

SUPERAGLOMERA

Quando se lançaram na aventura de desbravar o universo, os astrônomos sentiram desconforto semelhante ao enfrentado pelos antigos navegadores: mapas pouco precisos. Para navegar com segurança pelo cosmo – até para entender sua origem, constituição e forma –, seria preciso desenvolver um trabalho de cartografia mais confiável, com indicadores geográficos das regiões onde a matéria se encontra.

Nessa busca por marcos cósmicos, o homem mapeou planetas, estrelas e galáxias. Notou, com surpresa, que estas se aglutinavam na forma de grupos ou aglomerados. Mais recentemente, os astrônomos perceberam – não sem igual surpresa – que os próprios aglomerados, em grupos de dezenas, podem formar estruturas ainda mais gigantescas, que chegam a centenas de milhões de anos-luz de extensão.

São os superaglomerados de galáxias. Com suas formas alongadas e permeados por grandes vazios de matéria, são comparados aos esqueletos do universo. Por estarem ainda em processo de formação, os superaglomerados podem revelar detalhes sobre o que aconteceu instantes depois do Big Bang. E o conhecimento de suas dimensões e massas deverá aprimorar os modelos teóricos atuais.

Marcio Antonio Geimba Maia
Observatório Nacional (RJ)

DOS DE GALÁXIAS

OS ESQUELETOS DO UNIVERSO

Olhando o céu noturno, nos deparamos com astros que são conhecidos desde a Antiguidade, como a Lua, os planetas, os cometas e uma miríade de estrelas. Em algumas regiões, também percebemos objetos difusos, as chamadas nebulosas, algumas brilhantes, outras escuras. Essa tessitura foi responsável pela caracterização e construção de modelos para o universo em que vivemos. Com o advento das lunetas e dos telescópios, essa situação mudaria radicalmente.

O primeiro grande paradigma a ser quebrado na astronomia foi o modelo geocêntrico, defendido por Aristóteles (384-322 a.C.) e mais tarde formalizado através de conceitos geométricos por Ptolomeu (87-150 a.C.). Esse modelo, em que a Terra era o centro do que se pensava ser o universo, foi substituído pela concepção heliocêntrica de Nicolau Copérnico (1473-1543), na qual essa posição passou a ser ocupada pelo Sol. ▶

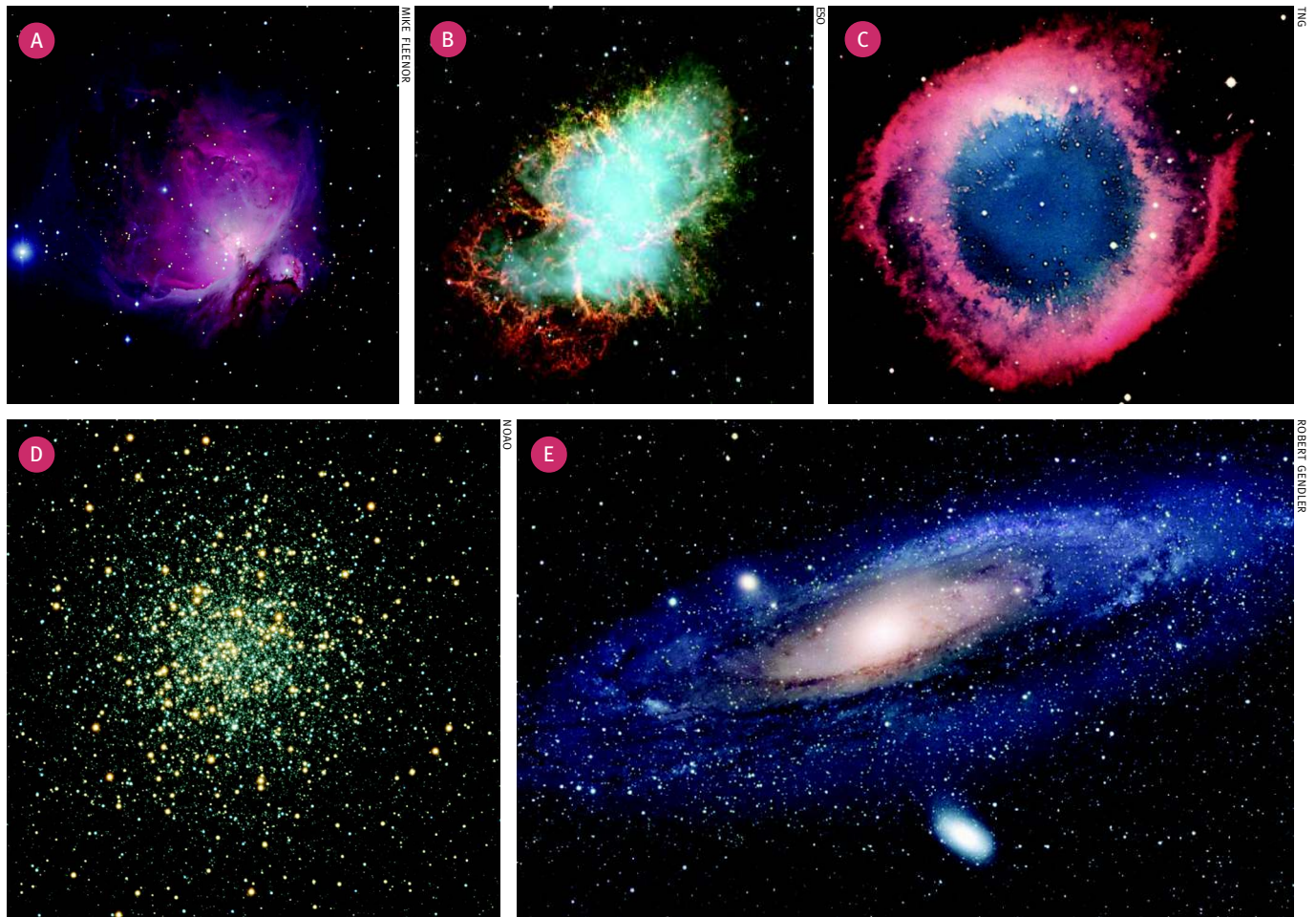


Figura 1. Alguns objetos identificados como ‘nebulosas’ por Charles Messier no século 18. Em A, nebulosa de emissão de Orion (M 42), região rica em gás e poeira com intensa formação estelar. Em B, restos da supernova do Caranguejo (M 1), resultado da explosão de uma estrela. Em C, nebulosa planetária do Anel (M 57), produzida pela perda de camada externa de uma estrela durante a fase chamada gigante vermelha. Em D, aglomerado globular de estrelas M 3, conjunto com milhares de estrelas que se formaram simultaneamente a partir de uma única nuvem de poeira e gás. Em E, galáxia de Andrômeda (M 31), galáxia do tipo espiral bastante similar à Via Láctea

Universos-ilhas

O astrônomo francês Charles Messier (1730-1817) produziu, com auxílio de um telescópio, em 1784, um catálogo com pouco mais de uma centena de nebulosas vistas no céu. Mais da metade dos objetos identificados eram nebulosas pertencentes à Via Láctea (galáxia que abriga o sistema solar) que estavam associados a:

- i) aglomerados globulares e abertos (conjuntos de estrelas);
- ii) nebulosas planetárias (estrelas que ejetam parte de seu material em uma fase de sua vida);
- iii) nebulosas difusas (nuvens brilhantes de gás);
- iv) e até a uma remanescente de uma estrela supermaciça que explodiu no final da vida (fenômeno denominado supernova).

O restante das nebulosas de Messier eram objetos que só um século e meio mais tarde seriam identificados como galáxias (figura 1). O filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) e o astrônomo e filósofo inglês Thomas Wright (1711-1786) propuseram que as nebulosas identificadas por Messier seriam sistemas estelares semelhantes à Via Láctea, criando o conceito de universos-ilhas.

Foi no final da década de 1920 que o astrônomo norte-americano Edwin Hubble (1889-1953) conseguiu demonstrar que algumas dessas nebulosas são sistemas estelares externos à Via Láctea. Com o subsequente estudo sistemático das galáxias, descobriu-se que elas têm uma grande variedade de formas, conteúdo diversificado de estrelas e gás, além de tamanhos diversos. Também se notou que as galáxias não se encontram homogeneamente distribuídas. Elas costumam se asso-

ciar, formando conjuntos de poucas galáxias (os chamados grupos) até sistemas com milhares de objetos – estes últimos sendo denominados aglomerados de galáxias.

Procuraremos descrever o universo, bem como entender sua origem e evolução até os dias de hoje, usando como pano de fundo esses conjuntos gigantes, os aglomerados de galáxias, e a associação destes em estruturas ainda maiores, os superaglomerados de galáxias (figura 2).

Cabeleira de Berenice

Foi o próprio Messier quem constatou com um telescópio uma concentração de nebulosas na direção da constelação de Virgem. Essa foi a primeira vez que se identificou um aglomerado de galáxias (porém, ainda não se sabia que essas nebulosas eram galáxias).

Um ano depois, o teuto-britânico William Herschel (1738-1822), músico profissional e astrônomo amador dotado de grande habilidade para construir telescópios, comentou: “Impressionante cole-

ção de nebulosas pode ser vista no que eu chamo de substrato nebuloso na Cabeleira de Berenice.”

Mas não seria usando galáxias ou seus aglomerados que ele tentaria descrever o universo. Herschel, usando suas observações e fazendo contagens de estrelas em diversas direções, propôs que “o sistema sideral que habitamos é uma nebulosa comum em aparência igual a muitas outras e que, por sua vez, devem ser externas à nossa”.

Navegar é preciso

Começamos a navegar em nosso universo para compreendê-lo empregando, assim como os primeiros navegadores, mapas pouco precisos. Utilizamos as galáxias e suas associações como indicadores ‘geográficos’ das regiões onde a matéria se encontra. Assim, com esse trabalho de ‘cartografia’, esperamos conseguir elementos para responder a questões do tipo ‘Como o universo se originou?’, ‘Do que está constituído?’, ‘Por que se apresenta da forma como o vemos?’, entre outras tantas. ▶



Figura 2. Aglomerado de galáxias de Hércules, situado a 650 milhões de anos-luz da Terra, região em que podem ser vistas galáxias de diferentes tipos, como as espirais e elípticas. Alguns pares de galáxias apresentam-se em processo de colisão entre si, o que poderá resultar na fusão entre elas. Isso mostra que o caminho evolutivo das galáxias de um aglomerado pode ser diferente daquele das galáxias isoladas. Aglomerados como esses são usados para traçar a distribuição de matéria e identificar superaglomerados de galáxias

Em 1929, Hubble apresentou um dos mais impressionantes resultados da ciência do século passado: o universo está em expansão, com as galáxias se afastando uma das outras com uma velocidade proporcional à distância entre elas. Tomando a Terra como ponto de referência, quanto mais longe estiver uma galáxia de nosso planeta, maior será a velocidade com que ela se afasta dele.

Cerca de meio século depois da descoberta de Hubble, com ajuda dos então mais modernos detectores, mapeou-se a distribuição de galáxias no universo local (dentro de um raio de aproximadamente 700 milhões de anos-luz). Usando a medida de suas velocidades de recessão, podemos determinar suas distâncias, através de uma fórmula simples: $V = H.D$, na qual V é a velocidade de 'afastamento' (ou de recessão), H é a constante chamada constante de Hubble e D é a distância que se quer medir.

Enquanto um grupo de astrônomos – do qual participava o autor deste artigo – executava esse trabalho no hemisfério Sul, outro, liderado por pesquisadores da Universidade Harvard (Estados Unidos), fazia o mapeamento no hemisfério Norte. Foi desses trabalhos de mapeamento que se vislumbrou a maneira como as galáxias estavam distribuídas em grande escala. Mostramos que elas se apresentam em grandes conjuntos, mais ou menos esféricos (os aglomerados), em filamentos e em grupos esparsos. Permeando esses aglomerados, estão regiões completamente despovoadas de galáxias, os chamados vazios (figura 3). A tessitura cósmica começava a ser revelada.

Nos últimos anos, levantamentos de galáxias foram feitos por grandes consórcios de instituições para fazer frente aos vultosos custos desses proje-

tos. Regiões mais profundas do cosmos foram investigadas, mas, essencialmente, a chamada estrutura em grande escala não apresentou novidades importantes. No entanto, esses novos levantamentos permitem colocar vínculos mais precisos nos modelos teóricos que prescrevem a formação e evolução do universo. Outra questão que pode ser abordada com esses levantamentos mais profundos é a da evolução das galáxias, pois a luz que nos chega dos objetos mais distantes foi emitida em uma época em que eles eram mais jovens.

Amigos dos amigos

A definição de um superaglomerado não é rígida. Quase sempre, este é identificado por uma concentração de aglomerados e grupos de galáxias. Para definir seus aglomerados-membros, leva-se em conta uma separação máxima entre um dado aglomerado e seus vizinhos mais próximos. Isso é feito, na prática, através de um programa de computador dotado de uma estratégia de busca denominada amigos dos amigos. Ele é aplicado em um catálogo no qual estão as posições no espaço de aglomerados.

Com esse programa, podemos calcular distâncias entre os aglomerados e definir quem é amigo de quem, passando a formar conjuntos. Procurar por concentrações de aglomerados é o primeiro indício para encontrá-los. Outro fato interessante sobre os superaglomerados: a maior parte de seu volume é vazio em termos de matéria luminosa, de maneira similar ao que acontece com os aglomerados e até com as próprias galáxias.

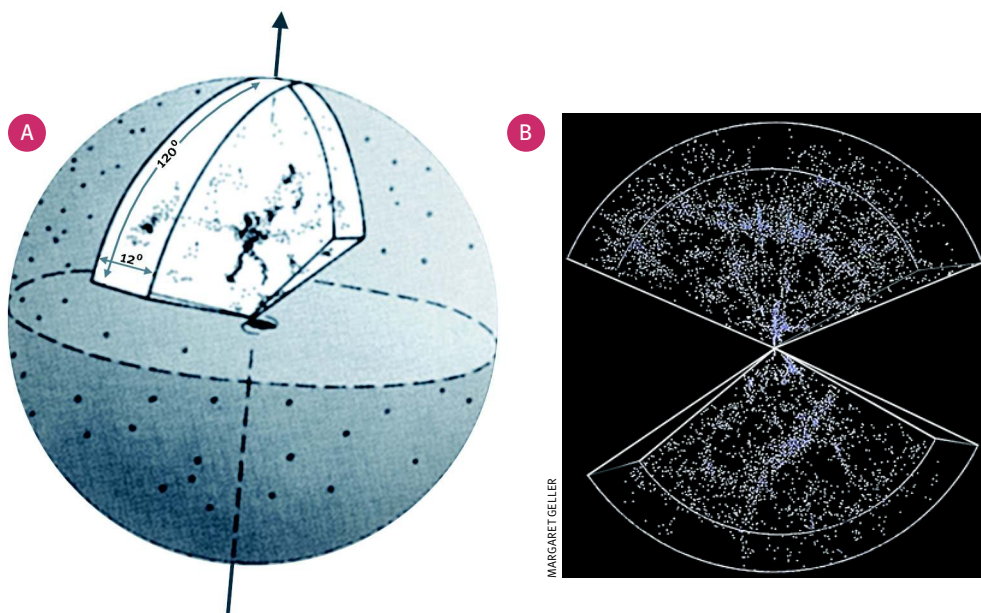


Figura 3. Fatias do universo. Os diagramas em forma de cunha mostram a distribuição de galáxias em duas regiões do céu. Em A, visão de uma fatia do céu mapeada a partir da Terra, que está situada na periferia da Via Láctea. Em B, mapeamento do qual participou o Observatório Nacional, no Rio de Janeiro (RJ). O hemisfério Norte está para cima. Podem-se ver estruturas como filamentos, aglomerados e os 'vazios'.

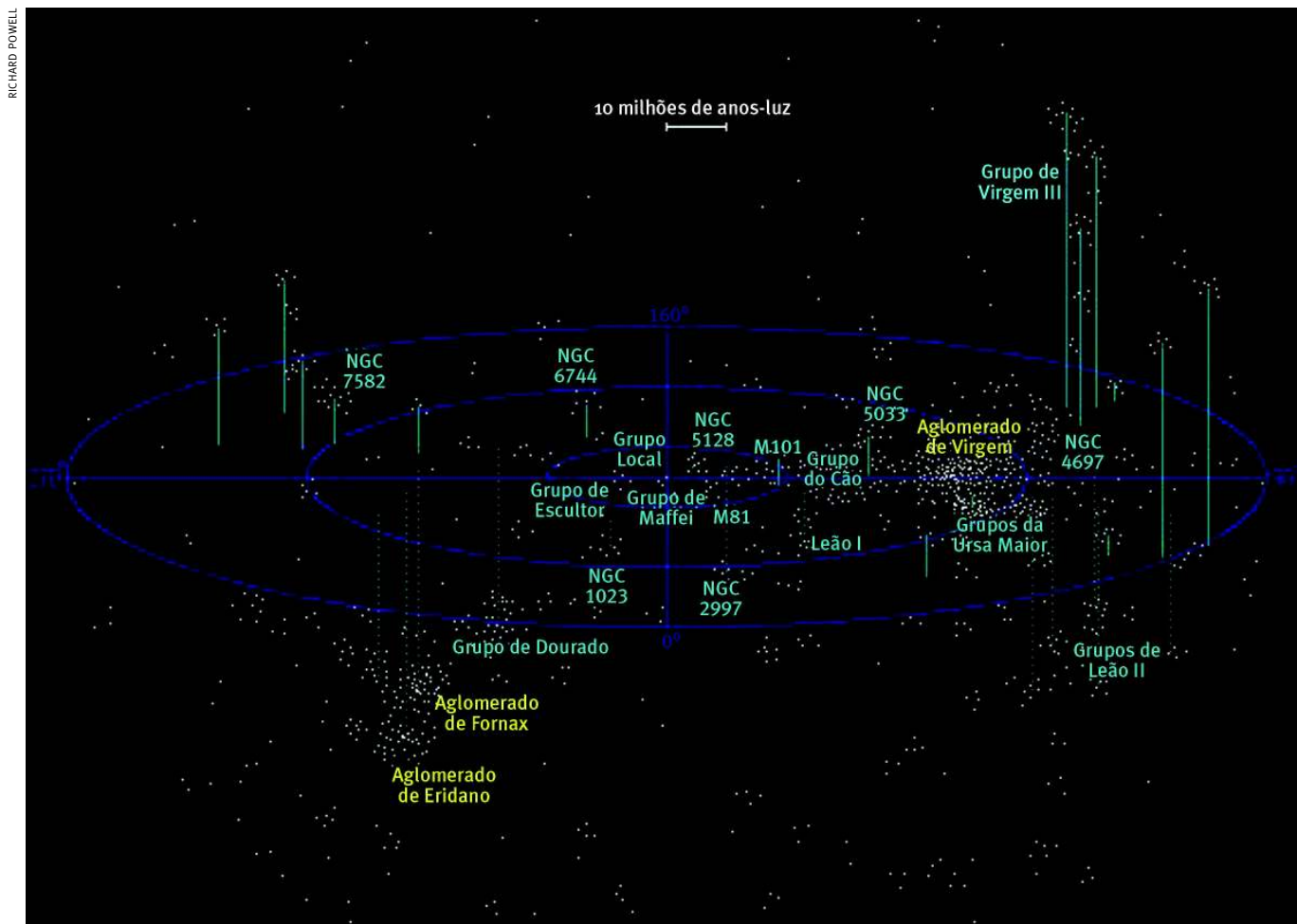


Figura 4. Representação do superaglomerado local de galáxias. A Via Láctea está no centro do diagrama, e cada ponto representa uma galáxia. Os grupos e aglomerados de galáxias (maior concentração de pontos) mais importantes estão indicados. O maior aglomerado é o de Virgem. A sigla inglesa NGC refere-se ao catálogo de galáxias *New General Catalogue*, e a principal galáxia dá nome ao grupo

Fase da puberdade

Sabe-se hoje que a Via Láctea faz parte de um agrupamento pobre de galáxias. Este, por sua vez, faz parte de uma estrutura maior, o superaglomerado local, uma estrutura que tem uma forma meio achatada, sendo constituída por algo em torno de 400 galáxias brilhantes distribuídas em grupos e aglomerados, além de uma componente mais esparsa.

A dimensão do superaglomerado local é de aproximadamente 100 milhões de anos-luz (cada ano-luz equivale a cerca de 9,5 trilhões de km). Essa estrutura tem um aglomerado rico de galáxias localizado na constelação de Virgem, em direção ao qual a Via Láctea e suas companheiras estão ‘caindo’, atraídas por sua intensa força gravitacional (figura 4).

Os levantamentos mais recentes permitem definir melhor a constituição dos superaglomerados. Podemos dizer que as maiores estruturas encontradas têm tipicamente dimensões da ordem de 400 milhões de anos-luz, contêm dezenas de aglomerados de galáxias, apresentam formas mais ou menos alongadas e por vezes diversas subestruturas. Quase sempre estão conectados a outros superaglomerados (figura 5).

Diferentemente das galáxias, que já estão completamente formadas nos dias de hoje, os superaglomerados ainda estão em processo de formação, assim como boa parte dos aglomerados que os compõem. Entendemos por ‘formação’ a sua maturação dinâmica, que se dá através da sucessiva captura de galáxias de suas vizinhanças, até que o sistema, no futuro, chegue ao equilíbrio dinâmico.

O fato de superaglomerados estarem ainda em sua fase de puberdade é importante, pois eles po- ▶

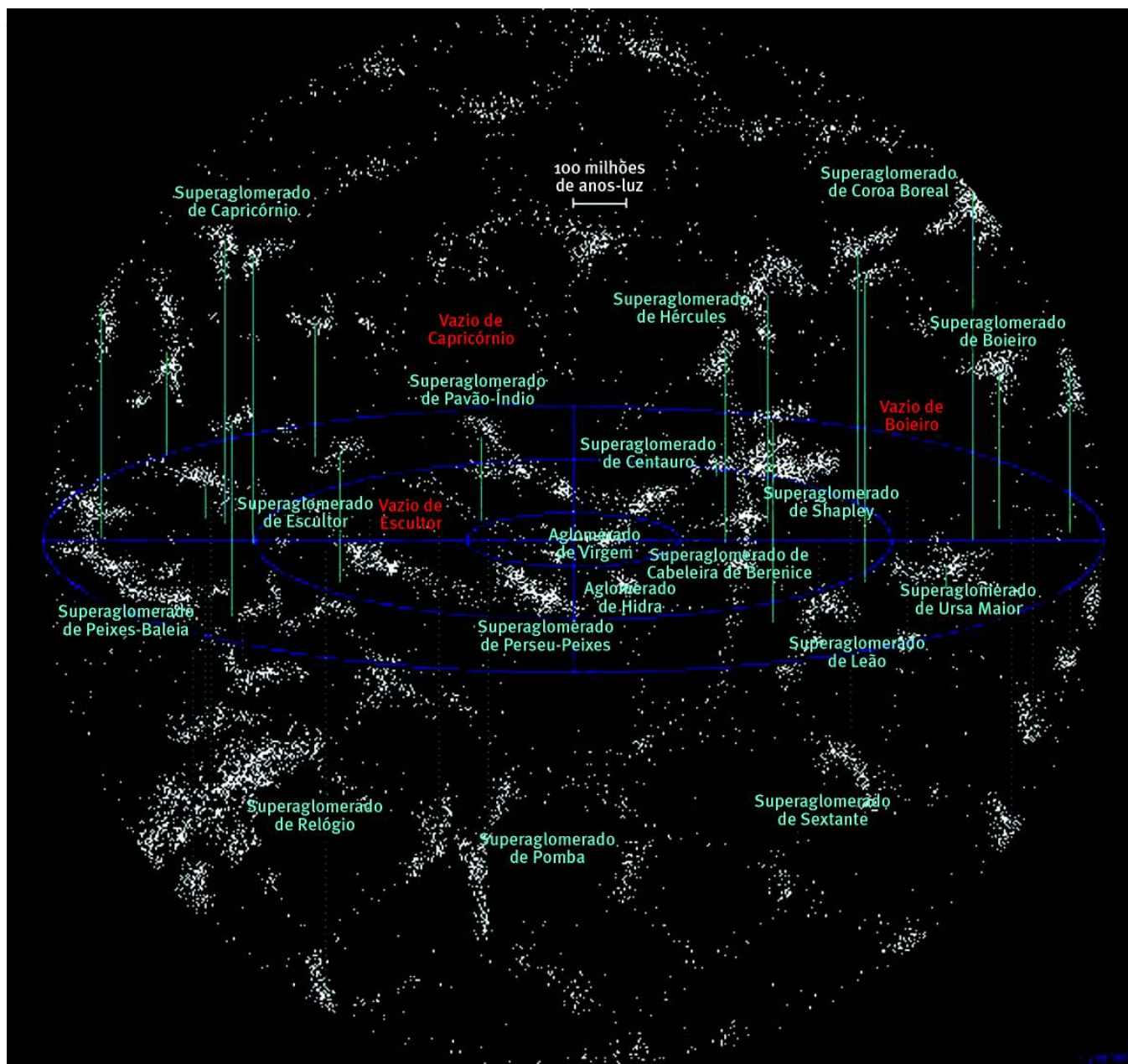


Figura 5. Distribuição dos superaglomerados mais próximos, mostrando, de forma esquemática, os superaglomerados de galáxias dentro de um raio aproximado de 1 bilhão de anos-luz. Estão também representados elementos identificados na figura 3, como vazios e filamentos

dem revelar detalhes sobre os processos físicos envolvidos nos estágios iniciais do universo. O conhecimento de suas dimensões e massas pode impor vínculos importantes aos diversos modelos teóricos atuais.

‘Calorzinho’ primordial

O fato de o universo estar em expansão implica que, em um passado remoto, ele esteve em uma situação extrema, a altíssimas densidades e temperaturas. Esse é o cenário denominado de Big

Bang (grande explosão). A rigor, não houve explosão nenhuma segundo a acepção da palavra usada em nosso dia-a-dia. O universo evoluiu de uma condição muito compacta e densa para as dimensões e estruturas que vemos hoje. O espaço para onde ele se expande não existe *a priori*, ele é criado à medida que vai evoluindo.

Outro fato importante foi a detecção, em 1964, da chamada radiação cósmica de fundo na faixa de microondas por dois pesquisadores dos Laboratórios Bell Telephone, Arno Penzias e Robert Wilson. Essa radiação permeia todo o universo e podemos, de forma bastante aproximada, considerá-la como o ‘calorzinho’ resultante do Big Bang.

Hoje, a temperatura da radiação cósmica de fundo em microondas é de 2,726 kelvin (cerca de 270° celsius negativos). Um objeto ‘aquecido’ a essa temperatura emitiria uma radiação semelhante àquela empregada pelo forno de microondas para aquecer alimentos (daí o nome dessa radiação).

Problema da massa faltante

A radiação cósmica de fundo reflete as condições de uma época em que o universo ainda era muito jovem (cerca de 300 mil anos). As flutuações dessa temperatura medidas na esfera celeste são bastante suaves, da ordem de 1/100 mil, nos contando que em um passado distante o universo tinha uma distribuição de matéria bastante homogênea. Perguntamo-nos, então: como o universo, nascendo com uma homogeneidade surpreendente, conseguiu atingir a distribuição de matéria em grande escala observada hoje? Em outras palavras, como a matéria, inicialmente tão homogênea, se aglutinou gravitacionalmente para formar objetos cósmicos como planetas, estrelas, galáxias etc.?

Uma importante descoberta foi feita pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974). Ao estudar aglomerados de galáxias, ele ajudou a responder essa questão mais tarde. Ao determinar a massa total de vários aglomerados, com base na soma das massas individuais de suas galáxias, ele constatou que, para que as galáxias do aglomerado tivessem o movimento observado, a massa total do aglomerado deveria ser muito maior. Essa constatação deu origem ao chamado ‘problema da massa faltante’.

Matéria escura

Com a investida observacional dos astrônomos em outras faixas do espectro eletromagnético (ondas de rádio, infravermelho, raios X, raios gama), um novo universo se apresentou. Em particular, observações em raios X de aglomerados de galáxias revelaram que estes estão permeados por um gás quente, em uma quantidade até maior que a de matéria contida em suas galáxias. Isso, porém, não era ainda suficiente para explicar a quantidade de matéria faltante dos aglomerados. Propôs-se a existência de um novo tipo de matéria, a matéria escura, que não tem as mesmas propriedades da matéria ordinária, chamada bariônica. O termo

‘escura’ vem do fato de ela não emitir luz (sendo, portanto, ‘invisível’), nem mesmo sofre atração ou repulsão elétricas. Assim, a única maneira de detectá-la é pela força gravitacional que ela exerce sobre os corpos.

A matéria escura é a grande responsável por nossa existência e a do universo na forma em que ele se apresenta. Vejamos como. Já mencionamos que, no início, o universo era extremamente homogêneo. Nele, a matéria escura, a matéria ordinária (bariônica) e as partículas de luz (fótons) conviviam em equilíbrio. Porém, pequenas flutuações na distribuição de matéria, ocorridas em uma fase muito inicial do universo, produziram perturbações (inomegeneidades) na distribuição dessa quantíssima sopa cósmica.

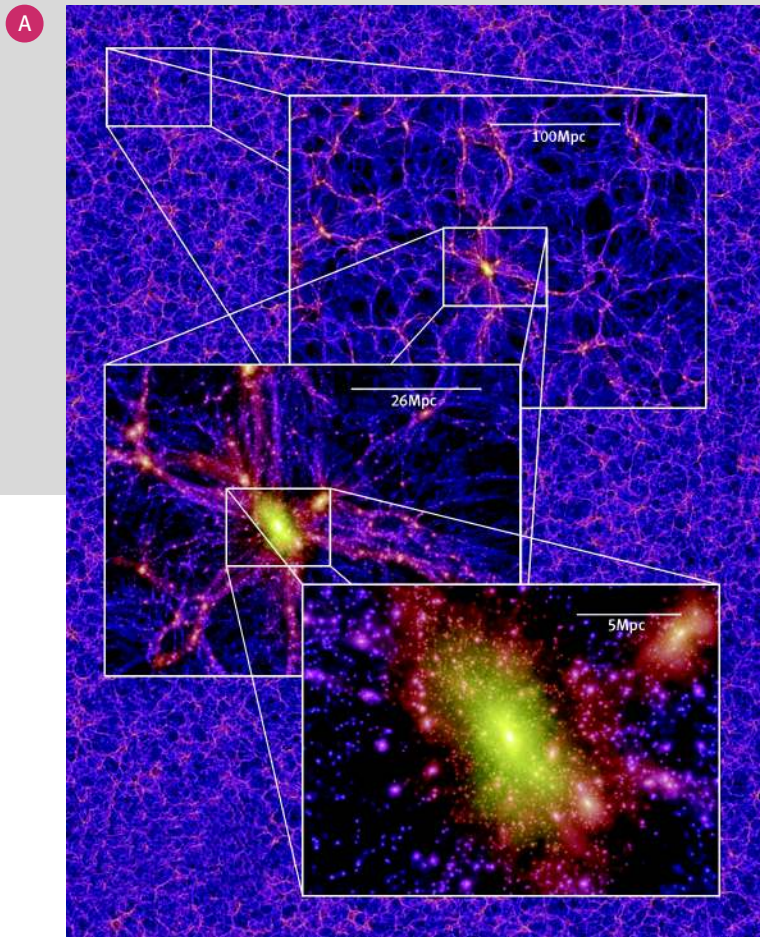
Essas perturbações causavam o aumento e a diminuição da densidade de matéria. Mas essas variações da densidade tendiam a se dissipar por conta das enormes pressões exercidas pela própria matéria e pela luz (radiação). Porém, o mesmo não acontecia com a matéria escura, pois esta não sofria os mesmos efeitos que a matéria bariônica. Assim, essas pequenas ‘sementes’ (condensações) de matéria escura começaram a crescer, agregando mais matéria escura onde existisse uma concentração da mesma. Deu-se assim, o surgimento dos chamados halos escuros (bolsões de matéria escura), locais para onde a matéria normal fluiu, quando o universo ficou mais frio. Só a partir daí, então, iniciou-se o processo de formação das primeiras estrelas e das galáxias.

Portanto, o padrão encontrado nas flutuações da radiação cósmica de fundo (o qual foi produzido nos instantes iniciais do universo, em uma fase em que a matéria ordinária estava começando a se condensar) e as características das estruturas em grande escala observadas hoje estão relacionados. Entre esses extremos, ainda existe todo um processo evolutivo que precisa ser mais bem estudado em seus detalhes.

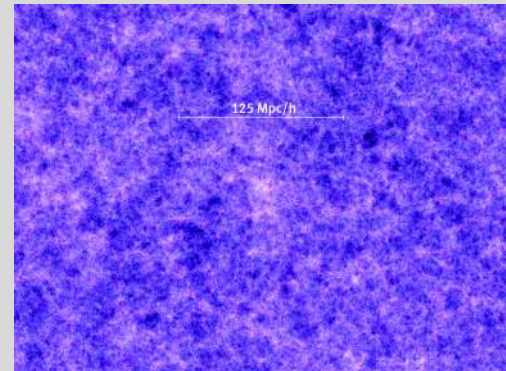
Mundos virtuais

Com auxílio da física, matemática e muita computação, criam-se universos virtuais cuja evolução pode ser estudada. Alguns vínculos são impostos aos modelos com base nos conhecimentos bem estabelecidos de física e de astronomia. Mesmo assim, não sabemos muito sobre os detalhes das condições iniciais do universo. Daí, a necessidade de testarmos uma variedade enorme de possibilidades para conseguir modelos que resultem em um universo que dá certo. ▶

Figura 6. Resultado da Simulação do Milênio. Em A, distribuição atual de matéria escura. Em cada ampliação, a imagem é aumentada de um fator quatro, sendo que 1 megaparsec (1Mpc) equivale a 3,26 milhões de anos-luz. Em B, a seqüência mostra uma fatia do universo com diversas idades, permitindo visualizar a evolução da formação das estruturas traçadas pela matéria escura. Em C, região do universo hoje em dia, evidenciada através da distribuição de matéria luminosa e escura, mostrando que elas estão distribuídas de maneira similar



B



210 milhões de anos

Forças-tarefa

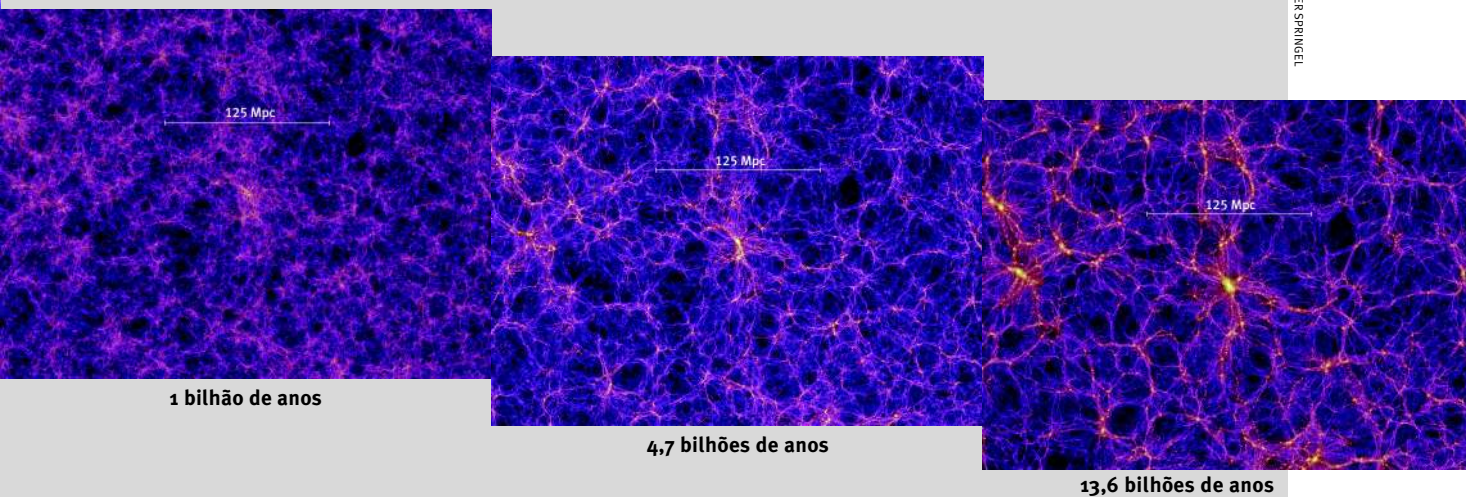
Do ponto de vista teórico, grandes esforços computacionais têm sido realizados para se gerar e fazer evoluir universos desde seus estágios primordiais. Isso requer o uso de supercomputadores com grande capacidade de processamento, sendo necessárias, às vezes, colaborações en-

tre diversas instituições.

Uma dessas forças-tarefa, congregando pesquisadores ingleses, alemães e canadenses, efetuou, no ano passado, uma gigantesca simulação denominada Simulação do Milênio. Para isso, usaram mais de 10 bilhões de partículas para traçar a evolução da matéria em um cubo de 2 bilhões de anos-luz de aresta.

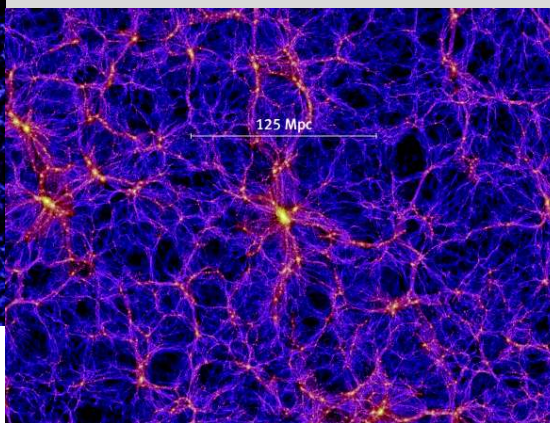
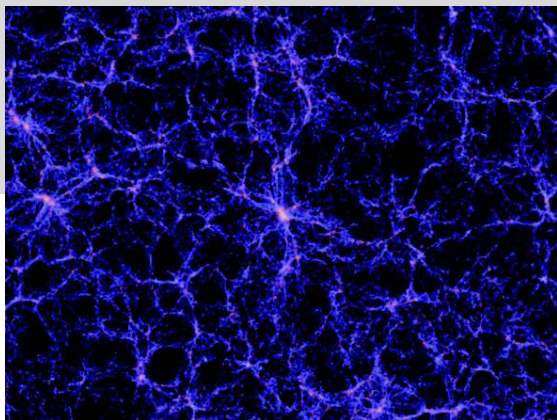
Análises dessa fatia de universo virtual, contendo aproximadamente 20 milhões de galáxias com sua história evolutiva, ainda estão em andamento e servirão para comparar com os resultados dos grandes levantamentos em curso (figura 6).

O 'dar certo' é verificado de forma rigorosa, aplicando-se ferramentas matemáticas e estatísticas relativamente complexas para que possamos estabelecer, de forma objetiva, se as propriedades dos universos virtuais se assemelham às do observado. Entre os parâmetros que podem ser usados nesse processo de comparação está a maneira como as galáxias se distribuem (topologia), como se aglomeram, que tipos de estruturas formam e quais são as dimensões e massas típicas dessas estruturas. Estudar os superaglomerados de galáxias para determinar suas propriedades físicas é a contrapartida da astronomia observacional nesse processo.



Distribuição de matéria luminosa

Distribuição de matéria escura

SUGESTÕES
PARA LEITURA

- SOUZA, R. E. de. *Introdução à cosmologia* (EDUSP, São Paulo, 2004).
- VILLELANETO, T. 'A aventura espetacular da descoberta do universo' in *Ciência Hoje* (vol. 36, nº. 216, p. 20, 2005).
- ABDALLA, M. C. B. e VILLELANETO, T. *Novas janelas para o universo* (Editora Unesp, São Paulo, 2005).
- VIEGAS, S. M. M. e OLIVEIRA, F. de. *Descobrimo o Universo* (Edusp, São Paulo, 2004).

Na internet
Portal da simulação do milênio (em inglês):
<http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/millennium/>

Textos sobre astrofísica e cosmologia (em português):
<http://www.das.inpe.br/curso/ciaa/ciaa.php#materialdocurso>
<http://staff.on.br/maia/>
<http://astro.if.ufrgs.br/>

Do centro à periferia

Com dados obtidos por detectores de última geração a bordo de satélites e telescópios sofisticados, aliados aos conhecimentos teóricos, podemos traçar uma breve história do universo. Ele originou-se há aproximadamente 14 bilhões de anos, expandindo-se violentamente a partir de uma pequena região muito densa e quente.

Mais ou menos a partir da metade de sua idade atual, começou a ter uma expansão positivamente acelerada cuja causa ainda não sabemos. O universo está constituído aproximadamente por 5% de matéria ordinária (bariônica), 25% de matéria escura e 70% de energia escura (esta última responsável por sua expansão acelerada).

Ao longo da evolução da humanidade, partimos de uma concepção em que a Terra reinava soberana no centro do universo, circundada por diversas esferas cristalinas nas quais estavam incrustados os astros (Sol, Lua, planetas e estrelas). Atualmente, sabemos que nosso planeta está situado na periferia de uma galáxia igual a tantas outras. Esta, por sua vez, se encontra nas bordas de um superaglomerado de galáxias sem grande destaque no contexto cósmico.

Em vez de desestimular os astrônomos, esse panorama tem certamente servido de incentivo para a busca de respostas para muitos dos mistérios do universo, entre eles a natureza de 95% de sua matéria constituinte, sobre a qual não temos uma idéia clara. ■