

**A CÉLULA INVULNERÁVEL**

VÍRUS NÃO CONSEGUIRÃO ENTRAR  
NOVA LINHAGEM DE CÉLULAS SIN...



Setembro 2019 | www.sciam.com.br

# SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL

  
NASTARI  
EDITORES

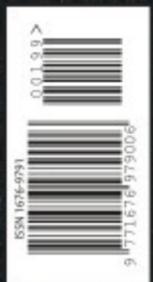
ANO 18 | nº 199  
R\$ 19,90 | 4,90 €



## O PRIMEIRO MAPA 3D DA VIA LÁCTEA



O satélite Gaia, que já fez observações de mais de 1,3 bilhão de estrelas, revela a movimentada história de nossa casa no Cosmos



**MAIS**

### COMO SURGE A MENTE

Interações em rede no cérebro permitem  
o aparecimento dos pensamentos

### QUANDO O BICHO PEGA

Para competir por fêmeas e território, animais usam  
estratégias para avaliar se é melhor brigar ou fugir





ASTRONOMIA

**26 O primeiro mapa 3D da Via Láctea**

O telescópio espacial Gaia mapeou, com precisão inédita, 1,3 bilhão de estrelas da galáxia. Os resultados estão mudando a forma como vemos e compreendemos nossa vizinhança cósmica. *Carme Jordana e Eduard Masana*

NEUROCIÊNCIA

**36 Como a matéria produz a mente**

Uma nova disciplina, a neurociência de sistemas, está mostrando como a mente pode emergir a partir de uma interação refinada entre diferentes áreas do cérebro. *Max Bertolero e Danielle S. Bassett*

BIOLOGIA

**44 A célula invulnerável**

Biólogos estão construindo um organismo capaz de repelir qualquer

vírus existente no planeta. O próximo passo pode ser a construção de células humanas impenetráveis. *Rowan Jacobsen*

CONSERVAÇÃO

**52 Promessas quebradas**

A gigante de mineração Rio Tinto quebrou uma alardeada promessa pública de melhorar a ecologia de seus campos de extração de ilmenita em Madagascar em cooperação com cientistas conservacionistas. Mas então seus negócios começaram a enfrentar dificuldades. *Rowan Moore Gerety*

COMPORTAMENTO ANIMAL

**60 Lutar ou fugir**

Novas pesquisas questionam uma das mais arraigadas ideias sobre o comportamento animal: a de que todos têm a capacidade de avaliar o poder de luta de um adversário. *Gareth Arnott e Robert W. Elwood*



**CAPA**

No final de 2013, a Agência Espacial Europeia lançou o satélite Gaia, um telescópio espacial que estuda as estrelas da Via Láctea. Em 2018, a partir dos dados do Gaia, foi lançado o catálogo de estrelas mais completo e preciso da história.

ASTRONOMIA

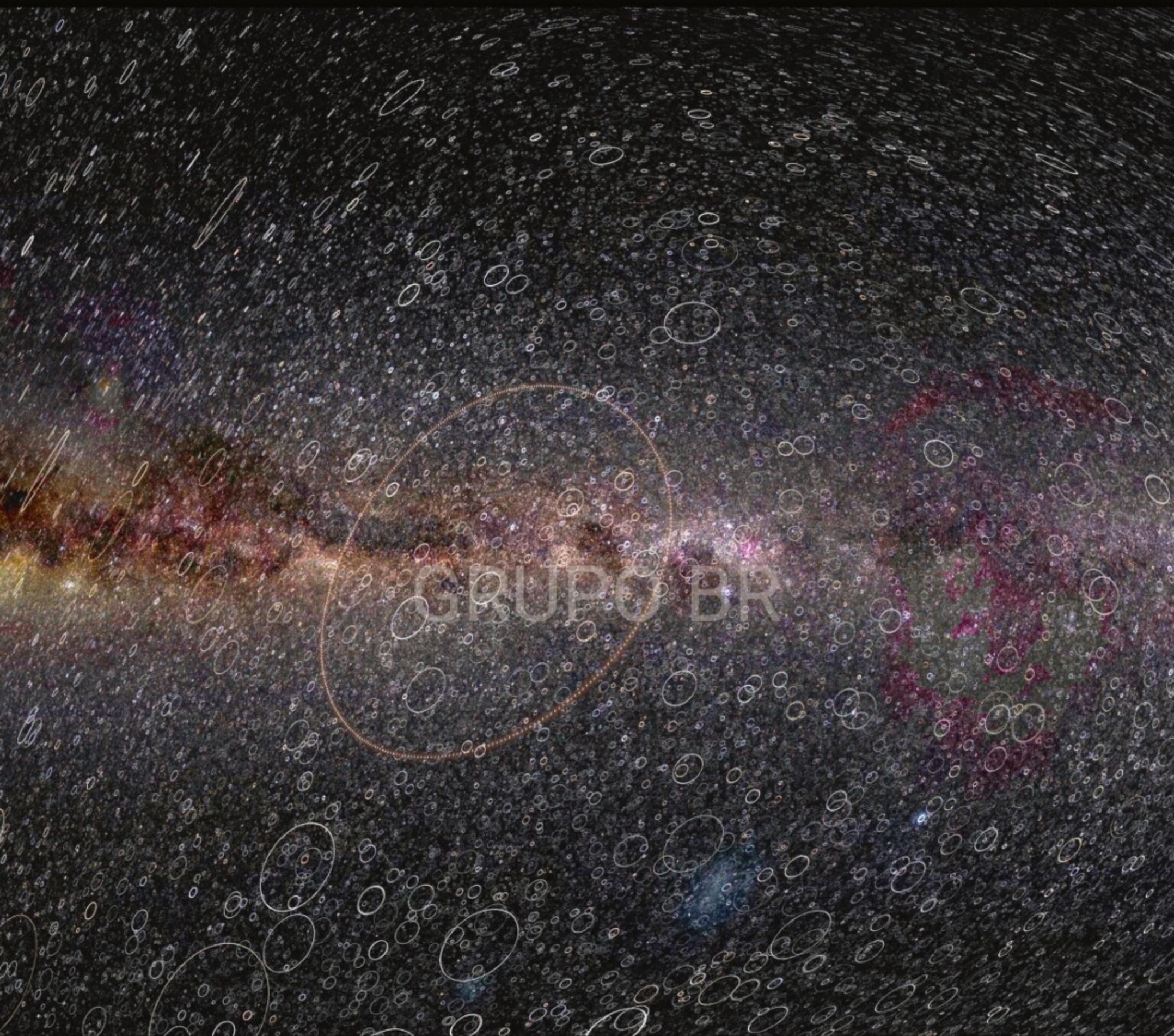
# O PRIMEIRO MAPA



**O telescópio espacial Gaia mapeou, com precisão inédita, 1,3 bilhão de estrelas da Galáxia. Os resultados estão mudando a forma como vemos e compreendemos nossa vizinhança cósmica**

*Carme Jordi e Eduard Masana*

# 3D DA VIA LÁCTEA



UMA NOVA VIA LÁCTEA: o satélite Gaia mediu com precisão incrível paralaxes e movimentos de milhões de estrelas da Galáxia. A paralaxe de um astro resulta de seu movimento aparente no céu (elipses), produzido pela translação da Terra em torno do Sol. Como a paralaxe tem um valor muito pequeno, na imagem suas dimensões foram ampliadas 100 mil vezes.

## Quais as propriedades da Via Láctea? Como ela se formou? Como surgiram suas estrelas?

Para responder a essas perguntas, no fim de 2013, a Agência Espacial Europeia (ESA) lançou o satélite Gaia, uma das missões astronômicas mais ambiciosas dos últimos tempos. Depois de quatro anos de observações e análises, em abril de 2018 o consórcio Gaia publicou seu catálogo completo de estrelas, incluindo a posição, paralaxe, movimento, cor e brilho de mais de 1,3 bilhão de estrelas. A enorme quantidade de objetos mapeados — sem precedentes na história da astronomia — e a excelente precisão dos dados começaram a transformar boa parte do que acreditávamos saber sobre nossa Galáxia e os processos de evolução estelar.

O cenário aceito atualmente para explicar a criação de galáxias é hierárquico: ao longo da história do Cosmos, as galáxias menores foram se juntando para formar outras cada vez maiores. Esses processos de agregação podem durar milhões de anos e, na verdade, podem ser reconstruídos a partir das órbitas e propriedades de estrelas individuais de uma galáxia. Isso porque as estrelas de uma galáxia que foi engolida apresentam as características e movimentos que permitem determinar sua origem. Por isso, a melhor forma de inferir o passado da Via Láctea consiste em mapear, com a maior precisão possível, o movimento, distância, idade e conteúdo químico do maior número de estrelas que conseguirmos. Esse é o objetivo da missão Gaia.

A análise de dados da missão já nos brindou com várias surpresas. Aprendemos que, há uns 10 bilhões de anos, a Via Láctea colidiu e se fundiu com outra galáxia quatro vezes menor. E que numa época bem mais recente a passagem de uma galáxia anã provocou uma perturbação nas órbitas de várias

**Carme Jordi** é pesquisadora do Instituto de Ciências do Cosmos na Universidade de Barcelona e do Instituto de Estudos Espaciais da Cataluña. Ela participou da colaboração Hipparcos e atualmente trabalha no projeto Gaia. Ela é membro da Equipe Científica da missão Gaia, órgão assessor da ESA para a missão.



**Eduard Masana** é pesquisador do Instituto de Ciências do Cosmos da Cataluña e na missão Gaia é responsável pelo grupo de simulações.



estrelas do disco que ainda podemos observar. Tanto a quantidade como a precisão dos novos dados permitem analisar os processos de evolução estelar como jamais foi possível, e já revelaram alguns tipos de estrelas não previstos pelos métodos teóricos. Para além de nossa vizinhança cósmica mais próxima, as medições de Gaia estão revelando a dinâmica de seu halo difuso de estrelas e a dinâmica das galáxias anãs que nos rodeiam. E as descobertas estão só começando.

### RIQUEZA DE DADOS

O satélite Gaia foi lançado em dezembro de 2013. Viajou até o ponto de Lagrange L2 do sistema Sol-Terra (situado a 1,5 milhão de quilômetros de nosso planeta) e permanecerá lá até o final de seu funcionamento. Em julho de 2014 iniciaram-se as observações, que seguem até hoje. O satélite gira em torno de seu eixo a cada seis horas. Seu eixo, por sua vez, descreve um movimento de precessão em torno da direção Sol-Terra com um período de 63 dias. Essa rotação, combinada com o movimento do satélite em torno do Sol no mesmo período que a Terra (um ano), permite a observação completa do céu a aproximadamente cada seis meses.

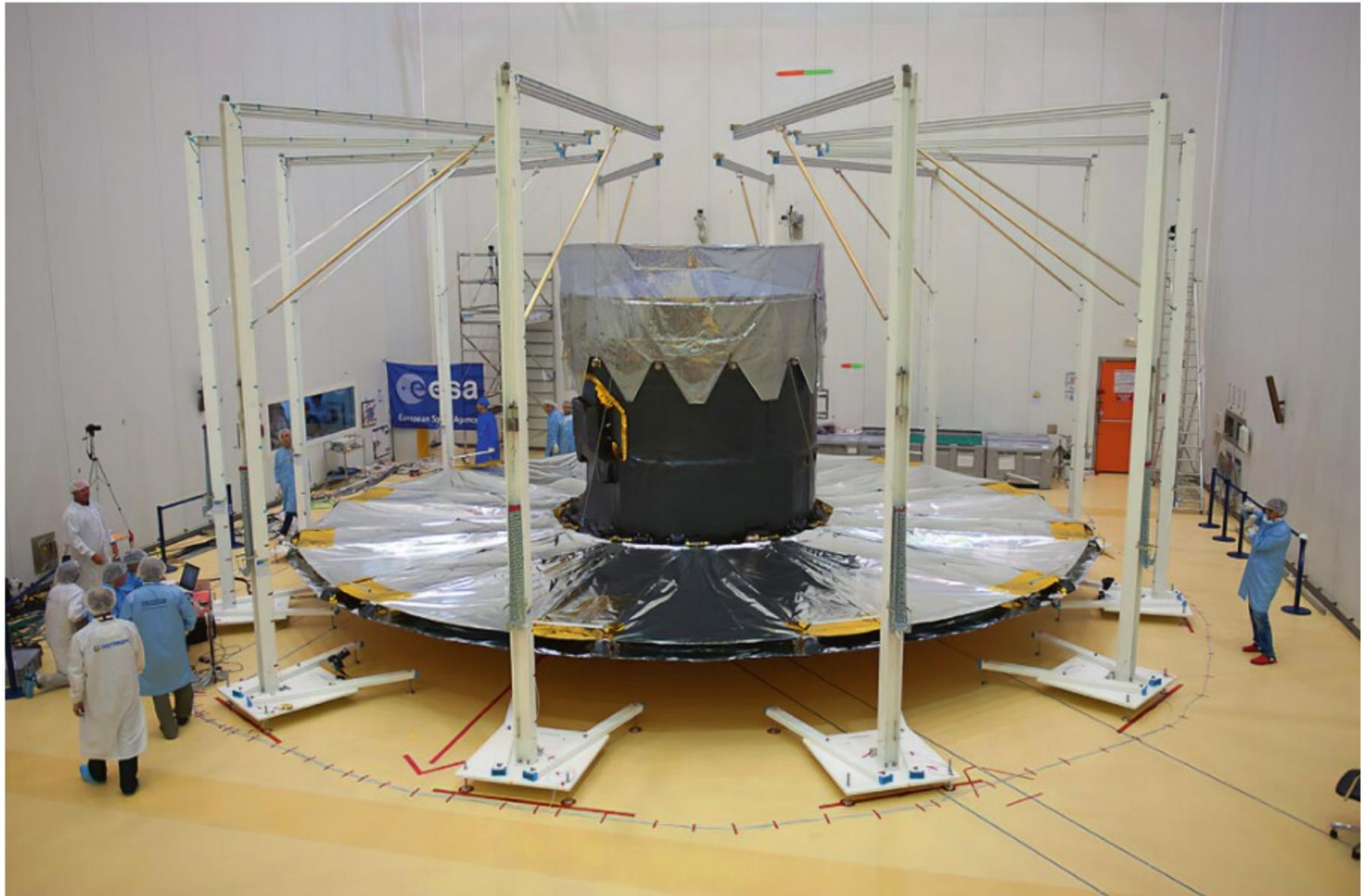
Graças a essa varredura contínua da abóbada celeste, Gaia analisa uma média de 70 milhões de estrelas por dia. Cada uma dessas observações é formada por nove medidas da posição e brilho, dois espectros de baixa resolução obtidos na parte azul e vermelha da região visível do espectro eletromagnético, além de outros três espectros de melhor resolução na região do infravermelho. Os primeiros permitem inferir o tipo de astro que estamos observando e suas propriedades físicas, como temperatura e gravidade da superfície. Os segundos permitem determinar a velocidade da estrela ao longo da linha de visada e seu conteúdo químico. O satélite está equipado com um conjunto de 106 dispositivos de carga acoplada (CCD, na sigla em inglês), equivalente a uma câ-

### EM SÍNTESE

**Ao longo da história cósmica**, a Via Láctea foi crescendo por acreção de sucessivas galáxias menores. Essas interações deixaram sua marca nas propriedades, posições e velocidade das estrelas.

**Com o objetivo de estudá-las**, no final de 2013 a Agência Espacial Europeia lançou o satélite Gaia. No ano passado, a missão publicou o catálogo estelar mais completo e preciso da história da astronomia.

**Os novos dados** revelaram vários episódios significativos referentes ao passado da Via Láctea e da evolução de suas estrelas. Os resultados estão transformando diversas áreas da astrofísica e da cosmologia.



**ANTES DO LANÇAMENTO:** os engenheiros da Agência Espacial Europeia inspecionam o satélite Gaia na base de Kouru, na Guiana Francesa, em outubro de 2013. Com uma massa total de aproximadamente duas toneladas, o satélite foi enviado ao espaço em dezembro de 2013.

mera de um gigapixel (um bilhão de pixels), o que a converte na maior câmera jamais lançada ao espaço. Em 14 de abril de 2018, duas semanas antes da publicação do último catálogo, Gaia completou 100 bilhões de observações.

Essa fantástica quantidade de dados é enviada para a Terra e processada para se extrair a informação correspondente a cada estrela: sua posição e seu movimento em três dimensões (sobre a abóbada celeste e ao longo da linha de visada), e suas propriedades físicas e químicas. O consórcio para o processamento de dados (DPAC, na sigla em inglês) inclui seis centros de cálculo formados por cerca de 400 pessoas, em diversos países da Europa. A contribuição espanhola para o DPAC representa aproximadamente 10% do total, com equipes localizadas em Barcelona, Galícia, Santander e Madri. Em Barcelona está também um dos centros de cálculo, que abrange o Centro de Supercomputação de Barcelona e o Consórcio de Serviços Universitários da Cataluã.

Para ilustrar a relevância de Gaia, basta mencionar que, até hoje, todas as determinações de distâncias até as estrelas e galáxias, assim como as associadas ao tamanho do Universo visível, se baseavam direta ou indiretamente no catálogo de 120 mil estrelas mapeadas nos anos 1990 pelo satélite Hipparcos, também da ESA, e precursor de Gaia. Com a nova missão, esse número ultrapassou um bilhão e a precisão das medidas foi extraordinariamente aprimorada.

Até agora, o consórcio publicou dois catálogos estelares. O primeiro saiu em setembro de 2016 e incluía a posição, distância e o movimento sobre a abóbada celeste de dois milhões de estrelas. O segundo, publicado em 25 de abril de 2018, elevou esse número para 1,33 bilhão. Além disso, ele incluía o brilho de 1,6 bilhão, a cor de 1,4 bilhão, os parâmetros físicos de centenas de milhões e a velocidade radial de sete milhões. A esses dados devemos acrescentar meio milhão de curvas de luz (medidas do brilho em função do tempo) de estrelas variáveis, bem como a informação relativa às órbitas de 14 mil asteroides pré-selecionados. Essa imensa quantidade de dados supera em várias ordens de grandeza qualquer catálogo anterior de medidas astronômicas.

Um aspecto importante das medições da missão é a determinação das paralaxes estelares. A paralaxe de uma estrela corresponde à separação angular subentendida pelo Sol e a Terra como se fossem vistos da estrela. Pode ser obtida medindo-se a posição aparente do astro quando a Terra se encontra em pontos opostos de sua órbita em torno do Sol, e está diretamente relacionada à distância ao objeto (quanto mais distante estiver, menor será sua paralaxe). O êxito sem precedentes do catálogo de Gaia não só se deve ao grande número de estrelas estudadas, mas também à precisão de suas medidas. No caso da paralaxe, a precisão varia de 0,04 milissegundo de arco para as estrelas mais brilhantes (o ângulo

# Um mapa estelar sem precedentes

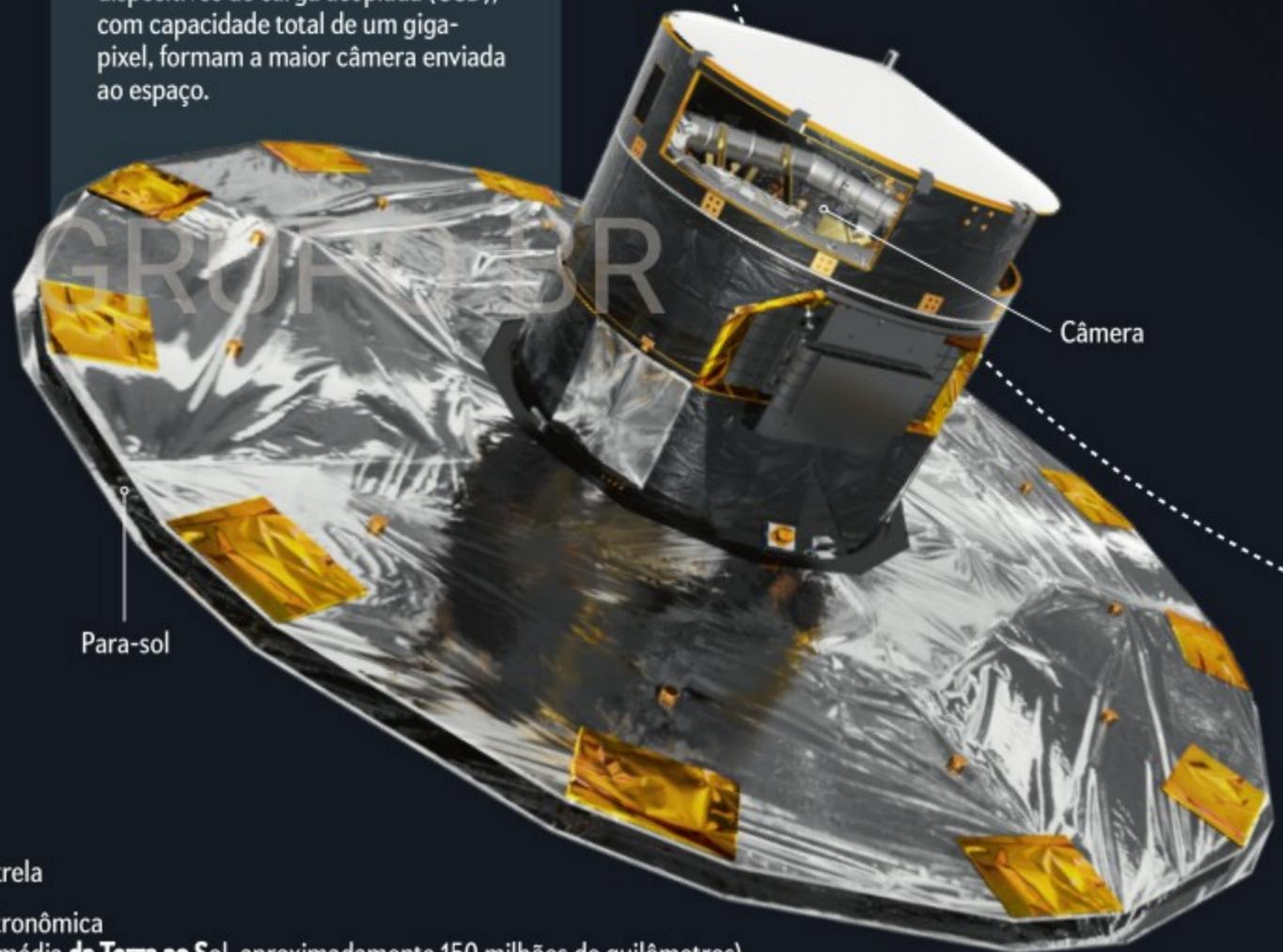
O satélite Gaia foi projetado pela ESA para medir a posição, movimento e propriedades físicas e químicas das estrelas da Via Láctea. A partir dos dados coletados, os pesquisadores começaram a reconstruir o passado da Galáxia e os processos de evolução estelar como jamais foi feito na história da astronomia. Em abril de 2018, o consórcio Gaia publicou um catálogo estelar com as características de mais de 1,3 bilhão de estrelas. A análise dos dados manterá os astrônomos ocupados durante décadas.

Estrelas muito distantes ("fixas")



## O satélite

Com massa de aproximadamente duas toneladas, 11 metros de diâmetro e 2,3 metros de altura, o satélite Gaia (abaixo) encontra-se no ponto lagrangeano L2 do sistema Sol-Terra, situado a 1,5 milhão de quilômetros da Terra no sentido oposto ao Sol. Ele observa cerca de 70 milhões de estrelas por dia e varre completamente a abóbada celeste a cada seis meses. Seus 106 dispositivos de carga acoplada (CCD), com capacidade total de um gigapixel, formam a maior câmera enviada ao espaço.



Estrela

$\rho$  Ângulo de paralaxe

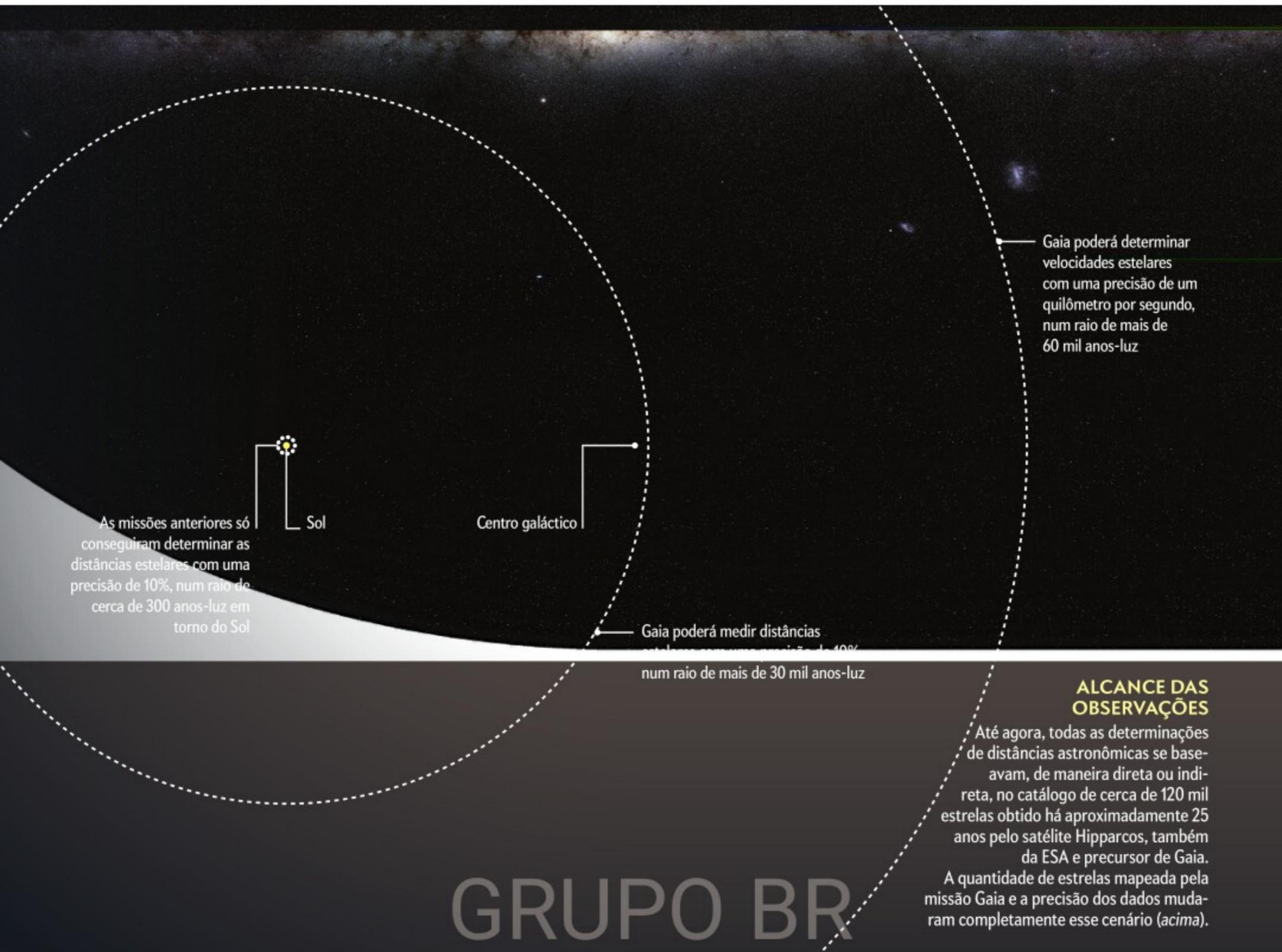
$d$  = distância à estrela

1UA = unidade astronômica  
(distância média da Terra ao Sol, aproximadamente 150 milhões de quilômetros)



## PARALAXES, DISTÂNCIAS E VELOCIDADES

Gaia se destaca pela determinação das paralaxes estelares: o ângulo subtendido pelo Sol e da Terra como se fosse visto de uma dada estrela (à esq.). A partir da paralaxe, um cálculo elementar de trigonometria permite determinar a distância até a estrela. Em relação às missões anteriores, Gaia permitiu multiplicar várias dezenas de vezes a precisão na determinação da paralaxe. Ao mesmo tempo, a possibilidade de observar uma estrela durante longos períodos permite calcular seu movimento pela abóbada celeste. Sua velocidade ao longo da linha de visada pode ser obtida a partir da análise do espectro eletromagnético da estrela graças ao efeito Doppler.



As missões anteriores só conseguiram determinar as distâncias estelares com uma precisão de 10%, num raio de cerca de 300 anos-luz em torno do Sol

Sol

Centro galáctico

Gaia poderá medir distâncias estelares com uma precisão de 10% num raio de mais de 30 mil anos-luz

Gaia poderá determinar velocidades estelares com uma precisão de um quilômetro por segundo, num raio de mais de 60 mil anos-luz

### ALCANCE DAS OBSERVAÇÕES

Até agora, todas as determinações de distâncias astronômicas se baseavam, de maneira direta ou indireta, no catálogo de cerca de 120 mil estrelas obtido há aproximadamente 25 anos pelo satélite Hipparcos, também da ESA e precursor de Gaia. A quantidade de estrelas mapeada pela missão Gaia e a precisão dos dados mudaram completamente esse cenário (acima).

# GRUPO BR

equivalente ao subentendido por uma moeda de um euro situada na Lua, vista da Terra), até 0,67 milissegundo de arco para os astros mais fracos. Em comparação, as paralaxes do catálogo de Hipparcos atingiam uma precisão de 1 milissegundo de arco. Sem dúvida, a missão Gaia tornou-se um marco nas medidas astronômicas.

### O PASSADO DE NOSSA GALÁXIA

A imagem que temos da Via Láctea é de uma galáxia espiral, com um grande disco de estrelas em rotação, circundado por um halo difuso de estrelas mais antigas. Esse halo se distribui de forma aproximadamente esférica em torno do bulbo, um aglomerado denso de estrelas que forma a parte central da Galáxia. Com relação à sua formação, nos últimos anos foram descobertos vários indícios de que, ao longo de sua história, a Via Láctea sofreu várias interações com galáxias menores que alteraram sua estrutura.

As interações entre galáxias deixam uma marca no movimento das estrelas. Por outro lado, podemos imaginar que se dois grupos de estrelas têm origens diferentes, elas também terão diferenças na composição química. Esse análise químico-dinâmica foi concluída no ano passado por uma equipe

liderada pela astrônoma Amina Helmi, da Universidade de Groningen. Mas, graças ao segundo catálogo de Gaia, os pesquisadores identificaram um grupo de estrelas próximas ao Sol que possuíam composição química diferente e girava em torno do centro da Galáxia, no sentido contrário ao do Sol.

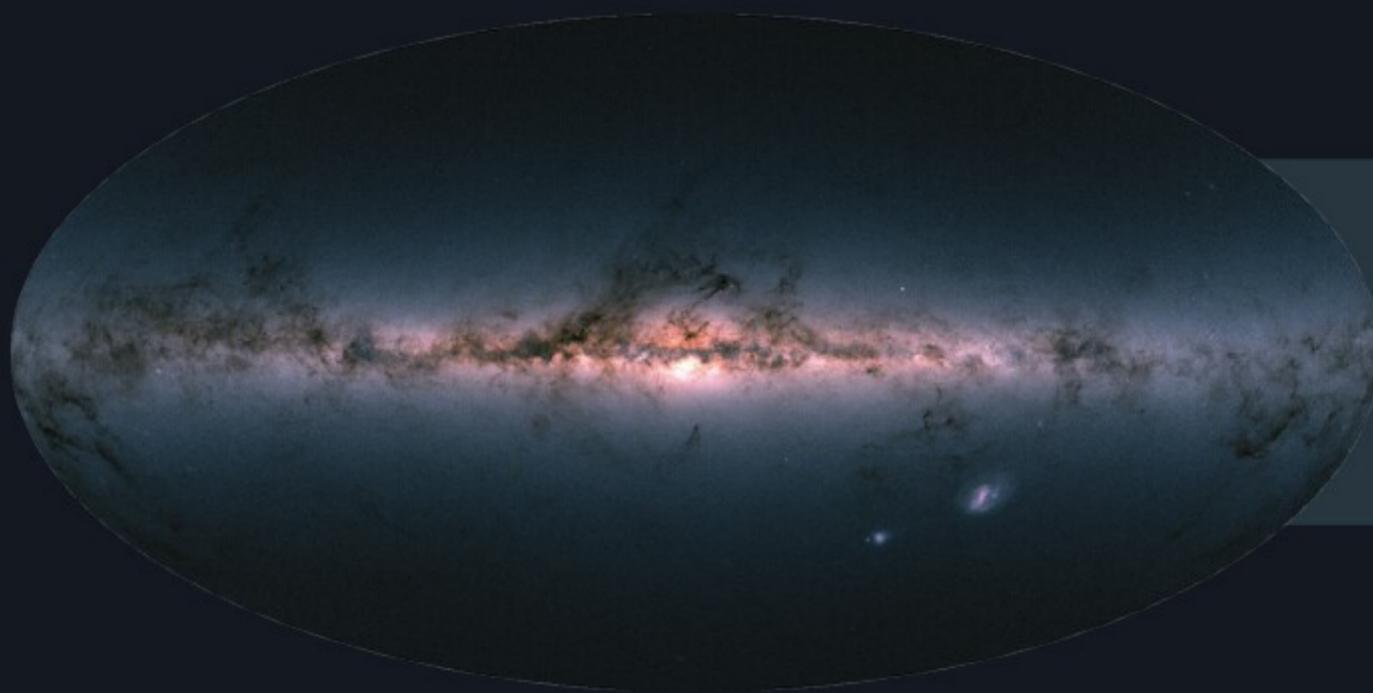
Essas diferenças podem ser explicadas se supusermos que se trata de estrelas provenientes de outra galáxia que, no passado, se chocou com a Via Láctea. A partir dos dados do Gaia, os modelos teóricos de interações entre galáxias permitem reconstruir as características da galáxia que se chocou contra a nossa e quando essa colisão ocorreu. Em seu trabalho, Helmi e seus colaboradores concluíram que, há cerca de dez bilhões de anos, uma galáxia cerca de quatro vezes menos massiva que a Via Láctea se chocou contra ela. Essa galáxia foi denominada Gaia-Encélado.

A fusão da Via Láctea com a Gaia-Encélado parece ter sido um dos eventos mais importantes da história de nossa Galáxia, mas, evidentemente, não deve ter sido o único. Consideremos agora que, no passado, uma pequena galáxia possa ter, sim, cruzado o disco da Via Láctea. Um encontro como esse produziria um efeito local, arrancando estrelas do disco, mas sem expulsá-las totalmente, uma vez que teriam de vol-

## Presente e passado da Via Láctea

**No passado**, a Via Láctea foi crescendo com a fusão sucessiva de galáxias menores. Essas interações podem ser reconhecidas atualmente a partir das propriedades das estrelas já que astros provenientes de uma galáxia de pequenas dimensões que foram, um dia, engolidos pela Via Láctea

apresentarão atualmente movimentos e características comuns. Graças aos mapas e posição e velocidade das estrelas, elaborados pela missão Gaia (*abaixo*), os astrônomos estão começando a reconstruir inúmeros detalhes da história de nossa Galáxia (*pág. oposta*).

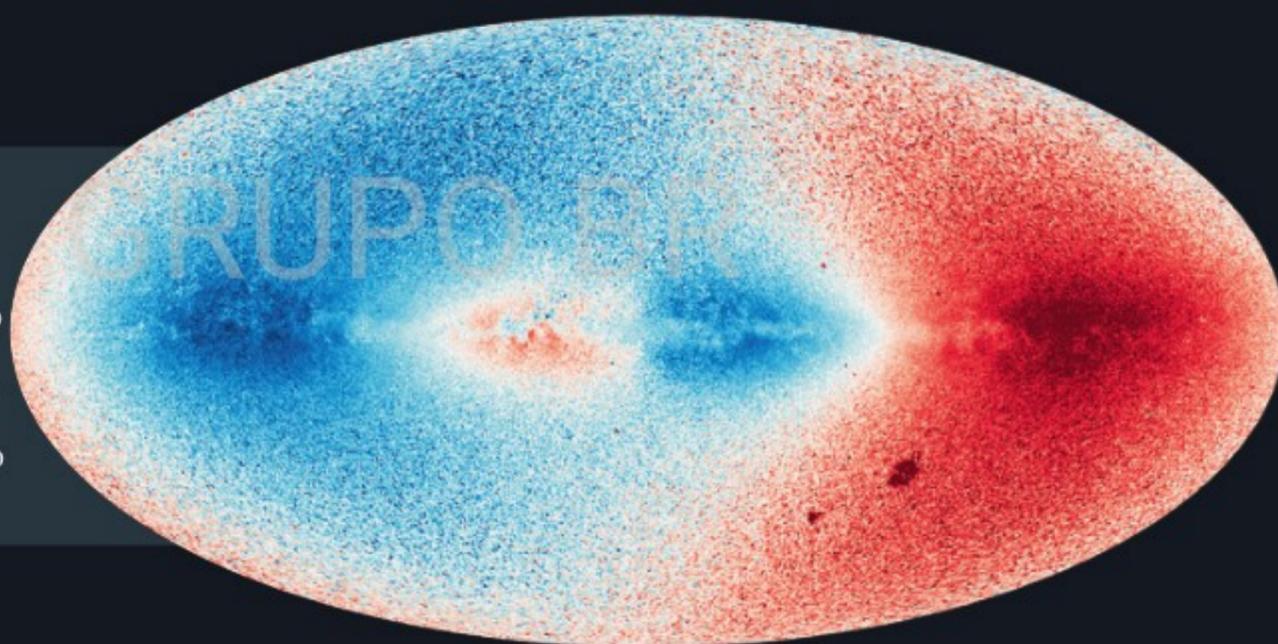


### POSIÇÕES E BRILHOS ESTELARES

Mapa do céu obtido a partir dos dados do segundo catálogo de Gaia. Além das estrelas da Via Láctea, é possível distinguir as duas nuvens de Magalhães (*parte inferior direita*) — duas galáxias satélite da Via Láctea.

### MAPA DE VELOCIDADES

Este mapa celeste mostra a velocidade de cada estrela ao longo da linha de visada: as estrelas em tons vermelhos estão se afastando do Sol enquanto que as em tons azuis estão se aproximando. Essa informação, juntamente com os movimentos próprios e as paralaxes, permite reconstruir os movimentos de rotação das estrelas em torno do centro da Galáxia.



ESA/GAIA/DPAC (imagens de posições e velocidades)

tar em direção ao disco, atraídas pela gravidade. As estrelas perturbadas adquiriam assim um movimento oscilatório, na direção perpendicular ao plano galáctico, ao mesmo tempo que continuaram orbitando ao redor do centro da Galáxia. Pode-se identificar hoje vestígios de um encontro como o que acabamos de descrever?

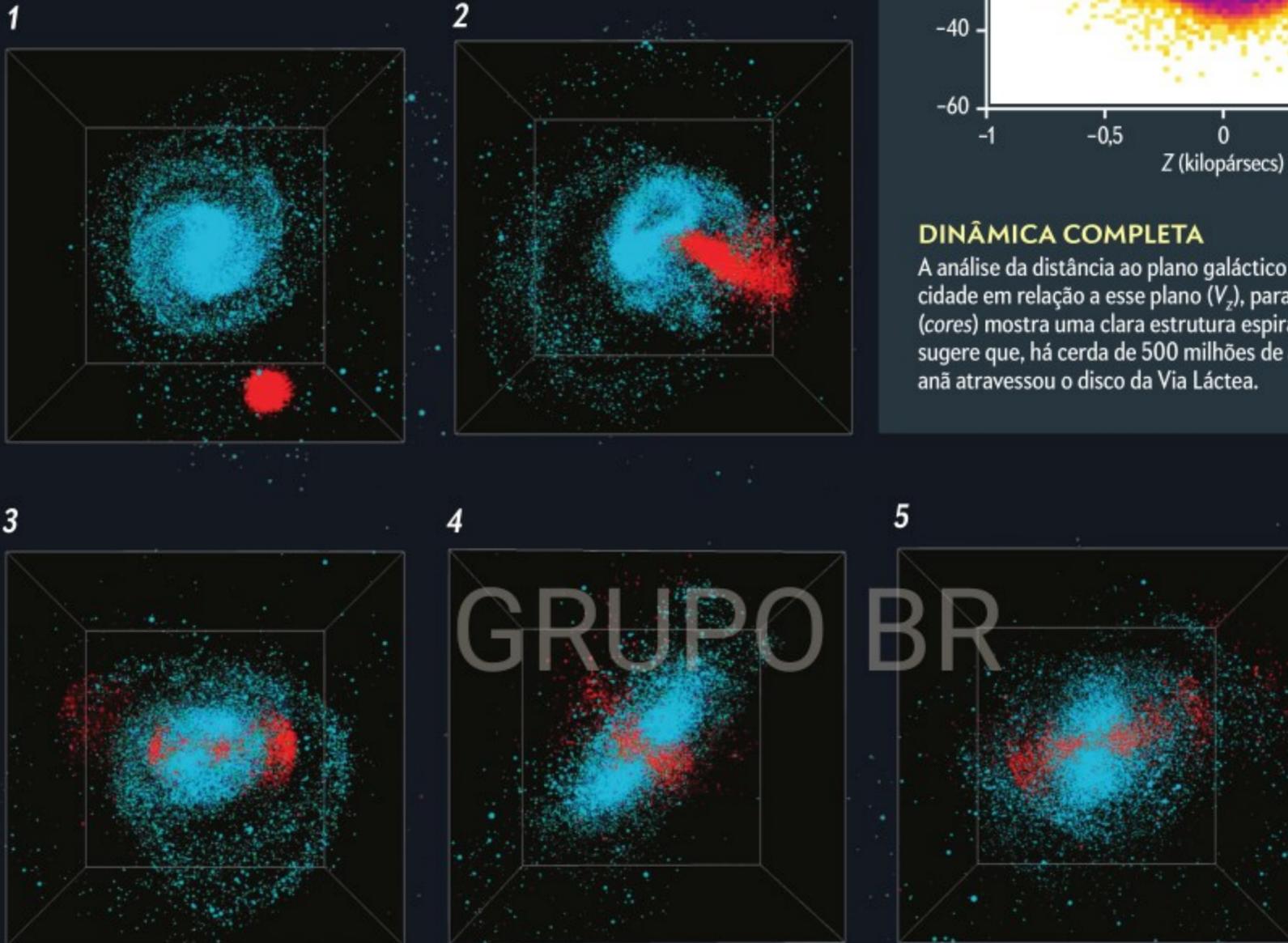
Com os dados de Gaia, a resposta é sim. Foi o que mostrou um estudo liderado por Teresa Antoja, do Instituto de Ciências Cósicas da Universidade de Barcelona, publicado em 2018. Os pesquisadores analisaram as posições e as velocidades de quase um milhão de estrelas ao redor do Sol, em particular a dependência da velocidade perpendicular ao plano da Galáxia em relação à distância a esse plano. Ao comparar

com as simulações, os dados se mostraram compatíveis com uma interação galáctica como a que descrevemos que teria ocorrido há cerca de 500 milhões de anos. Essa datação coincide com a última passagem da galáxia de Sagitário (uma das galáxias anãs próxima da Via Láctea) pelo ponto de sua órbita mais próximo do centro da Via Láctea. Nesse contexto, os dados de Gaia revelam que a dinâmica do disco galáctico é muito mais complexa do que supúnhamos e que os modelos atuais precisam ser profundamente revistos.

Outro aspecto em que os dados de Gaia mostraram um grande potencial está relacionado ao estudo dos aglomerados estelares — grupos de estrelas que se formaram a partir de uma mesma nuvem de gás e poeira. Como resultado dessa

## CANIBALISMO GALÁCTICO

As simulações por computador permitem inferir os movimentos que, com o passar do tempo (1-5), deveriam seguir as estrelas de duas galáxias que colidem (azul e vermelho). Combinado aos dados empíricos do Gaia, esse tipo de análise permite reconstruir o passado da Via Láctea. Um estudo recente mostrou, por exemplo, que há cerca de dez bilhões de anos a Via Láctea engoliu uma galáxia umas quatro vezes menos massiva, batizada pelos pesquisadores de Gaia-Encélado.



origem comum, as estrelas de um mesmo aglomerado compartilham a idade e a composição química inicial, bem como um movimento comum no espaço, que reflete o deslocamento da nuvem original. Porém, quando olhamos para o céu, as estrelas de um aglomerado parecem superpor-se a outras estrelas “do campo”, que se encontram na frente ou atrás do aglomerado. Apenas pela coincidência dos movimentos e das paralaxes é possível distinguir quais estrelas pertencem ou não a um aglomerado.

Várias equipes usaram essa ideia para procurar grupos de estrelas com um comportamento comum. A precisão dos dados de Gaia permitiu encontrar dezenas de aglomerados novos. Ao mesmo tempo, a análise de todos os aglomerados co-

nhecidos (cerca de três mil) revelou que muitos eram maiores que se imaginava, e que, por outro lado, alguns não eram verdadeiros aglomerados, mas simples asterismos (agrupamentos de estrelas sem um vínculo físico entre elas). Esse foi o caso dos “aglomerados” mais antigos localizados na parte interna do disco galáctico. De acordo com os modelos teóricos, esses aglomerados deveriam se desagregar rapidamente, e sua existência colocaria os modelos em xeque. Agora, Gaia desmentiu que fossem aglomerados reais.

## FÍSICA ESTELAR

Embora o principal objetivo da missão Gaia fosse de desmentar o passado da Galáxia, os resultados foram além.

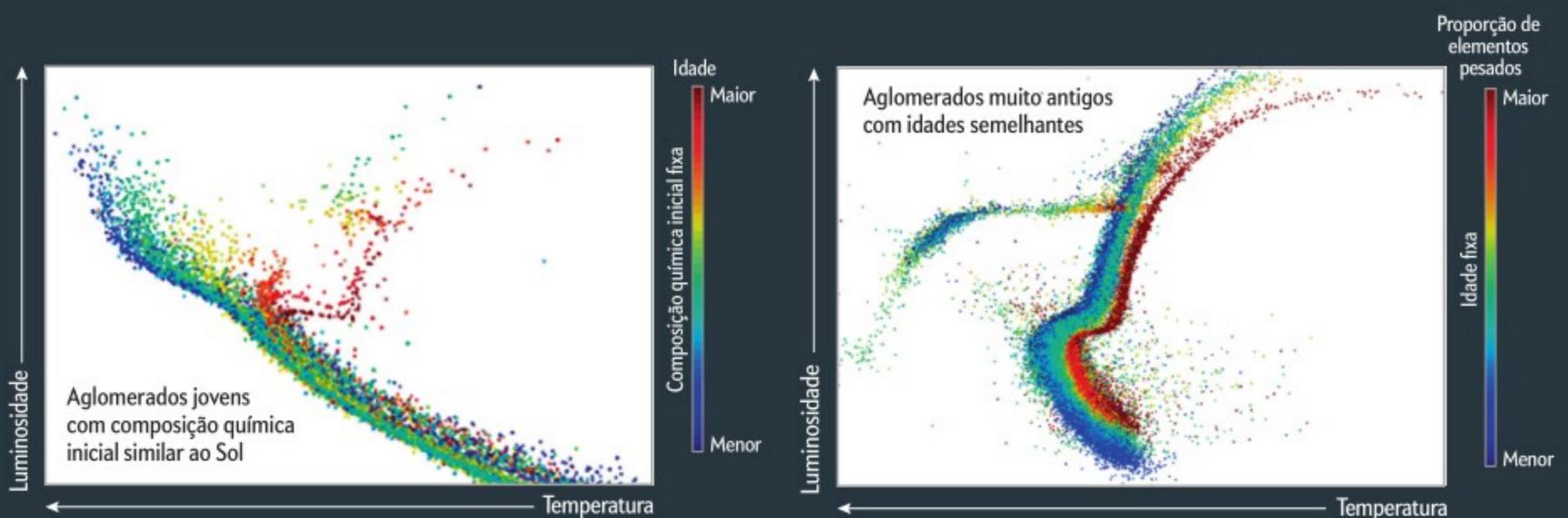
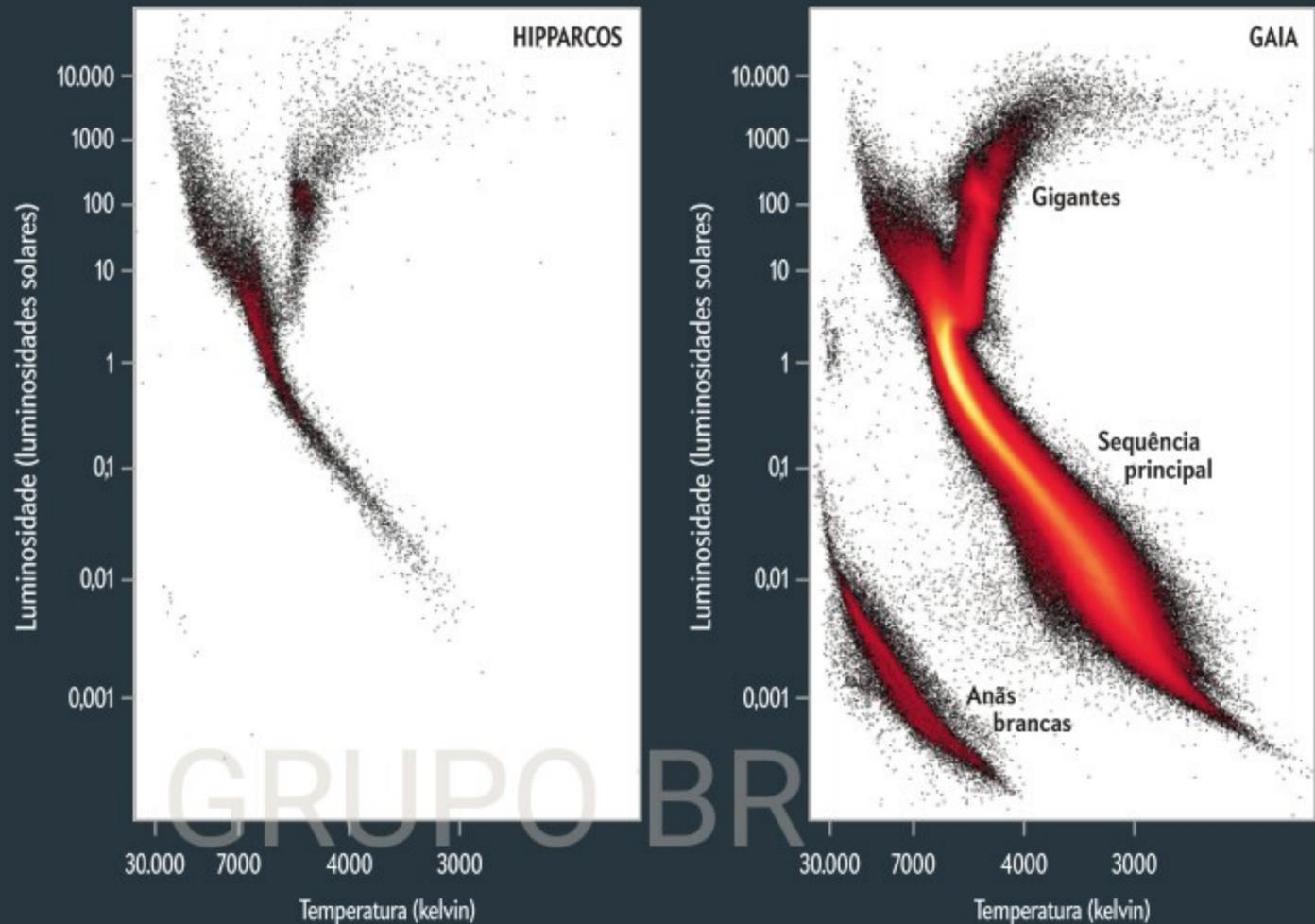
# Um novo olhar sobre a vida das estrelas

**Gaia também está transformando** nosso conhecimento sobre a evolução das estrelas. Uma das ferramentas principais da física estelar é o diagrama de Hertzsprung-Russell: a relação empírica entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura. A partir do diagrama, os astrônomos podem testar os modelos de evolução estelar. A enorme quan-

tidade de estrelas estudadas pelo Gaia permitiu reconstruir o diagrama de Hertzsprung-Russell com detalhes inéditos (*gráficos superiores*). Ele já revelou a existência de algumas populações estelares não previstas até agora e permitiu analisar em separado um grande número de aglomerados estelares conhecidos (*gráficos embaixo*).

## O MAIOR CENSO ESTELAR DA HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

Gaia permitiu elaborar o diagrama de Hertzsprung-Russell com os dados empíricos de 4.276.690 estrelas (*direita*). A escala de cor representa a quantidade de estrelas identificadas em cada zona do diagrama (*da menor para a maior: preto, vermelho, laranja, amarelo*). No ramo das anãs brancas, a subestrutura do novo diagrama revelou a existência de uma população estelar até agora desconhecida, com uma massa igual a 0,8 da massa solar. Só para comparação, o diagrama de Hertzsprung-Russell obtido pela missão Hipparcos (*esquerda*) se baseou no censo de aproximadamente 20 mil estrelas.



## CÚMULOS ESTELARES

Um aglomerado estelar é um agrupamento de estrelas formadas a partir de uma mesma nuvem de gás e poeira, por isso elas compartilham a mesma idade e composição química inicial. Pela primeira vez, Gaia permitiu obter diagramas empíricos e precisos para uma infinidade de aglomerados. Eles podem ser representados em função da idade (*esquerda*) ou em função de sua composição química inicial (*direita*). Esses dados inéditos oferecem uma possibilidade, até agora inexplorada, para melhorar os modelos de estrutura e evolução das estrelas.

Em particular, a exuberância de dados do último catálogo está preenchendo várias lacunas de nosso conhecimento sobre a estrutura e a evolução das estrelas.

Uma das ferramentas mais importantes no estudo da física estelar é o diagrama de Hertzsprung-Russell (HR). Criado há mais de um século de forma independente por Ejnar Hertzsprung e por Henry Norris Russell, o diagrama representa a relação empírica entre a temperatura e a luminosidade das estrelas, dois parâmetros que variam desde o nascimento até a morte de uma estrela. Quando observamos uma estrela e medimos suas propriedades, sua posição no diagrama HR é dada principalmente por sua idade, e por sua massa e composição química iniciais. Mas até o momento dispúnhamos só de dados parciais de algumas etapas da vida das estrelas, correspondentes a zonas concretas do diagrama HR. Gaia transformou esse cenário. As distâncias estelares medidas pelo satélite permitem transformar as magnitudes aparentes (o brilho que observamos da Terra) em absolutas (sua luminosidade intrínseca). Isso permite posicionar as estrelas no diagrama com tal precisão que começamos a ver detalhes nunca notados.

Foi possível compor um diagrama HR com mais de quatro milhões de estrelas, apenas usando aquelas cujos dados disponíveis são mais precisos. Só para comparar, o diagrama elaborado a partir dos dados de Hipparcos incluía as propriedades de cerca de 20 mil estrelas. Os novos dados revelam claramente diversas populações estelares, entre as quais se destacam as estrelas da sequência principal (aquelas que, como o Sol, ainda estão fundindo hidrogênio), as estrelas gigantes (que já atingiram a etapa de fusão de hélio) e as anãs brancas (resíduos estelares compactos que sobram quando uma estrela similar ao Sol esgotou seu combustível nuclear).

Anãs brancas são abundantes, mas difíceis de detectar, pois emitem pouca luz. Sua função de luminosidade (o número delas em relação à luminosidade) e sua função de massa (o número delas em relação à sua massa) fornecem informação sobre a história da formação estelar da galáxia. Até agora, os estudos mostravam uma clara concentração de anãs brancas com 0,6 massas solares, bem como um pico com 0,4 massa solar. Mas o diagrama HR obtido com os dados de Gaia revela a existência de uma população até agora não prevista pelos modelos, ao redor de 0,8 massa solar. Por enquanto, essa subpopulação de anãs brancas descoberta pela Gaia precisa de uma explicação satisfatória.

Por tratar-se de objetos com uma origem comum, as estrelas de um aglomerado, como já mencionamos, compartilham a idade e a composição química inicial. Ao mesmo tempo, cada uma delas evolui de acordo com o ritmo ditado por sua massa. Se representarmos a temperatura e a luminosidade de todas as estrelas pertencentes a um mesmo aglomerado num diagrama HR, obteremos uma “isócrona”: um instantâneo das propriedades de um conjunto de estrelas com a mesma idade. Portanto, comparando as isócronas de aglomerados com diferentes idades, podemos cotejar os dados com os modelos de evolução estelar. Essa é a primeira vez que dis-

posomos de isócronas empíricas e precisas para uma grande quantidade de aglomerados. Não há dúvida de que esse material valioso contribuirá para melhorar significativamente os modelos de estrutura e evolução das estrelas.

## MAIS ALÉM DA VIA LÁCTEA

Os dados de Gaia são também preciosos para o estudo do halo externo e das vizinhanças da Galáxia. A análise de estrelas de cerca de metade dos aglomerados globulares (agrupamentos de estrelas que orbitam em torno do centro galáctico), em todas as galáxias esferoidais vizinhas conhecidas e nas nuvens de Magalhães (duas galáxias satélite da Via Láctea) permitiu calcular seus movimento com precisão inédita.

O estudo das superdensidades estelares no halo externo revela, pela primeira vez, um mapa cinemático e estrutural de filamentos estelares da Via Láctea em todo o céu. Existe uma rica rede de filamentos entrecruzados, muitas vezes, com uma coerência cinemática surpreendente. Várias dessas estruturas foram descobertas recentemente. O mapa reforça o cenário de que a Via Láctea passou por vários eventos de fusão e acreção de galáxias menores.

As órbitas das galáxias esferoidais anãs vizinhas não compartilham o mesmo plano orbital, embora todas mostrem uma grande inclinação em relação ao disco galáctico. Em algumas foram observadas assimetrias e, possivelmente, efeitos de maré. A análise do movimento dessas galáxias satélites também permite estimar a massa da Via Láctea. Se supusermos, por exemplo, que a galáxia anã Leo I está gravitacionalmente ligada à nossa, podemos calcular para a Via Láctea uma massa de aproximadamente  $9,1 \times 10^{11}$  massas solares.

O que nos reserva o futuro? A duração prevista da missão era até julho de 2019, com possível prorrogação de um ano. Hoje, a ESA já aprovou a prorrogação da missão até o final de 2020 e considera estendê-la mais cinco anos. Observar uma estrela por um período maior permite determinar com mais precisão seu movimento. Além disso, permite detectar os desvios em relação a uma trajetória retilínea, o que, nesse caso, indicaria que a estrela não está só, mas acompanhada por outro objeto, que pode ser outra estrela ou um planeta.

A próxima liberação de dados está prevista para 2020. Esse catálogo deverá melhorar os dados do atual e incluir informação nova: a classificação de alguns dos objetos observados nas estrelas, galáxias e quasares, as temperaturas, forças gravitacionais, composição química e outras propriedades de uma grande variedade de estrelas, e as órbitas precisas de corpos do Sistema Solar. A comunidade astronômica pode regozijar-se: o conjunto de dados de Gaia deste, e dos próximos arquivos, deverá mantê-la ocupada por décadas. ■

## PARA CONHECER MAIS

**The merger that led to the formation of the Milky Way's inner stellar halo and thick disk.** Amina Helmi et al. em *Nature*, vol 563, págs. 85-88, outubro de 2018.

**A dynamically young and perturbed Milky Way disk.** Teresa Antoja et al., em *Nature*, vol 561, págs. 360-363, setembro de 2018.

Informação sobre o segundo catálogo de Gaia: [www.cosmos.esa.int/web/gaia/data-release-2](http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/data-release-2)  
Arquivo da missão Gaia: [gea.esac.esa.int/archive](http://gea.esac.esa.int/archive).