

Como astrônomos estudam o mistério da morte das galáxias

Thiago Signorini Gonçalves

Observatório do Valongo, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo

Galáxias são alguns dos objetos astronômicos mais impressionantes conhecidos. São estruturas com tamanhos de dezenas ou até centenas de milhares de anos-luz, contendo centenas de bilhões de estrelas, e imersas em um halo de matéria escura com trilhões de vezes a massa do Sol. Dadas as suas dimensões impressionantes, pode ser curioso pensar que uma galáxia apresenta um ciclo de vida. Mas sim, uma galáxia nasce, evolui e “morre”, embora o processo possa levar alguns bilhões de anos. Neste texto, vou descrever alguns dos processos que conhecemos sobre a evolução de galáxias, o que ainda estamos tentando descobrir, e como os cientistas estão trabalhando para desvendar esses mistérios.

Abstract

Galaxies are some of the most impressive astronomical objects known. They are structures with sizes of tens or even hundreds of thousands of light years, containing hundreds of billions of stars, and immersed in a halo of dark matter with trillions of times the mass of the Sun. Given its impressive dimensions, it might be curious to think that a galaxy has a life cycle. But yes, a galaxy is born, evolves and “dies”, although the process can take a few billion years. In this text, I will describe some of the processes we know about the evolution of galaxies, what we are still trying to discover, and how scientists are working to unravel these mysteries.

Palavras-chave: evolução de galáxias, morte de galáxias, astronomia.

Keywords: galaxy evolution, dead of galaxies, astronomy.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v3n1.37204](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v3n1.37204)

1 Galáxias são berçários estelares

A primeira coisa a se entender é que galáxias funcionam como gigantescas fábricas de estrelas no Universo. É ali que novas estrelas se formam.

Esse processo depende de um componente fundamental presente em galáxias: o gás hidrogênio. O elemento, que é o mais simples e o mais abundante do Universo, funciona como combustível para formação estelar. Quando o gás está suficientemente comprimido, devido à sua própria gravidade, a fusão nuclear começa a funcionar, unindo os átomos de hidrogênio para criar elementos mais pesados e gerando o que chamamos formalmente de estrelas.

Assim, podemos entender que o gás é um ingrediente sem o qual a formação estelar não pode acontecer. Quando dizemos que uma galáxia “morreu”, o que estamos indicando é que já não há mais gás hidrogênio em seu interior para alimentar a formação de novas estrelas, e vemos ali apenas estrelas mais velhas. É como uma fogueira sem lenha, quando podemos ver apenas as brasas



Figura 1: Imagem dos Pilares da Criação, uma das regiões de formação estelar mais conhecidas de nossa galáxia, obtida com o telescópio espacial Hubble. Créditos: NASA, ESA/Hubble e o Hubble Heritage Team.

do que foi um belo fogo no passado.



Figura 2: A galáxia de Andrômeda é a galáxia espiral mais próxima de nós, a cerca de 2,5 milhões de anos-luz de distância. Créditos: R. Gendler.

2 As classes de galáxias

Sabemos também que as galáxias podem ser classificadas em diferentes tipos, de acordo com seu formato. As maneiras de se classificar esses objetos dependem muito do freguês, como é frequente acontecer na ciência. Há, por exemplo, uma galáxia classificada como (R)SAB(l,nb)0⁺ [(R)SB(s)0/a] — mas esse tipo de detalhamento serve apenas aos trabalhos mais técnicos.

De modo geral, a astronomia classifica as galáxias em dois grandes grupos: as galáxias espirais e as elípticas. As espirais, como a nossa própria Via Láctea, têm um formato de disco, com braços espirais. As elípticas, por outro lado, são mais arredondadas, com um formato semelhante a um ovo ou elipse, como o próprio nome indica. As Figuras 2 e 3 mostram exemplos de galáxias espirais e elípticas.

Mas não são apenas os formatos visuais que diferenciam esses dois grupos. Há muitas décadas, já se sabe que as galáxias espirais possuem estrelas mais jovens, que nasceram há pouco tempo (em termos astronômicos claro; quando dizemos



Figura 3: NGC 1316 é um exemplo de galáxia elíptica, com o formato mais arredondado. Créditos: ESO

“jovens” queremos dizer há algumas centenas de milhões de anos, no máximo). As elípticas, por outro lado, têm sua população dominada por estrelas mais velhas. São as anciãs cósmicas.

Ora, será então que isso tem a ver com a quantidade de gás das galáxias? Claro que sim! As galáxias espirais têm 10% ou mais de seus átomos na forma de nuvens de gás, prontas para formar mais estrelas (o restante está quase todo dentro das próprias estrelas, claro). Esse percentual é muito menor em elípticas, o que explica de forma simples a ausência de estrelas jovens.

A astronomia, no entanto, não se restringe a caracterizar os astros. Nós queremos entender suas origens, do ponto de vista físico, e a pergunta evidente é: como se formam as galáxias? A formação de espirais e elípticas é distinta?

Esse foi um debate acalorado por muito tempo, e uma das principais explicações até a década de 60, aproximadamente, era que galáxias elípticas teriam se formado antes. Elas teriam nascido já com esse formato, e as espirais, que vieram posteriormente, sendo as responsáveis por formar novas estrelas atualmente.

No entanto esse modelo previa propriedades que não foram confirmadas; por exemplo, em galáxias elípticas todas as estrelas deveriam ser velhas, mas na verdade as observações mostram que existe uma grande variedade de idades ali. Um novo modelo se fazia necessário.

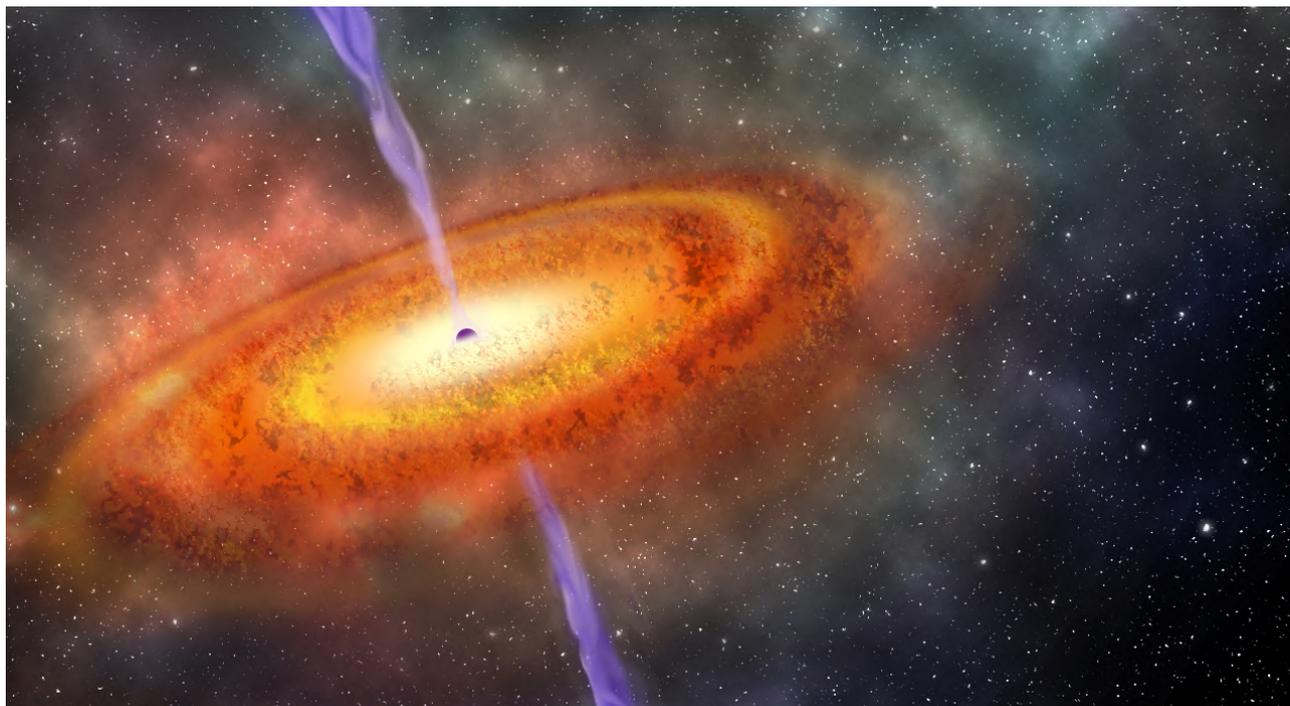


Figura 4: Impressão artística de um buraco negro produzindo um jato. Créditos: Robin Dienel/Carnegie Institution for Science.

Esse modelo, usado até hoje, é o que chamamos de formação hierárquica. As galáxias se formaram pequenas, no passado, e foram colidindo, unindo-se, fundindo-se ao longo da história do universo, formando objetos progressivamente maiores.

Ao mesmo tempo, a computação avançou a passos largos, e as primeiras simulações numéricas na década de 70 já mostravam que duas galáxias espirais colidindo dão origem a uma elíptica. É o que acontecerá com a Via Láctea, que vai se fundir com a galáxia de Andrômeda daqui a alguns bilhões de anos.

O paradigma, então é outro. As galáxias espirais se formam antes, e as elípticas são geradas pela colisão de espirais. Nesse caso, devemos ser capazes de relacionar a transformação morfológica de galáxias com suas propriedades internas: o que acontece com esses objetos para que percam seu gás durante a colisão?

2.1 Como as galáxias morrem?

Essa é a pergunta de um milhão de dólares. Literalmente, porque provavelmente quem conseguir responder de maneira definitiva deve ganhar um prêmio Nobel.

A explicação, no entanto, dificilmente será simples ou definitiva. Mesmo porque temos diver-

sas hipóteses e diferentes caminhos para, efetivamente, matar uma galáxia.

Sabemos que parte da resposta está nas colisões que discutimos antes. Essas colisões são processos complicadíssimos, com várias ramificações e efeitos físicos simultâneos. Primeiro, sabemos que interações gravitacionais entre as galáxias podem arrancar parte do gás de cada uma, o que ajuda no assassinato galáctico.

Além disso, modelos matemáticos mostram que parte do material durante as colisões acaba sendo levado para o centro da nova galáxia, gerando um buraco negro supermassivo, outro “vilão” citado frequentemente como responsável pela morte de galáxias.

Muitas vezes pensamos em buracos negros como grandes aspiradores de pó universais, que sugam tudo ao seu redor. Se por um lado a sua gravidade é, realmente, muito intensa, a área do espaço de onde nada escapa (nem a luz) é bem pequena. Comparativamente, temos uma região muito maior afetada pela gravidade do buraco negro que é agitada, energizada, aquecida, ao ponto de criar gigantescas emissões de luz e campos magnéticos poderosíssimos, que criam jatos capazes de expelir o gás de galáxias a distâncias de milhões de anos-luz (Figura 4).

Quer mais? Essas colisões muitas vezes aconte-



Figura 5: O aglomerado de galáxias ACO S 295, a 3,5 bilhões de anos-luz de distância. Créditos: NASA/ESA/Hubble/F. Pacaud/D. Coe.

cem em áreas mais “congestionadas” do universo, conhecidas como os aglomerados de galáxias (Figura 5). Compostos por centenas — ou até milhares — de galáxias, a grande densidade de objetos em um volume relativamente restrito pode aumentar a frequência com que as colisões e interações podem acontecer.

Os aglomerados também apresentam uma enorme quantidade de gás quente, a temperaturas semelhantes ao centro do Sol. Mesmo sem colidir, uma galáxia caindo neste meio pode perder seu gás através do atrito com o meio, algo como o que acontece com uma pastilha efervescente colocada em água.

Com efeito, galáxias no centro de aglomerados apresentam pouca ou nenhuma atividade de formação estelar. Independente do processo responsável, sabemos que esses ambientes são nocivos às galáxias, matando as vítimas que caem ali.

3 Descobrimo o assassino — a teoria

Na seção anterior, mostramos uma lista de possíveis culpados por matar galáxias. Como podemos ver, no entanto, a lista é extensa, e é difícil identificar o processo responsável em cada caso.

A dificuldade se deve a diversos aspectos. Primeiro, porque não temos necessariamente apenas um efeito em ação. Como nos melhores livros de detetives, pode haver uma combinação de assassinos, ou de efeitos físicos, agindo em conjunto. Dessa forma, isolar um efeito não é sim-

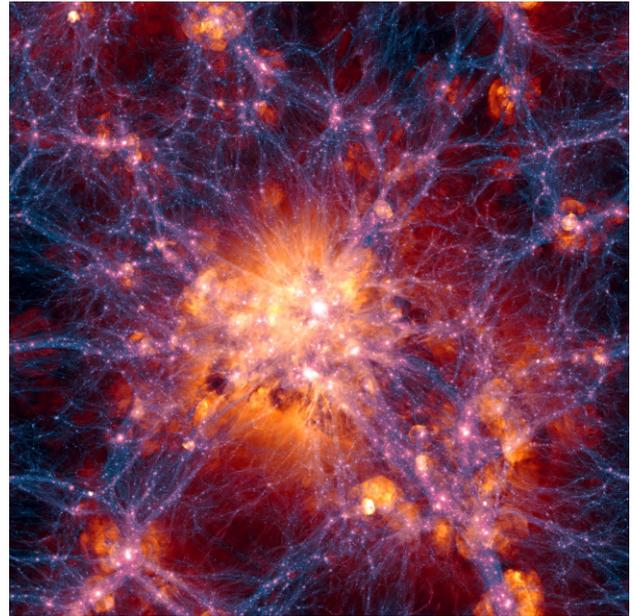


Figura 6: A imagem mostra uma região de aproximadamente 300 milhões de anos-luz, simulada em computador. Cada ponto na imagem é uma galáxia virtual. Créditos: Illustris Collaboration.

ples, mesmo porque, ao contrário de outras ciências, a astronomia não tem como colocar uma galáxia em um microscópio ou outro equipamento de laboratório para estudo; estamos sujeitos à observação passiva do universo.

Além disso, cada um desses processos age em escalas de tempo, bom, astronômicas. Galáxias podem levar mais de um bilhão de anos para deixar de formar estrelas, o que inviabiliza o acompanhamento de uma galáxia individual ao longo do seu ciclo de vida.

Uma das principais alternativas é simular a evolução de galáxias em computador. Atualmente, supercomputadores utilizam dezenas de milhões de horas de processamento (divididas, claro, entre uma enorme quantidade de núcleos) para calcular a evolução de uma galáxia e seu processamento de gás ao longo de bilhões de anos.

As inúmeras fórmulas utilizadas combinam os melhores modelos de gravidade, termodinâmica, campos magnéticos e tudo que sabemos sobre a formação de estrelas em uma simulação completa e complexa. No final, temos universos virtuais que podem servir como ponto de partida para o nosso estudo da evolução de galáxias (Figura 6).

As simulações também produzem vídeos impressionantes. Podemos visualizar em alguns minutos o que imaginamos que acontece com galá-

xias ao longo da história do cosmos, desde o Big Bang. Essas caixas virtuais podem, então, ser comparadas com nossas observações para que cientistas possam verificar a fidelidade dos modelos físicos utilizados.

4 Descobrimo o assassino — a prática

Claro, se tivéssemos certeza do que está acontecendo, não precisaríamos verificar as simulações. Não precisaríamos nem fazer ciência, já que não haveria dúvidas. Entretanto, a única forma que temos de verificar nossas previsões matemáticas é com telescópios, observando as galáxias.

Ainda assim, temos de lembrar que não podemos acompanhar em tempo real o processo físico de galáxias morrendo. Ou seja, é impossível determinar diretamente uma relação de causa e efeito entre suspeito e crime, como por exemplo a presença de buracos negros supermassivos ou a existência de um aglomerado de galáxias.

No final, nossa melhor arma é a estatística. Não podemos observar uma galáxia morrendo, mas podemos ver um grande número de galáxias “mortas” e “vivas”, formando e sem formar estrelas, e examinar suas propriedades para fazer inferências.

Podemos, por exemplo, comparar as propriedades de galáxias com e sem buracos negros, e verificar se isso afeta a quantidade de gás em seu interior. Podemos também medir as idades de estrelas de galáxias em diferentes partes de um aglomerado, determinando quão “dentro” do aglomerado ela deve estar para “morrer”, pelo menos do ponto de vista estatístico.

Notem, entretanto, que as medidas não são diretas. Não podemos pesar uma galáxia para determinar a quantidade de gás em seu interior, da mesma forma que não podemos determinar a idade de estrelas simplesmente perguntando. O conhecimento físico aí também é essencial, e podemos concluir que o aprendizado sobre o funcionamento do universo é sempre incremental. Tudo que podemos fazer na prática é medir a quantidade de luz que chega até os nossos instrumentos, e nossas descobertas prévias sobre a evolução estelar e a emissão eletromagnética dos diferentes componentes galácticos nos permite transformar as observações em medidas físicas.

5 Uma viagem no tempo

O que é mais interessante no estudo de evolução de galáxias é o nosso poder de transformar telescópios em máquinas do tempo. Podemos observar o passado do universo e reconstruir os seus quase 14 bilhões de anos como se tivéssemos um álbum de retratos cósmico.

Isso é possível porque a luz tem uma velocidade finita. Dessa forma, ao observar galáxias a bilhões de anos-luz de distância, estamos vendo uma informação que foi produzida quando o universo ainda era jovem, talvez.

Isso nos permite realizar as observações de galáxias não apenas como um produto final, vendo o resultado de toda a evolução do universo desde o Big Bang, mas também em suas etapas intermediárias. Temos esse álbum de retratos que, embora cada vez mais limitado devido às dificuldades inerentes de se observar galáxias distantes, pelo menos nos permite ter uma visão das propriedades gerais dos astros em momentos diferentes da história.

E assim como procuramos os assassinos hoje em dia, também buscamos os suspeitos em cada época. Estamos sempre querendo encontrar os buracos negros supermassivos em galáxias distantes, tentando determinar a existência dos primeiros aglomerados. É um trabalho de detetive dos mais rebuscados.

6 Os novos instrumentos

Atualmente, pode-se argumentar que o trabalho de pesquisadores que investigam a evolução de galáxias está na verdade muito mais para uma CSI¹ do que para um detetive. Afinal, dependemos fundamentalmente dos instrumentos à nossa disposição para podermos determinar o que mata uma galáxia.

Os telescópios são nosso principal instrumento, sem dúvida. São eles que nos permitem enxergar cada vez mais longe, montando nosso álbum de retratos com imagens de galáxias mais e mais longínquas, entendendo melhor o passado cósmico.

Foi o telescópio Hooker de 2,5 metros de diâmetro, por exemplo, que permitiu que Edwin Hubble descobrisse a existência de galáxias fora

¹*Crime Scene Investigation* (em português, *Investigação da cena de crime*), série transmitida recentemente na televisão.



Figura 7: Os telescópios Keck, no Havaí, com 10 metros de diâmetro cada, foram inaugurados em 1990. Por vários anos, foram os maiores telescópios ópticos do mundo. Créditos: Ethan Tweedie/W. M. Keck Observatory.

da Via Láctea e que o universo estava expandido, já na década de 1920.

O telescópio Hale, de 5 metros, foi inaugurado pouco depois da Segunda Guerra Mundial e novamente representou um grande avanço, permitindo reavaliar a distância até a galáxia de Andrômeda e medir com maior precisão a velocidade com que o universo está expandindo.

Nos anos 80 e 90, três grandes revoluções trouxeram novos avanços: a primeira foi o lançamento do telescópio espacial Hubble. Livre da interferência da atmosfera, o Hubble foi capaz de ver mais detalhes e enxergar muito mais longe, observando galáxias a bilhões de anos-luz de distância. Um feito até então impensável.

Mas ele não estava sozinho. Nesse período vimos a inauguração dos telescópios de grande porte, com espelhos que variam entre 8 e 10 metros de diâmetro (Figura 7). O tamanho avantajado permite um ganho significativo em sensibilidade, acompanhando as observações do telescópio espacial.

Por fim, outra inovação importante foi a utilização de detectores digitais, os chamados CCDs. Ao contrário das placas fotográficas, os CCDs eram capazes de guardar a maior parte da luz que os atingia, garantindo a detecção de astros muito menos luminosos.

Combinadas, as novas tecnologias nos permiti-

ram completar nosso álbum de retratos de forma esplêndida. Começamos finalmente a conhecer a juventude do universo, e a entender a formação de galáxias sem depender apenas do resultado final de todo o processo.

Vale lembrar, no entanto, que não é apenas a luz visível que utilizamos para estudar as galáxias. As nuvens de gás, por exemplo, que servem como combustível para a formação de novas estrelas, são observadas somente em microondas, exigindo a utilização de rádio-observatórios. Os buracos negros supermassivos, por outro lado, emitem grandes quantidades de energia no raio-X, exigindo a utilização de um outro tipo de telescópio espacial (como por exemplo o Chandra, lançado em 1999) para superar o bloqueio atmosférico desse tipo de radiação. Apenas observando todos esses efeitos ao mesmo tempo somos capazes de compreender todos os processos físicos acontecendo simultaneamente em galáxias.

Por último, é importante ressaltar a contribuição da informática. Como foi dito antes, as simulações computacionais são fundamentais para entendermos a evolução de galáxias do ponto de vista teórico. Na década de 70, isso queria dizer que podíamos colocar algumas dezenas de milhares de partículas em um computador e verificar o seu movimento.

Hoje, por outro lado, os supercomputadores

permitem que examinemos o comportamento de bilhões de partículas, considerando não apenas a gravidade mas todos os processos físicos relevantes acontecendo com o gás e as estrelas. É um enorme salto tecnológico, que ainda avança a passos largos.

7 O futuro da astrofísica extragaláctica

O que mais vem por aí? O futuro do campo é promissor. Estamos novamente em um momento divisor de águas, de forma comparável ao que poderíamos esperar no final da década de 80.

Se você chegou até aqui, deve gostar de astronomia, e assim deve no mínimo ter ouvido falar do telescópio espacial James Webb. Lançado recentemente, no dia 25 de dezembro de 2021, o James Webb será muito mais poderoso que o Hubble. Ele será capaz de observar as primeiras galáxias, aquelas que surgiram apenas algumas centenas de milhões de anos após o Big Bang. Esperamos assim poder, finalmente, completar nosso álbum, chegando nas primeiras estrelas e estudando o processo completo de formação e evolução de galáxias, do começo ao fim.

Acompanhando o James Webb, teremos também a nova geração de telescópios gigantes. Se o maior telescópio da atualidade tem cerca de 10 metros de diâmetro, até o final da década esperamos ter 3 telescópios gigantes em funcionamento, o maior deles com 39 metros de diâmetro. O Telescópio Extremamente Grande Europeu (sim, é esse o seu nome) será um colosso instalado no Chile, que trabalhará em conjunto com o James Webb para investigar o universo.

Devo dizer, estou animadíssimo para a próxima década. Alguns de meus colegas querem confirmar as previsões dos modelos, observando pela primeira vez as primeiras galáxias do universo e verificando o caminho que ela deve fazer para se converter em algo semelhante à nossa Via Láctea após pouco mais de 13 bilhões de anos.

Por mais que essa seja uma perspectiva incrível, eu também penso no que ainda nem pensamos em observar. Fico imaginando como as novas tecnologias vão revelar segredos ainda desconhecidos,

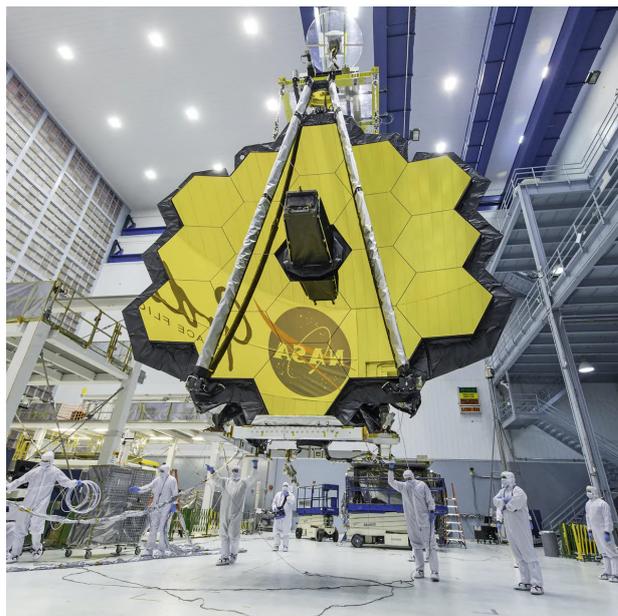


Figura 8: O telescópio espacial James Webb tem lançamento previsto para dezembro de 2021 e representa uma nova era da astronomia. Créditos: NASA/Desiree Stover.

processos que nem havíamos imaginado. E imagino se isso pode nos levar a entender, de uma vez por todas, quem é o maior assassino de galáxias no universo.

Sobre o autor

Thiago Signorini Gonçalves (tsg@astro.ufrj.br) possui graduação em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003), Mestrado em Astronomia pelo Observatório Nacional (2004) e Doutorado em Astrofísica pelo California Institute of Technology (2011). Atualmente é professor adjunto e docente da pós-graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Também desenvolve um amplo trabalho de divulgação científica nas redes sociais e mídias em geral, como coordenador de imprensa da Sociedade Astronômica Brasileira e publicando uma coluna semanal no site Tilt/UOL (<https://www.uol.com.br/tilt/colunas/thiagogoncalves/>).