

dial da linguagem cinematográfica. Já o vídeo permite dissimular a noção de começo e fim de um plano, dissolvendo dessa maneira, a unidade espaço-temporal. Mesmo a trucagem cinematográfica mais sofisticada não havia conseguido, até esse momento, criar imagens superpostas com tanta riqueza dramática.

As novas formas de representação correspondem a uma nova relação do ser humano com a realidade. O pensamento contemporâneo está moldado por uma complexidade que o diferencia radicalmente da estrutura de pensamento linear dominante antes da revolução tecnológica. A evolução da informática e o avanço das telecomunicações determinaram uma mudança radical nas relações do homem com seu próprio mundo e, conseqüentemente, consigo mesmo. É necessário estabelecer novos padrões de discussão de conhecimento.

Não podemos mais falar em imagens simples, a imagem-vídeo cria uma nova linguagem, uma **nova forma de utopia** como diz Raymond Bellour (6), capaz de permitir, a partir da integração com outras formas de expressão (cinema, fotografia, pintura), sua organização em um sistema próprio. Podemos dizer, ainda, que está surgindo uma outra espécie de **realismo**, a imagem captada por uma câmera (vídeo ou cinema) não passa de matéria-prima, para posterior manipulação através das técnicas digitais.

Maria Dora Mourão é professora livre-docente do Departamento de Cinema, Rádio e TV da Escola de Comunicações e Artes da USP.

Notas

- 1 David W. Griffith, fundador do cinema narrativo clássico americano realizou entre 1908 e 1913 (Período Biograph) mais de 400 curtas-metragens. Entre 1914 e 1931 realizou 32 longas metragens, dentre eles os mais conhecidos são *Nascimento de uma nação* (- *Birth of a nation* - 1914/1915) e *Intolerância* (*Intolerance* - 1915/1916).
- 2 Irmãos Louis e Auguste Lumière, responsáveis pela invenção do cinematógrafo Lumière (1895), sistema de projeção de filmes, e pela realização do que foi, provavelmente, o primeiro filme de atualidades da história do cinema a ser apresentado publicamente: *A chegada do trem à estação de Ciotat* (*Arrivée d'un train en gare à la Ciotat* - 1895).
- 3 Georges Méliès, realizador que se insere no período do chamado "primeiro cinema", seus filmes cheios de truques e criadores de ilusões são considerados como os precursores do uso de possibilidades cênicas no cinema, em oposição aos irmãos Lumière vistos como os que instituíram o cinema documental. Dentre os seus filmes mais conhecidos, destacamos *Viagem para a lua* (*Le voyage dans la lune* - 1902).
- 4 André Bazin, crítico de cinema e um dos criadores da célebre revista *Cahiers du Cinema* desenvolveu entre os anos 40 e 50, em palestras e artigos, um pensamento sobre a história do cinema, principalmente a partir da análise de filmes e de uma reflexão crítica sobre a montagem cinematográfica. Ver *O cinema - Ensaios* de André Bazin, Editora Brasiliense, São Paulo, 1991.
- 5 Sergei M. Eisenstein, um dos mais importantes realizadores da história do cinema, representante maior da vanguarda soviética no período da revolução socialista, sistematiza uma teoria com o objetivo de demonstrar que a montagem se impõe como princípio de linguagem cinematográfica. Não a montagem do ponto de vista técnico, mas como princípio que rege a construção de um filme. Destacamos dentre seus filmes, *Encouraçado Potemkin* (1925). Ver *A forma do filme e O sentido do filme* de Sergei Eisenstein, Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 1990.
- 6 Raymond Bellour, crítico e teórico francês, um dos fundadores da revista de cinema *Traffic*, além de ser brilhante na análise de filmes, destaca-se pela reflexão sobre o surgimento do vídeo e as novas formas de arte como a instalação e o CD-Rom. Ver *Entre-imagens: foto, cinema e vídeo* de Raymond Bellour, Papirus Editora, São Paulo, 1997.

CRONOS E COSMOS

Amâncio Friaça

No ensaio *A flor de Coleridge* (1), Jorge Luis Borges faz a pré-história do *The time machine*, concluído por H.G. Wells em 1894. A primeira versão deste romance surgiu sete anos antes, em 1887, com o título de *The chronic argonauts*, onde *chronic*, assinala Borges, tem o valor de **temporal**. De fato, em cosmologia contemporânea temos uma sensação análoga à dos argonautas ao saírem do porto, desta vez como crono-argonautas, rumo à Cólquida das origens do Universo.

Já é trivial afirmar-se que a estrela que vemos, bem pode não estar mais lá. As distâncias sempre são tão grandes em astronomia, que a própria luz, mesmo propagando-se a 300 mil km/s, tarda anos ou séculos para chegar de uma estrela até nós. Daí falarmos em distâncias-tempo, como o ano-luz, a distância percorrida pela luz em um ano, ou seja, 9,46 trilhões de km. No caso de uma estrela, ela provavelmente está lá, pois o seu tempo de vida é, no mínimo, alguns milhões de anos e as estrelas mais distantes que observamos a olho nu estão, no máximo, há algumas centenas de anos-luz de nós, isto é, a luz viajou durante algumas centenas de anos desde que partiu daquela estrela. Neste prazo, ridiculamente curto segundo o cronômetro da evolução estelar, seria uma improbabilidade a morte gloriosa de uma estrela. (2)

Porém, muito além do nosso quintal das estrelas visíveis a olho nu, no reino das galáxias extremamente remotas, a situação é radicalmente diferente. Para observações de galáxias mais distantes, tão longínquas que a luz viajou vários bilhões de anos até nos alcançar, estrelas já teriam morrido e galáxias se transformado durante a jornada da luz até nós. Porém, mais fascinante do que isso, estaríamos vendo um universo que não é o mesmo que aquele de hoje em dia. Isto porque o Universo tem uma idade! Se o Universo tem uma idade entre 13 e 20 bilhões de anos, quando fazemos uma observação muito profunda mergulhamos no passado e estaremos vendo o Universo quando era jovem. Tomando alguns números como exemplo: se o tempo de viagem da luz até uma galáxia muito distante é de 10 bilhões de anos e a idade do Universo é de 13 bilhões de anos, estaremos vendo aquela galáxia imersa em um Universo com 3 bilhões de anos, cerca de um quarto da idade que tem hoje. As galáxias mais distantes permitem que sondemos o nosso passado mais remoto. Elas permitem que façamos um retrato do Universo quando jovem.

Alexandre Koyré identifica a revolução galileiana, que fundou a ciência clássica, com a geometrização do mundo e a destruição do cosmos. (3) De fato, nos quase três séculos desde Galileu até o princípio do século XX, não se fez cosmologia plenamente dentro do programa de matematização do real. O Universo não é visto como um Cosmos com níveis de organização, mas sim como uma repetição monótona *ad infinitum* de uma porção local. Paralelamente, a dimensão temporal foi retirada das considerações sobre o Universo. O cotidiano também é estendido indefinidamente, tanto em direção ao passado, como em direção ao futuro. Não faria sentido falar em origens, em uma idade do Universo. O tempo só foi re-introduzido nas considerações do Universo em 1917, quando Einstein

aplicou a Teoria da Relatividade Geral, recém-desenvolvida em 1915, na construção das suas equações cosmológicas. (4)

Contudo, Einstein estava imerso numa ambiência cultural que ecoava Aristóteles ao negar uma origem no tempo para o Universo. Assim, o primeiro Universo modelo que Einstein propôs era estático e fechado. Esta não era uma tarefa banal. A matéria exerce uma onipresente força gravitacional que arrasta o Universo para o colapso sob o seu próprio peso. Mesmo Newton já havia percebido a possibilidade do colapso gravitacional do Universo. Em 1717 escreveu no *Astronomical principles of religion* que “à menos que um Poder Miraculoso se interponha para impedi-lo”, as estrelas “se aproximarão cada vez mais do Centro comum de toda a sua Gravidade” e “em um Número suficiente de Anos, encontrar-se-ão no mesmo Centro comum, promovendo a inteira Destruição de todo o Universo”. (5) Talvez por horror, Newton evitou calcular o tempo para o colapso gravitacional. Em 1902, William Thomson (Lord Kelvin) fez o primeiro cálculo de colapso gravitacional. Considerando um sistema esférico (por exemplo, uma nuvem de estrelas) sob a ação do seu próprio peso, o tempo de colapso dependeria apenas da densidade n do sistema e da constante da gravitação G , através da expressão $t_{col} = (3\pi/32Gn)^{1/2}$. Se cada estrela do tipo do Sol ocupar uma esfera com 10 anos-luz de raio, o tempo de colapso será de 90 milhões de anos.

Assim, em seu modelo cosmológico de 1917, para evitar o irresistível colapso gravitacional e manter o seu Universo estático, Einstein introduziu a sua famosa constante cosmológica Λ . O termo Λ representaria uma força repulsiva universal em oposição à força atrativa da gravitação. A grande dificuldade é que seu valor teria que ser sintonizado com precisão completa para que o Universo permanecesse estático, em perfeito balanço entre a atração gravitacional e a repulsão devida a Λ . Contudo, as equações cosmológicas de Einstein admitiam outras soluções além do seu Universo estático e que evitariam o colapso. Em 1922, o matemático russo Alexander Friedmann desenvolveu modelos cosmológicos sem constante cosmológica. Nestes modelos, o colapso seria evitado se o Universo estivesse em expansão no momento atual. Se a taxa de expansão fosse superior a um valor determinado pela densidade média do Universo, ou, vice-versa, se a densidade fosse inferior a uma densidade crítica calculada com base na taxa de expansão, o Universo seria desacelerado, porém, jamais reverteria a sua expansão em colapso, mas continuaria a se expandir para sempre. No fim da década, o modelo de Friedmann encontra a sua confirmação espetacular na descoberta da expansão do Universo.

Em 1929, Edwin Hubble descobre em Monte Wilson a expansão do Universo, o primeiro dos pilares da Cosmologia moderna. Hubble verificou que as galáxias distantes estão todas se afastando da nossa galáxia. E mais, a velocidade de recessão é proporcional à distância da galáxia até a nossa galáxia, o que é conhecido como a **lei de Hubble**, $v = H_0 d$, onde v é a velocidade de recessão, d , a distância, e H_0 é a chamada constante de Hubble. Esta descoberta pôde ser compreendida dentro do modelo cosmológico de Friedmann. Em cada ponto do Universo, o observador veria o restante do Universo expandindo-se em torno dele, sendo que a velocidade de expansão seria, em primeira aproximação,

proporcional à distância entre o observador e o ponto sob a mira deste. E a densidade crítica, acima da qual o Universo reverteria a sua expansão em colapso, é escrita em termos da constante de Hubble como $n_c = 3H_0^2/8\pi G$. O valor bem-aceito atualmente de $H_0 = 70$ km/s/Mpc (um Mpc, megaparsec, é igual a 3,26 milhões de anos-luz) implica um valor de $n_c = 2,3 \times 10^{-30}$ g/cm³, equivalente a 1,4 átomos de H por m³. Além disso, a geometria do espaço é determinada pelo valor da densidade do Universo, pois a Teoria da Relatividade Geral comporta geometrias não-euclidianas. Nelas, por exemplo, os ângulos de um triângulo não somam 180°, como na familiar geometria plana de Euclides. Se a densidade média do Universo for inferior à densidade crítica, a geometria será hiperbólica (soma dos ângulos de um triângulo inferior a 180°), caso seja maior, será esférica (soma dos ângulos de um triângulo superior a 180°). Uma densidade igual à densidade crítica implica uma geometria plana (euclidiana). Além disso, dada a identidade massa-energia da Teoria da Relatividade, a densidade crítica é também uma densidade de energia.

O modelo de Friedmann não necessitava termo cosmológico, pois bastaria considerar-se a expansão do Universo para evitar o seu colapso. Além disso, nada impedia que o Universo apresentasse uma densidade média superior à densidade crítica, o que levaria ao seu futuro fim em um colapso cósmico. Assim, em 1931, Einstein declarou que a constante cosmológica foi a sua maior **besteira** (*grösste Eselei*).

Contudo, no drama cósmico, temos reviravoltas o tempo todo. Em 1998, a constante cosmológica foi ressuscitada pelas observações da expansão do Universo, reveladas pelas observações de supernovas distantes realizadas por duas equipes de astrônomos (6). Não só o Universo estava em expansão, o que se sabia desde o tempo de Hubble, mas, surpresa! a expansão é acelerada. Ora, a gravidade, que é a única força que comparece no modelo de Friedmann, só desacelera. Portanto,

havia necessidade de um termo de aceleração, que é exatamente o que Einstein havia proposto em seu termo cosmológico. E mais, enquanto que na proposta original de Einstein, a constante cosmológica equilibrava a atração gravitacional, agora, a aceleração observada implica que o termo cosmológico domina sobre o termo gravitacional. Para sermos mais precisos, temos a seguinte receita para o Universo: energia escura (responsável pela repulsão universal), cerca de 70 % da densidade crítica; matéria (responsável pela atração gravitacional), 30 % da densidade crítica.

A expansão do Universo tem profundas conseqüências. Podemos reverter a sua expansão se olharmos em direção ao passado. Haverá um momento no passado em que o Universo que conhecemos está concentrado em um ponto. Contra o pensamento clássico, portanto, o Universo tem uma origem, o Universo tem uma idade! A dimensão temporal é introduzida na descrição do Cosmos como um todo. O Universo tem uma história. Dado um modelo cosmológico, podemos estimar a idade do Universo a partir de H_0 , a constante de Hubble. H_0 é uma taxa de expansão (velocidade/distância) então o seu inverso, H_0^{-1} , é um tempo, o chamado tempo de Hubble (para $H_0 = 70$ km/s/Mpc, o tempo de Hubble é de 14 bilhões de anos). Nos modelos de Friedmann, a expansão universal está sempre em desaceleração, o que implica que a idade do Universo

**CONTRA O
PENSAMENTO
CLÁSSICO,
O UNIVERSO
TEM UMA
ORIGEM,
TEM UMA
IDADE!**

é sempre menor do que o tempo de Hubble. Ora, as idades dos aglomerados globulares mais antigos da galáxia são da ordem de 13 bilhões de anos, e, portanto, o Universo deve ser mais antigo do que isso. Se considerarmos o modelo padrão de Friedmann, em que a densidade do Universo é exatamente igual à densidade crítica, temos uma séria discrepância, já que a idade do Universo é $t = 2/3 H_0^{-1}$, ou seja, 9,3 bilhões de anos. Neste caso, também a **ressurreição** da constante cosmológica vem a calhar, pois ela tende a tornar o Universo mais antigo. Assim, com a nossa **receita** para o Universo, energia escura = 70% da densidade crítica + matéria = 30% da densidade crítica, a idade do Universo é 13,5 bilhões de anos (7).

Falamos de distâncias (10 bilhões de anos-luz) e de idade do Universo (13 bilhões de anos), mas, na realidade, não conhecemos diretamente nem uma coisa nem outra. Por um lado, a idade do Universo é uma das quantidades fundamentais que procuramos saber dentro dos estudos de cosmologia. Por outro lado, as distâncias perdem o significado habitual quando fazemos observações profundas. Em virtude da descrição do Universo, como um todo, exigir a Teoria da Relatividade Geral, que comporta geometrias não-euclidianas e um espaço não-estático, as diversas definições de distância, coincidentes em um cosmos estático e euclidiano, divergem entre si. A distância, qualquer que seja a sua definição, depende de um laborioso construir que envolve graus diversos de incerteza, e, no caso da astronomia extragaláctica, um grande número de passos intermediários. Envolve, também, eleger algum padrão intrínseco para o objeto observado, quer seja fotométrico, como a luminosidade de supernovas de tipo Ia, para determinar a distância luminosidade, quer seja métrico-linear, como a separação de radiofontes, para determinar a distância diâmetro angular (8).

No caso da expressão original da lei de Hubble, trata-se da distância-luminosidade, isto é, a que relaciona a luminosidade do objeto (energia emitida por unidade de tempo) e o fluxo medido pelo observador (energia por unidade de tempo e por unidade de área). Como seria de se esperar, a distância-luminosidade (dada pela razão entre a luminosidade e o fluxo) aumenta para objetos cada vez mais distantes, ou seja, o fluxo emitido por uma galáxia diminui para objetos mais distantes. Um outro tipo de distância é medida pela razão entre o diâmetro linear do objeto observado e seu diâmetro angular, isto é, o ângulo cujo vértice é o observador e os lados que atingem as extremidades opostas do objeto observado. Em um Universo plano e estático, quanto mais distante a galáxia, menor seu diâmetro angular. Entretanto, no Universo em expansão, em um total desafio ao bom senso euclidiano, o diâmetro angular aparente primeiro diminui com a distância e depois volta a crescer! No caso do nosso Universo predileto (energia escura = 70% da densidade crítica + matéria = 30% da densidade crítica), o diâmetro angular mínimo ocorre para o *redshift* $z=1,59$.

Retornando à lei de Hubble, o que é a velocidade que lá comparece? Na realidade, o que observamos não é a velocidade, mas o chamado *redshift*, normalmente denotado por z . *Redshift*, ou desvio para o vermelho, é uma medida do aumento do comprimento de onda da emissão eletromagnética quando a fonte se afasta do observador. Sua definição é $z = (L -$

$L_0)/L_0$, onde L é o comprimento de onda observado e L_0 é o comprimento de onda em repouso (também chamado de comprimento de onda de laboratório) da emissão considerada. O comprimento de onda de laboratório é obtido ao identificarmos no espectro do objeto observado, linhas espectrais conhecidas, como por exemplo, as linhas da série de Balmer ou da série de Lyman do hidrogênio. Assim, obtemos o *redshift*, que este sim, tem o **status** de quantidade diretamente observável. A velocidade é obtida a partir do efeito Doppler, relacionando o componente radial da velocidade ao *redshift*. Porém, no limite não-relativístico, apenas a partir do espectro de um objeto (estrela, galáxia ou quasar) podemos obter a sua velocidade radial (o componente da sua velocidade ao longo da linha de visada), embora não tenhamos nenhuma informação a respeito da velocidade tangencial (à linha de visada). Neste caso, $v_r = cz$, (v_r é a velocidade radial) e esta é a velocidade que comparece na forma original da lei de Hubble, que é válida apenas para baixos *redshifts*. Se o objeto está se afastando de nós, o comprimento de onda de sua emissão aumenta, e dizemos que ele apresenta um *redshift*. Por outro lado, no caso de aproximação, o comprimento de onda diminui, ou seja, ele apresenta um blueshift, ou desvio para o azul. *Redshift* e *blueshift* são referências a denominações genéricas de deslocamentos para as partes vermelhas (de comprimentos

de onda mais longos) e azul (de comprimentos de onda mais curtos) do espectro. Como todas as galáxias, com exceção das galáxias mais próximas (aquelas, digamos, com distâncias inferiores a 10 Mpc), estão se afastando de nós, empregamos *redshift* para caracterizar as distâncias às galáxias. Desse modo os astrônomos podem dizer que uma galáxia relativamente próxima, por exemplo, M87, encontra-se a uma distância de 15 Mpc, porém dizem que o quasar 3C 273 encontra-se a um *redshift* $z = 0,158$.

O *redshift* cosmológico, aquele resultante da expansão do Universo, admite outra interpretação além da cinematográfica, em termos de velocidades. O *redshift* é uma medida

direta do fator de expansão do Universo desde a época em que o fóton foi emitido pelo objeto até o instante em que ele foi captado pelo telescópio do astrônomo. Entre os seus afazeres, a cosmologia busca associar uma idade a cada fator de expansão diretamente observado, ou seja a cada *redshift*. A relação entre *redshift* e idade depende principalmente de três quantidades: o valor da taxa de expansão do Universo nos dias de hoje, ou seja, a constante de Hubble, H_0 ; a quantidade de energia presente em matéria (atrativa); e a quantidade de energia sob forma repulsiva (vácuo). Uma das tarefas da cosmologia observacional é conhecer estas três quantidades. Uma tarefa que será muito facilitada se tivermos ao nosso dispor objetos os mais distantes possíveis (maiores *redshifts*).

A partir de uma determinada profundidade de observação, ou seja, a partir de uma determinada faixa de *redshifts*, a natureza da nossa medida de **remoto**, vira do avesso, passando de uma escala espacial, de coisas cada vez mais distantes, para uma escala temporal, ou seja, de uma contagem regressiva rumo às origens. Assim, para o nosso padrão de Universo (energia escura = 70% da densidade crítica + matéria = 30% da densidade crítica), nos encontramos em um Universo com metade da idade atual em um *redshift* $z = 0,78$.

Como o Universo tem uma história, ele pode passar por fases distintas

**A
COSMOLOGIA
BUSCA
ASSOCIAR
UMA IDADE
A CADA
FATOR DE
EXPANSÃO...**

umas das outras. Esta é a idéia por traz do **Big Bang**, formulado por George Gamow. Gamow percebeu que um Universo muito jovem seria muito denso e quente. Ele todo seria semelhante ao interior de uma bomba de hidrogênio, onde hidrogênio é fundido em hélio. Portanto, neste Universo primitivo, estaria ocorrendo a núcleo-síntese primordial, onde estariam sendo formados os elementos que vemos hoje em dia, a partir de uma massa de prótons e neutrons. Cálculos posteriores demonstraram que o Universo se expandia muito rápido, e que não era denso o suficiente para formar todos os elementos. Durante o **Big Bang** seriam formados isótopos de hidrogênio, hélio e lítio. Os demais elementos seriam formados durante a núcleo-síntese estelar: no interior de estrelas os elementos seriam fundidos além do Hélio, em Carbono e elementos mais pesados. Desse modo, os elementos químicos vão sendo formados. Foi desta maneira que o conceito de evolução também faz sua entrada no campo do Cosmos. Gamow faz uma intencional, e bem-humorada citação de *A origem das espécies*, de Darwin, ao intitular o seu artigo, onde define a núcleo-síntese primordial de *A origem dos elementos químicos* (9).

Refazer a história do Universo é nos perguntarmos se aquilo que existe agora sempre existiu, é nos perguntarmos pela origem daquilo que normalmente damos por certo. Os núcleos atômicos, os elementos químicos, não existiram sempre. Os primeiros núcleos nascem durante a era da núcleo-síntese primordial, quando o Universo tem entre 1 e 100s de idade. Antes de 1s, a temperatura era superior a 10^{10} K e qualquer núcleo presente seria imediatamente destruído. Após 100s, a temperatura cai abaixo de 10^9 K e a densidade torna-se muito baixa para que a núcleo-síntese prossiga.

Os átomos também não existiram sempre. Durante um determinado período, de 100s até 300 000 anos, o Universo não produziu nenhum novo elemento e ele era tão quente que era preenchido por um plasma constituído por elétrons livres e núcleos. Em 300 000 anos, a temperatura se reduz a 3000 K, frio o suficiente para que os elétrons se recombinem com os prótons e se formem os primeiros átomos de hidrogênio. Esta é a época da recombinação, durante a qual nascem os átomos. Ela marca o limite do Universo observável com radiação, pois antes dessa era, o Universo é opaco à radiação porque os elétrons livres são bons absorvedores. Também é após essa época que podem se desenvolver as inhomogeneidades da matéria, que antes seriam varridas pelo campo de radiação. Inhomogeneidades que se desenvolverão em estrelas, galáxias, aglomerados de galáxias e planetas.

Quando o Universo tem cerca de 100 milhões de anos aparecem as primeiras estrelas, e, com a morte das primeiras estrelas, nascem os primeiros elementos pesados, do carbono em diante. E podemos construir um relógio baseado na sua evolução química para dizer a idade do Universo. Em uma dezena de milhão de anos, as primeiras estrelas explodem magnificamente como supernovas de tipo II, que liberam grandes quantidades de oxigênio e um pouco de ferro. Elementos que nunca existiram antes, passam a existir. Grandes quantidades de ferro têm que esperar várias centenas de milhões de anos para serem produzidas pelas supernovas de tipo Ia, de vida bem mais longa. A razão oxigênio sobre ferro pode ser usada para determinar a idade das galáxias que alojam essas estrelas. Objetos bem jovens só podem apresentar essa razão elevada. Já uma razão mais baixa, devido à produção de ferro por superno-

vas de tipo Ia, denota objetos mais maduros, já beirando um bilhão de anos de idade, ou mais velhos. As razões de abundâncias dos elementos em galáxias nos fornecem, deste modo, relógios químicos para mensurar a idade do Universo (10).

A história do Universo é a história dos passos em direção à complexidade crescente. À medida que o Universo passa por diversas eras e épocas, vão se constituindo as novidades, cujo acúmulo faz com que o Universo seja habitável. Antes, muito antes dos núcleons e dos átomos serem produzidos, uma ligeira assimetria entre matéria e antimatéria fez com que a cada bilhão de aniquilações matéria-antimatéria, uma partícula de matéria sobrevivesse. E aí temos o nascimento da matéria. Do outro lado do tempo, depois das primeiras estrelas terem nascido, os elementos abundantes, carbono, oxigênio e nitrogênio, se reuniram com o hidrogênio e outros elementos e nasceram as primeiras moléculas complexas. E depois, não se sabe se muito depois, nasce a vida.

Amâncio Friaça é astrônomo e professor associado do Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP.

Notas e referências

- 1 Borges, J. L. *Nova antologia pessoal*. Rio de Janeiro, Ed. Sabiá, 1969.
- 2 Daminieli Neto, Augusto. In: Friaça, A. C. S., Dal Pino, B., Sodré Jr., L. e Jatenco-Pereira, V. (orgs.) *Astronomia: uma visão geral do universo*. São Paulo, Edusp, 2000, pp. 137-164. O tempo de vida das estrelas é inversamente proporcional a sua massa. As estrelas mais maciças, com 100 massas solares, terminam a sua evolução em 3 milhões de anos. Já o tempo de vida do Sol é de 10 bilhões de anos.
- 3 Koyré, A. *Études galiléennes*. Paris, Hermann, 1966.
- 4 Harrison, E. R. *Cosmology: the science of the universe*. New York, Cambridge University Press, 1981. Nesta obra encontramos um panorama do desenvolvimento da cosmologia durante a primeira metade do século XX.
- 5 Harrison, E. R. *Physics Today*, fevereiro de 1986, pp. 24-31.
- 6 Perlmutter, S. et al. *Astrophysical Journal*, 1999, 517: 565. Riess, A.G. et al. *Astronomical Journal*, 1998, 116: 1009. A descoberta de que o Universo está em expansão acelerada foi considerada o *breakthrough of the year* de 1998 pela revista *Science*, 282: 2156-2157, 18 de dezembro de 1998). Note que o *breakthrough of the year* de 1997 havia sido a clonagem da ovelha Dolly.
- 7 Esta proporção foi encontrada não só pelos grupos que estudavam a expansão do Universo através de supernovas, mas também a partir de medidas de flutuações do fundo de microondas cósmico, como as realizadas pelo BOOMERang (De Bernardis P. et al., *Nature*, 2000, 404: 955).
- 8 Hogg, David W. <http://xxx.lanl.gov/archiv/astro-ph/artigo/9905116>
- 9 Alpher H., Bethe H., Gamow. *Physical Review*, 73: 803. 1948
- 10 Friaça, A.C.S. e Terlevich. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 1998, 298: 399. Friaça, A.C.S. e Terlevich. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 1998, 305: 90. Friaça, A.C.S. e Terlevich. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 2001, 325: 335.