especialmente devido às facilidades de registro fotográfico e distribuição de imagens através da internet. Conheçamos alguns desses cometas que tanto encantamento trouxeram à humanidade.

O Grande Cometa de 1456

Este cometa, identificado mais tarde como uma das aparições do Halley, atravessou os céus durante uma época de intensas transformações políticas e culturais na Europa. Sua passagem foi interpretada como um mau agouro em meio à expansão do Império Otomano, particularmente durante a Batalha de Belgrado. Supostamente o Papa Calisto III, teria excomulgado o cometa, mas não há registros oficiais disso nos arquivos eclesiásticos.

Mais do que um objeto de superstição, o cometa de 1456 marcou uma das primeiras tentativas de registro sistemático por astrônomos europeus da época, embora ainda sem muito embasamento científico.

O Grande Cometa de 1577

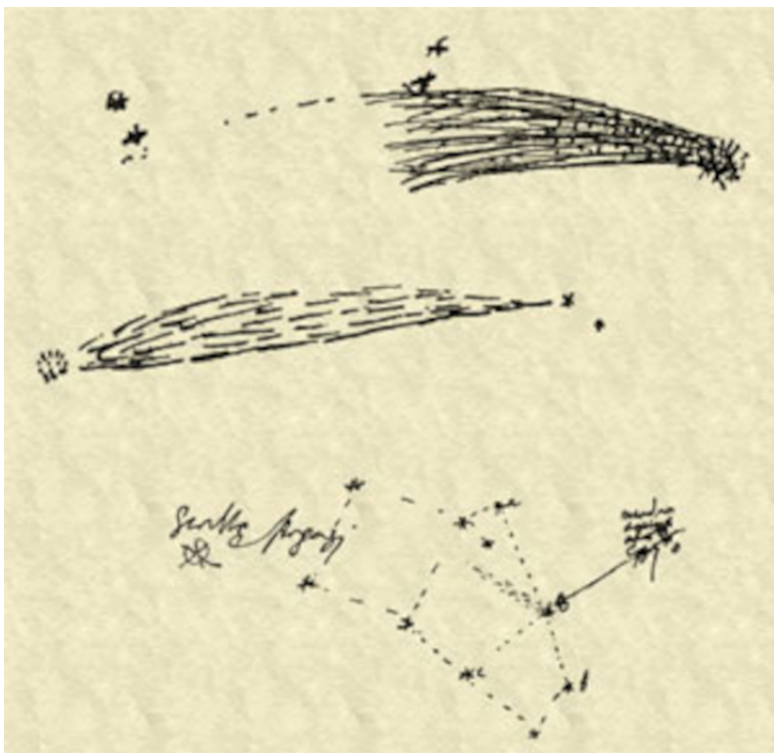
Este cometa foi um divisor de águas na astronomia. Observado por Tycho Brahe, ele forneceu evidências para o questionamento das antigas concepções aristotélicas de um universo fixo e imutável. Tycho percebeu que o cometa deveria cruzar áreas onde supostamente existiriam esferas cristalinas, onde se encontravam os planetas, algo que não se encaixava bem no modelo geocêntrico de Ptolomeu. Antes, achava-se que os cometas fossem fenômenos meteorológicos.

Com uma cauda longa e brilhante, este cometa impressionou populações em várias partes do mundo e despertou debates filosóficos e científicos, uma vez

Na página anterior
Cometa Neowise, fotografado na Inglaterra em 2020 (Crédito: TheOtherKev/Pixabay).

Abaixo
Litografia de 1456, representando o grande cometa que surgiu naquele ano. Autor desconhecido.





Acima
 Anotações originais de Tycho Brahe sobre o Grande Cometa de 1577. Note a constelação de Sagitário na parte inferior do desenho e a indicação de onde se situava o núcleo do cometa (seta apontando para a estrela Kaus Media).

Ao lado
 O Grande cometa de 1680 sobre Roterdã, em quadro pintado por Lieve Verschuer.

que a Europa estava agora mais aberta ao entendimento das ciências naturais. As diversas obser-



vações feitas por Tycho Brahe possibilitaram a construção de modelos mais precisos para o Sistema Solar, que culminariam com os trabalhos de Kepler e Newton.

O Grande Cometa de 1680

Conhecido como o Cometa de Newton, sua trajetória foi usada para aplicar as recém-desenvolvidas leis do movimento e da gravitação universal. Descoberto por Gottfried Kirch, o cometa tornou-se um espetáculo celestial de proporções raras. Ele foi o primeiro cometa a ser inicialmente avistado por um telescópio. Seu brilho era tão grande que, supostamente, podia ser avistado à luz do dia.

Sua associação a Newton deve-se ao interesse do astrônomo inglês em computar a órbita cometária.

O Grande Cometa de 1811

Um dos cometas mais impressionantes do período romântico, o Grande Cometa de 1811 ficou visível por mais de 260 dias. Sua cauda atingiu cerca de 100 milhões de quilômetros, foi uma verdadeira maravilha celeste. Foi um cometa particularmente grande, que se tornou muito brilhante mesmo sem ter-se aproximado muito tanto da Terra quanto do Sol. Seu impacto foi tão grande que ele entrou para o imaginário coletivo da época, aparecendo em obras literárias como "Guerra e Paz" de Tolstói, "Pan Tadeusz" de Adam Mickiewicz e em "Les Misérables" de Victor Hugo.

Estudos detalhados desse cometa permitiram melhor compreensão da dinâmica das caudas cometárias.

O Grande Cometa de 1843

Os cometas podem formar "famílias", quando se originam de um corpo parental comum. Uma dessas são os cometas Kreutz, que costumam passar muito próximos do Sol e normalmente se tornam cometas brilhantes. Os membros dessa família descenderiam do Grande Cometa de 1106, que se teria fragmentado em vários pedaços, segundo as informações dos astrônomos chineses da época. Um dos membros dessa família era o Grande Cometa de 1843, que teve uma cauda que alcançava 300 milhões de quilômetros. Por décadas,



essa foi a mais longa causa cometária conhecida, desbancada apenas pelo cometa Hyakutake, que tinha cauda duas vezes mais longa.

Cometa Halley

Nenhum cometa é tão emblemático quanto o Cometa Halley. Visível a olho nu e recorrente aproximadamente a cada 76 anos, Halley tem sido registrado desde a antiguidade. Seu nome homena-

Acima
O Grande Cometa de 1843, em quadro pintado pelo astrônomo Charles Piazzi Smyth.



Acima
Núcleo do cometa Halley, fotografado em 1986, durante sua fase de atividade (Crédito: missão Giotto/ESA).

geia o astrônomo inglês Edmond Halley, que, no século XVII, previu com precisão sua órbita e afirmou que o cometa retornaria em 1758, após ter se aproximado do Sol em 1682.

Em 1910, tivemos outro retorno do Halley. Essa passagem coincidiu com um momento de avanços científicos que acabaram gerando tanto fascínio quanto pânico. O temor surgiu quando cientistas anunciaram que a Terra atravessaria a cauda do cometa em 18 de maio daquele ano. Estudos espectroscópicos da época, um método de análise relativamente novo, detectaram a presença de cianogênio (um composto químico tóxico) na cauda do cometa. Essa descoberta foi amplamente divulgada pela imprensa e gerou a ideia

equivocada de que os gases venenosos poderiam contaminar a atmosfera da Terra, levando a um apocalipse. Jornais sensacionalistas amplificaram as preocupações, publicando manchetes alarmantes sobre o "gás mortal" do Halley. As pessoas começaram a comprar "pílulas contra o cometa", máscaras de gás e até mesmo "oxigênio engarrafado" como medidas de proteção contra a suposta contaminação. Igrejas e grupos religiosos interpretaram a passagem do cometa como um sinal de fim dos tempos, o que contribuiu para exacerbar o pânico. Os cientistas sabiam que o medo era infundado, devido à baixa densidade de gases na cauda cometária, mas não havia ainda formas efetivas de comunicação científica para combater tais desinformações.

A última passagem de Halley foi em 1986. Diferente dos cometas anteriores, a passagem do Halley em 1986 foi intensamente estudada por sondas espaciais, como a Giotto, da ESA, que forneceu imagens detalhadas do núcleo do cometa. Essas missões permitiram aos cientistas entender melhor a composição e a estrutura dos cometas, revelando que eles são compostos por gelo, poeira e uma variedade de compostos orgânicos.

Hale-Bopp

O Cometa Hale-Bopp, oficialmente designado como C/1995 O1, foi um dos cometas mais observados e mais brilhantes do século

XX. Descoberto independentemente por Alan Hale e Thomas Bopp em 1995, Hale-Bopp tornou-se visível a olho nu por um período prolongado, de cerca de 18 meses, entre 1996 e 1997. Sua incrível luminosidade e cauda longa e brilhante permitiram que fosse observado mesmo em condições de céu urbano, onde a poluição luminosa normalmente dificulta a observação de cometas.

Hale-Bopp também teve um impacto significativo na cultura popular e nas comunidades esotéricas. A sua longa visibilidade coincidiu com o surgimento de várias profecias e crenças apocalípticas que culminaram no trágico suicídio coletivo da seita *Heaven's Gate*, que acreditava que a passagem do cometa lhes proporcionaria uma transição para uma "nave espacial" que os levaria para uma vida além da Terra.

Do ponto de vista científico, Hale-Bopp forneceu uma riqueza de dados sobre a composição dos cometas. Estudos revelaram uma grande variedade de moléculas orgânicas complexas, incluindo formaldeído e cianureto de hidrogênio, o que reforça a hipótese de que os cometas podem ter sido responsáveis pela entrega de compostos orgânicos essenciais à Terra primitiva, contribuindo para o surgimento da vida.

Cometa Hyakutake

Em 1996, o Cometa Hyakutake, também conhecido como C/1996 B2,



Acima
Cometa Hale-Bopp
fotografado na Croácia
(Crédito: Philipp Salzgeber).

proporcionou um espetáculo impressionante no céu noturno do hemisfério norte. Descoberto por Yuji Hyakutake no Japão, este cometa destacou-se por sua trajetória próxima à Terra, permitindo que fosse observado com grande detalhe mesmo por amadores. Sua cauda longa e brilhante, que se estendia por milhões de quilômetros, foi um dos motivos principais de sua notoriedade.

Hyakutake foi classificado como um cometa de "alta atividade", o que significa que produziu u-



Acima
Cometa Lovejoy,
fotografado a partir da Es-
tação Espacial
Internacional pelo
astronauta Dan Burbanke,
em 22 de dezembro de
2011 (Crédito: NASA).

ma quantidade excepcional de gás e poeira, resultando em uma cauda espetacular. A interação do cometa com o vento solar também foi um foco de estudo, proporcionando insights sobre como os cometas perdem massa e como suas caudas são formadas e moldadas pelo ambiente espacial ao seu redor.

Cometa Lovejoy

Lovejoy é um nome comum a vários cometas descobertos por Terry Lovejoy, um astrônomo ama-

dor australiano. Um dos mais notáveis é o C/2011 W3 (Lovejoy), que surpreendeu a comunidade astronômica ao sobreviver a uma passagem extremamente próxima ao Sol. Em 2011, Lovejoy passou a apenas 140 mil quilômetros da superfície solar, uma distância tão pequena que muitos esperavam que o cometa se desintegrasse sob o calor intenso. Ele é um dos membros da família Kreutz, tal como o Grande Cometa de 1843. Por ser observado durante o período natalino, também foi apelidado de Grande Cometa Natalino de 2011.

Cometa NEOWISE

O Cometa NEOWISE, oficialmente designado como C/2020 F3, tornou-se um dos cometas mais visíveis do século XXI durante sua passagem em 2020. Descoberto pelo telescópio espacial NEOWISE da NASA, que foi projetado para identificar objetos próximos à Terra, o cometa capturou a imaginação do público devido à sua brilhante cauda e à facilidade com que pôde ser observado.

O NEOWISE destacou-se também por sua excepcional visibilidade durante a pandemia de COVID-19, proporcionando um momento de beleza e contemplação em tempos de isolamento e incerteza. Fotografias do cometa com marcos urbanos e paisagens naturais se tornaram virais nas redes sociais, conectando pessoas de diferentes lugares através da admi-

ração conjunta pelo espetáculo celestial.

O cometa Tsuchinshan-ATLAS

A mais última joia celeste entre os cometas brilhantes foi o C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS), descoberto em 9 de janeiro de 2023 por dois projetos distintos: o Observatório Purple Mountain, na China, e o ATLAS (*Asteroid Terrestrial-Impact Last Alert System*), no Havaí. Desde então, ele passou a ser monitorado por vários astrônomos profissionais e amadores por conta de seu potencial para tornar-se um cometa brilhante.

Efetivamente, as previsões se confirmaram. Durante pouco mais de dois meses, Tsuchinshan-ATLAS brilhou ostensivamente nos céus, especialmente nas latitudes mais ao norte, reproduzindo parte do espetáculo que o NEOWISE tinha gerado 4 anos antes. Os moradores do hemisfério sul tiveram menos sorte: o cometa já estava fraco quando cruzou o equador e trafegava em declinações negativas.

Impacto dos Cometas

Na mitologia e na literatura, cometas frequentemente simbolizam presságios ou mudanças significativas. Eles continuam a inspirar autores e cineastas, servindo como cenários dramáticos para narrativas de aventura e mistério.

Do ponto de vista científico, os cometas são considerados cápsulas do tempo que contêm mate-

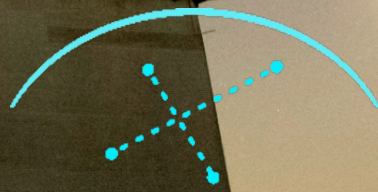
rial primordial do início do sistema solar. Estudar sua composição ajuda os cientistas a entender melhor os processos que levaram à formação dos planetas e outros corpos celestes. Além disso, a hipótese de que os cometas podem ter trazido água e compostos orgânicos à Terra primitiva é um tópico de grande interesse na pesquisa sobre a origem da vida.

A observação de cometas brilhantes é uma experiência única que traz forte estímulo à curiosidade científica. Eventos como o retorno do Halley ou a aparição inesperada de um novo cometa Kreutz pode ensejar ricas discussões entre o público leigo e os cientistas, abordando aspectos diversos como história, mito, astrobiologia e exploração espacial. Na próxima vez que um cometa brilhante aparecer nos céus, não perca a oportunidade de vê-lo! Pode ser que não estejamos mais aqui quando ele retornar •

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

Contracapa

Vênus e Lua sobre o OPD
em 2024-10-05.
(Crédito: Wandeclyt M./
Projeto Céu Profundo).



S.A.B.