

FICHA TÉCNICA

Título original: *Origin Story — A Big History of Everything*

Autor: *David Christian*

Copyright © 2018 by David Christian

Todos os direitos reservados

Tradução © Editorial Presença, Lisboa, 2019

Tradução: *Pedro Elói Duarte*

Revisão: *Silvina de Sousa/Editorial Presença*

Imagem da capa: *Shutterstock*

Composição, impressão e acabamento: *Multitipo — Artes Gráficas, Lda.*

1.ª edição, Lisboa, fevereiro, 2019

Depósito legal n.º 450 506/18

Reservados todos os direitos

para Portugal à

EDITORIAL PRESENÇA

Estrada das Palmeiras, 59

Queluz de Baixo

2730-132 Barcarena

info@presenca.pt

www.presenca.pt

Índice

Prefácio	9
<i>Introdução</i>	15
<i>Cronologia</i>	23

PARTE I: COSMOS

<i>Capítulo 1</i> No princípio: limiar 1	27
<i>Capítulo 2</i> Estrelas e galáxias: limiares 2 e 3	46
<i>Capítulo 3</i> Moléculas e luas: limiar 4	61

PARTE II: BIOSFERA

<i>Capítulo 4</i> Vida: limiar 5	77
<i>Capítulo 5</i> A pequena vida e a biosfera	97
<i>Capítulo 6</i> A grande vida e a biosfera	119

PARTE III: NÓS

<i>Capítulo 7</i> Humanos: limiar 6	147
<i>Capítulo 8</i> Agricultura: limiar 7	173
<i>Capítulo 9</i> Civilizações agrárias	192
<i>Capítulo 10</i> À beira do mundo atual	213
<i>Capítulo 11</i> O Antropoceno: limiar 8	232

PARTE IV: O FUTURO

<i>Capítulo 12</i> Onde irá tudo isto parar?	255
<i>Agradecimentos</i>	271
<i>Anexo: Estatística sobre a história humana</i>	275
<i>Glossário</i>	277
<i>Leituras complementares</i>	288
<i>Notas</i>	290

CAPÍTULO 1

No princípio: limiar 1

Para se fazer tarte de maçã a partir do nada, temos primeiro de inventar o universo.

CARL SAGAN, *Cosmos*

*Assim deve ter sido após o nascimento da luz elementar
No primitivo espaço giratório, os ardentes cavalos encantados
Saíam relinchando da verde estrebaria
Para os campos da celebração.*

DYLAN THOMAS, «Fern Hill»

Arrancar com uma história da origem

Puxar pelas alças das botas [*bootstrapping*] é a tarefa impossível de nos erguermos no ar puxando com muita força as alças das nossas botas. A ideia entrou no jargão inglês da informática (*booting* ou *rebooting*) para descrever como o computador arranca e depois carrega instruções que lhe dizem o que deve fazer depois. Literalmente, como é óbvio, é impossível elevarmos-nos puxando as alças das nossas botas, pois, para erguermos alguma coisa, precisamos de algo que forneça alavancagem. «Deem-me uma alavanca e um ponto de apoio», disse o filósofo grego Arquimedes, «e moverei o mundo.» Mas o que poderia alavancar a criação de um novo universo? Como se ergue um universo do nada? Ou, já agora, como erguer do nada uma história da origem que descreva como apareceu um novo universo?

Erguer do nada histórias da origem é quase tão difícil quanto erguer universos a partir do nada. Uma abordagem possível é eliminar

o problema dos começos pressupondo que o universo existiu desde sempre. Não é preciso puxar pelas alças das botas. Muitas histórias da origem seguiram esta via. Tal como muitos astrónomos modernos, incluindo os que apoiavam a teoria do estado estacionário em meados do século xx. Trata-se da ideia de que, em grandes escalas, o universo foi sempre mais ou menos como é hoje. Semelhante, com diferenças subtis, é a ideia de que houve um momento de criação quando grandes forças ou seres percorreram o universo a fazer coisas, mas que, desde então, mudou pouco. Os anciãos do lago Mungo podem ter visto o universo assim, descrevendo um mundo criado mais ou menos na sua forma atual pelos antepassados. Isaac Newton via Deus como a «causa primeira» de tudo e dizia que Ele estava presente em todo o espaço. Era por isso que Newton pensava que o universo como um todo não mudava muito. O universo, escreveu ele, era «o *Sensorium* de um Ser incorpóreo, vivo e inteligente».¹ Em inícios do século xx, Einstein estava de tal modo convencido de que o universo não se alterava (em grandes escalas) que acrescentou uma constante especial à sua teoria da relatividade para a levar a prever um universo estável.

Será satisfatória a ideia de um universo eterno ou imutável? Nem por isso, em especial se tivermos de introduzir um criador para arrancar o processo, como em «No princípio era o nada, então Deus fez...». A lacuna lógica é óbvia, ainda que algumas mentes sofisticadas tivessem levado muito tempo a percebê-la claramente. Com 18 anos, Bertrand Russell abandonou a ideia de um deus criador depois de ter lido a seguinte passagem da autobiografia de John Stuart Mill: «O meu pai ensinou-me que a questão “quem me fez?” não pode ser respondida, pois sugere de imediato a seguinte questão: “Quem fez Deus?”.»²

E há outro enigma. Se um deus é poderoso o suficiente para criar um universo, deve ser decerto mais complexo do que o universo; assim, pressupor um deus criador significa explicar um universo fantasticamente complexo imaginando algo ainda mais complexo que o criou. Alguns podem pensar que isso foi batota.

Os antigos hinos indianos conhecidos como *vedas* faziam as suas apostas: «Não havia não existência nem existência; não havia o reino do espaço nem o céu por cima.»³ Talvez tudo tenha surgido de uma tensão primordial entre o ser e o não-ser, um domínio turvo que ainda não era uma coisa, mas que podia *tornar-se* uma coisa. Talvez, como afirma um ditado aborígine australiano moderno, nada seja *totalmente* nada.⁴ É uma

ideia complicada, que alguns poderiam rejeitar como obscura e mística se não tivesse paralelismos notáveis com a ideia moderna, pertencente à física quântica, de que o espaço nunca está *totalmente* vazio, mas está cheio de possibilidades.

Haveria uma espécie de oceano de energia ou de potencial do qual formas particulares emergissem como ondas ou *tsunamis*? Trata-se de um conceito tão comum que é tentador pensar que as nossas ideias sobre os princípios vêm das próprias experiências. Todas as manhãs, experienciamos como um mundo consciente, com formas, sensações e estruturas, parece emergir de um mundo inconsciente e caótico. Joseph Campbell escreve: «Tal como a consciência do indivíduo repousa num mar de noite ao qual desce adormecido e do qual desperta misteriosamente, no imaginário do mito, o universo precipita-se para fora de uma intemporalidade e repousa nesta, na qual se volta a dissolver.»⁵

Mas talvez isto também seja demasiado metafísico. Talvez a dificuldade seja lógica. Stephen Hawking afirma que a questão dos princípios está mal formulada. Se a geometria do espaço-tempo é esférica, como a superfície de Terra, mas com mais dimensões, então perguntar sobre o que existia antes do universo é como procurar um ponto de partida na superfície de uma bola de ténis. Não é assim que funciona. Não há extremidade ou princípio para o tempo, tal como não há uma extremidade na superfície da Terra.⁶

Hoje, alguns cosmólogos são atraídos por outro conjunto de conceitos que nos levam de volta à ideia de um universo sem princípio nem fim. Talvez o nosso universo faça parte de um multiverso infinito no qual novos universos continuam a brotar de *big bangs*. Isto pode ser verdade, mas, atualmente, não existem provas sólidas da existência de alguma coisa anterior ao nosso *big bang* local. É como se a criação do nosso universo tivesse sido tão violenta que todas as informações sobre de onde veio foram apagadas. Se existem outras aldeias cosmológicas, ainda não as podemos ver.

Francamente, hoje, não temos respostas melhores para o problema dos princípios do que as detidas por qualquer sociedade humana anterior. O arranque de um universo a partir do nada continua a parecer um paradoxo lógico e metafísico. Não sabemos que condições de Cachinhos Dourados permitiram o aparecimento de um universo, e não conseguimos explicá-lo melhor do que o romancista Terry Pratchett quando escreveu: «O estado de conhecimento atual pode ser assim resumido: no princípio, era o nada, que explodiu.»⁷

Limiar 1: Arranque quântico do universo

A explicação do arranque das origens mais admitida hoje é a ideia de um Big Bang. É um dos maiores paradigmas da ciência moderna, como a seleção natural na biologia ou tectónica de placas na geologia.⁸

Só em inícios dos anos 1960 surgiram as peças essenciais da história do Big Bang. Foi quando os astrónomos detetaram pela primeira vez a radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM) — energia deixada pelo Big Bang e presente em todo o universo atual. Embora os cosmólogos ainda se esforcem por conhecer o momento em que o nosso universo surgiu, podem contar uma história exuberante que começa por volta (inspirar fundo, e espero que isto esteja certo) de um milésimo de milhão de um segundo depois de o universo ter aparecido (cerca de 10^{-43} de segundo após o tempo zero).

A história resume-se assim: o nosso universo começou como um ponto mais pequeno do que um átomo. Quão pequeno era? As mentes da nossa espécie evoluíram para lidar com coisas em escalas humanas e, por isso, têm dificuldade em lidar com coisas tão minúsculas, mas talvez ajude sabermos que podemos comprimir um milhão de átomos no ponto final desta frase⁹. No momento do Big Bang, o universo inteiro era mais pequeno do que um átomo. Nele continha toda a energia e matéria presentes no universo atual. Tudo. É uma ideia assustadora e, à primeira vista, pode parecer louca. No entanto, todas as provas que hoje temos dizem-nos que este objeto estranho, minúsculo e fantásticamente quente existiu realmente há cerca de 13 820 milhões de anos.

Ainda não sabemos como nem por que razão esta coisa apareceu. Mas a física quântica diz-nos, e os aceleradores de partículas — que aceleram partículas subatómicas a altas velocidades por meio de campos elétricos ou eletromagnéticos — *mostram-nos* que algo pode aparecer num vácuo a partir de nada, ainda que a compreensão do que isto significa exija um entendimento sofisticado do *nada*. Na física quântica moderna, é impossível determinar precisamente a posição e o movimento de partículas subatómicas. Isto significa que nunca podemos ter a certeza de que uma região particular do espaço esteja vazia, e isto significa que o vazio está em tensão com a possibilidade de algo poder aparecer. Tal como a «não-existência nem existência» dos vedas indianos, esta tensão parece ter feito arrancar o nosso universo.¹⁰

Hoje, referimo-nos ao primeiro momento do universo como «Big Bang», como se, à maneira de um bebé recém-nascido, o universo gritasse ao nascer. Este termo foi cunhado em 1949 por um astrónomo francês, Fred Hoyle, que achava a ideia ridícula. Em inícios dos anos 1930, quando o conceito de um Big Bang foi lançado pela primeira vez, o astrónomo belga (e padre católico) Georges Lemaître chamou ao universo recém-nascido o «ovo cósmico» ou o «átomo primordial». Para os poucos cientistas que levavam a ideia a sério, era claro que, com tanta energia acumulada no seu interior, o átomo primordial tinha de ser incrivelmente quente e teve de se expandir loucamente para aliviar a pressão. A expansão prossegue ainda hoje; é como se uma vasta mola estivesse a desenrolar-se há mais de 13 000 milhões de anos.

Aconteceram muitas coisas nos primeiros segundos e minutos após o Big Bang. Mais importante do que tudo, apareceram as primeiras estruturas e padrões interessantes, as primeiras entidades ou energias que tinham formas e propriedades distintas e *não* aleatórias. O aparecimento de algo com novas qualidades distintas é sempre mágico. Veremos isto a acontecer vezes sem conta na história moderna da origem, embora aquilo que pareça mágico à primeira vista deixe de o ser depois de compreendermos que a nova coisa e as suas novas qualidades não chegaram de nenhures ou do nada. As coisas novas com propriedades novas emergem de coisas e forças já existentes que são organizadas de novas formas. São as novas organizações que contêm as novas propriedades, tal como a organização de azulejos numa maneira diferente pode gerar um novo padrão num mosaico. Vejamos um exemplo da química. Regra geral, pensamos no hidrogénio e no oxigénio como gases sem cor. No entanto, se juntarmos dois átomos de hidrogénio a um átomo de oxigénio numa configuração particular, teremos uma molécula de água. Se juntarmos muitas destas moléculas, teremos a qualidade totalmente nova que vemos como «aquosidade». Quando vemos uma nova forma ou estrutura com novas qualidades, o que realmente vemos são novas organizações do que já existia. A inovação é o surgimento. Se pensarmos no surgimento como uma personagem na nossa história, é talvez furtiva, misteriosa e imprevisível, saindo inesperadamente do escuro e levando o enredo para direções novas e surpreendentes.

As primeiras estruturas e padrões do universo surgiram desta maneira, com as coisas e forças que brotaram do Big Bang a serem reorganizadas em novas configurações.

No primeiro momento do qual temos alguns indícios, uma fração de segundo após o Big Bang, o universo consistia em energia pura, aleatória, indiferenciada e sem forma. Podemos ver a energia como o *potencial para que alguma coisa aconteça*, a capacidade para *fazer* coisas ou para *mudar* coisas. As energias contidas no átomo primordial eram espantosas, muitos bilhões de graus acima do zero absoluto. Houve um breve período de expansão super-rápida conhecido como *inflação*. A expansão foi tão rápida que grande parte do universo pode ter sido projetada muito além de alguma coisa que um dia possamos ver. Isto significa que aquilo que hoje vemos é provavelmente apenas uma parte minúscula de todo o nosso universo.

Uma fração de segundo depois, a velocidade de expansão diminuiu. As energias turbulentas do Big Bang acalmaram e, enquanto o universo continuava a expandir-se, estas energias espalharam-se e diluíram-se. As temperaturas médias caíram, e continuam a cair, de maneira que, hoje, a temperatura na maior parte do universo é de apenas 2,76 graus Celsius acima do zero absoluto. (O zero absoluto é a temperatura na qual nada se mexe.) Não sentimos o frio, tal como todos os outros organismos do planeta Terra, porque somos aquecidos pela fogueira do nosso Sol.

Nas temperaturas extremas do Big Bang, quase tudo era possível. No entanto, quando as temperaturas caíram, as possibilidades diminuíram. Entidades distintas começaram a aparecer como fantasmas na neblina caótica do universo que arrefecia, entidades que não podiam existir no caldeirão violento do próprio Big Bang. Os cientistas chamam a estas alterações de forma e estrutura *mudanças de fase*. Vemos mudanças de fase na vida quotidiana quando o vapor perde energia e se torna em água (cujas moléculas se movem muito menos do que as moléculas do vapor) e quando a água se torna em gelo (que tem tão pouca energia que as suas moléculas não se conseguem mover). A água e o gelo só podem existir num limite estreito de temperaturas muito baixas.

Num milésimo de milhão de um milésimo de milhão de um milésimo de milhão de um milésimo de milhão de segundo após o Big Bang, a energia passou por uma mudança de fase. Dividiu-se em quatro espécies muito diferentes. Hoje, conhecemo-las como a gravidade, a força eletromagnética e as forças nucleares forte e fraca. Temos de conhecer as suas diferentes personalidades, pois formaram o nosso universo. A gravidade é fraca, mas alcança vastas distâncias e atrai as coisas; por isso, a sua força acumula-se. Tende a tornar o universo mais protuberante. A energia

eletromagnética surge em formas negativas e positivas, de maneira que, com frequência, se anula a si própria. A gravidade, embora fraca, molda o universo em grande escala. Mas o eletromagnetismo domina ao nível da química e da biologia, pois é aquilo que mantém os nossos corpos juntos. A terceira e a quarta forças fundamentais são conhecidas, de forma pouco entusiasmante, por força nuclear forte e força nuclear fraca. Alcançam distâncias muito pequenas e, por isso, agem a uma escala subatômica. Nós, humanos, não as sentimos diretamente, mas moldam todos os aspetos do nosso mundo porque determinam aquilo que acontece dentro dos átomos.

Pode haver outras espécies de energia. Nos anos 1990, novas medições da velocidade de expansão do universo mostraram que o ritmo está a aumentar. Baseando-se numa ideia lançada por Einstein, muitos físicos e astrónomos afirmam agora que pode existir uma forma de anti-gravidade presente em todo o espaço, cuja força aumenta à medida que o universo se expande. Hoje, a massa desta energia pode corresponder a 70 por cento da massa total do universo. No entanto, embora esteja a começar a dominar o nosso universo, ainda não compreendemos o que é esta energia ou como funciona; por isso, os físicos chamam-lhe *energia negra*. O termo é um espaço reservado a que devemos estar atentos, pois a compreensão da energia negra é um dos maiores desafios da ciência contemporânea.

A matéria apareceu no primeiro segundo após o Big Bang. A matéria são as coisas que a energia faz mover. Até há pouco mais de um século, os cientistas e filósofos pensavam que a matéria e a energia eram distintas. Agora, sabemos que a matéria é, na verdade, uma forma altamente comprimida de energia. O jovem Albert Einstein demonstrou isto num famoso artigo em 1905. A fórmula — energia (E) equivale à massa (m) vezes a velocidade da luz ao quadrado, ou $E = mc^2$ — diz-nos quanta energia está comprimida numa dada quantidade de matéria. Para sabermos quanta energia está presa num pedaço de matéria, temos de multiplicar a massa da matéria não pela velocidade da luz (que é mais de mil milhões de quilómetros por hora), mas pela velocidade da luz *multiplicada por si própria*. Trata-se de um número colossal; assim, se descomprimirmos um pedaço de matéria, teremos uma enorme quantidade de energia. É o que acontece quando uma bomba H explode. No início do universo, ocorreu o processo inverso. Enormes quantidades de energia foram comprimidas em pequenas quantidades de matéria, como partículas de poeira

numa vasta névoa de energia. De forma notável, os humanos conseguiram recriar brevemente estas energias, no Grande Colisor de Hadrões, nos arredores de Genebra. E, sim, partículas começam a brotar desse oceano fervente de energia.

E ainda estamos no primeiro segundo...

As primeiras estruturas

Na névoa caótica de energia logo após o Big Bang, começaram a aparecer formas e estruturas distintas. Embora a névoa de energia continue a existir, as estruturas que dela emergiram irão dar uma forma e um enredo à nossa história da origem. Algumas estruturas ou padrões durarão milhares de milhões de anos, outras apenas uma fração de segundo, mas *nenhuma* é conservada. São evanescentes, como ondas na superfície do oceano. A primeira lei da termodinâmica diz-nos que o oceano de energia continua a existir; é conservado. A segunda lei da termodinâmica diz-nos que todas as formas que emergem se dissolverão de volta no oceano de energia. As formas, como os movimentos de uma dança, *não* são conservadas.

Algumas estruturas e formas distintas emergiram um segundo depois do Big Bang. Porquê? Porque não é o universo apenas um fluxo aleatório de energia? Esta é uma questão fundamental.

Se a nossa história tivesse um deus criador, a explicação da estrutura seria fácil. Bastaria pressupor (como fazem muitas histórias da origem) que Deus preferiu a estrutura ao caos. No entanto, a maioria das versões da história moderna da origem já não aceita a ideia de um deus criador porque a ciência moderna não encontra provas diretas de um deus. Muitas pessoas têm *experiências* de deuses, mas essas experiências são diversas e contraditórias e não podem ser reproduzidas. São demasiado maleáveis, demasiado difusas e demasiado subjetivas para providenciarem provas objetivas e científicas.

Assim, a história moderna da origem tem de arranjar outras maneiras de explicar o surgimento das estruturas e formas. E isso não é fácil, pois a segunda lei da termodinâmica diz-nos que, mais tarde ou mais cedo, todas as estruturas acabarão por desaparecer. Como escreveu o físico austríaco Erwin Schrödinger: «Reconhecemos agora que esta lei fundamental da física é a tendência natural das coisas para se aproximarem

do estado caótico (a mesma tendência dos livros de uma biblioteca ou dos montes de papéis e manuscritos em cima de uma secretária), a não ser que o evitemos.»¹¹

Se há um vilão na história moderna da origem, este é por certo a entropia, a tendência aparentemente universal das estruturas para se dissolverem na aleatoriedade. A entropia é a serva leal da segunda lei da termodinâmica. Assim, se pensarmos na entropia como uma personagem da nossa história, devemos imaginá-la como dissoluta, à espreita, insensível à dor e ao sofrimento dos outros, pouco interessada em olhar-nos nos olhos. A entropia também é muito perigosa e todos seremos suas vítimas. A entropia está no fim de todas as histórias da origem. Dissolverá todas as estruturas, todas as formas, todas as estrelas e galáxias e todas as células vivas. Num livro sobre mitologia, Joseph Campbell descreveu poeticamente o papel da entropia: «O mundo, tal como o conhecemos... só tem um fim: a morte, a desintegração, o desmembramento e a crucificação do nosso coração com o desaparecimento das formas que amamos.»¹²

A ciência moderna explica o papel da entropia com a linguagem fria da estatística. De toda a miríade das formas em que as coisas podem ser organizadas, a esmagadora maioria não está estruturada, é aleatória e desordenada. A maioria das mudanças é como agarrar num baralho de 10^{80} cartas (ou seja, 10 seguido de 80 zeros, ou mais ou menos o número de átomos no universo) e baralhá-las várias vezes na esperança de encontrar todos os ases juntos. É um padrão incrivelmente raro, tão raro que é improvável vê-lo mesmo que continuássemos a baralhar as cartas tantas vezes quantas a idade do universo. Na maioria dos casos, não encontraríamos quaisquer estruturas. Se lançarmos uma bomba sobre um estaleiro de obras cheio de tijolos, argamassa, arames e tintas, quais são as probabilidades de, quando a poeira se dissipar, encontrar um edifício erguido, decorado e pronto para ser vendido? O mundo da magia pode ignorar a entropia, mas o nosso não o pode fazer. É por isso que grande parte do universo, em particular os vastos espaços vazios entre as galáxias, não tem forma nem estrutura.

A entropia é de tal maneira poderosa que não é fácil compreender como terão aparecido estruturas. Mas sabemos que apareceram. E parecem ter surgido com autorização da entropia. É como se, em troca por deixar as coisas ligarem-se para formarem estruturas mais complexas, a entropia exigisse um imposto de complexidade, a ser pago em energia. De facto, veremos que a entropia exigiu muitos tipos diferentes de

impostos de complexidade, um pouco como o czar russo Pedro, *o Grande*, que criou um gabinete especial do Governo para imaginar novos impostos. A entropia gosta deste negócio porque os impostos pagos por todas as entidades complexas ajudarão a sua tarefa sinistra de desfazer todo o universo. A própria ação de pagar impostos à entropia cria mais caos e mais desperdício, tal como o funcionamento de uma cidade moderna gera grandes quantidades de lixo e calor. Todos pagamos impostos de entropia a cada segundo da nossa vida. Deixaremos de pagar no dia em que morrermos.

Então, como apareceram as primeiras estruturas? Trata-se de um problema para o qual a ciência ainda não tem respostas completas, embora haja muitas ideias promissoras.

Além da energia e da matéria, algumas regras básicas de funcionamento emergiram do Big Bang. Os cientistas só começaram a compreender o carácter fundamental destas regras com a revolução científica do século XVII. Hoje, descrevemos estas regras como as leis fundamentais da física. Explicam por que razão as energias frenéticas e caóticas do átomo primordial não eram totalmente desprovidas de sentido — as leis da física dirigiram a mudança por caminhos particulares e bloquearam um número quase infinito de outras possibilidades. As leis da física filtraram e deixaram de fora os estados do universo incompatíveis com elas; assim, em qualquer dado momento, o universo existiu apenas em um dos muitos estados que *eram* compatíveis com as suas regras de funcionamento. Estes novos estados, por sua vez, geraram mais regras que dirigiram a mudança por novas vias.

Esta filtragem constante de estados impossíveis garantiu o mínimo de estrutura. Não sabemos porque apareceram as regras ou porque adquiriram essas formas. Nem sabemos se eram inevitáveis. Talvez existam outros universos com regras ligeiramente diferentes. Talvez, em alguns universos, a gravidade seja mais forte ou o eletromagnetismo mais fraco. Neste caso, os habitantes desses universos (a existirem) contarão histórias diferentes da origem. Talvez alguns universos tenham durado um milionésimo de segundo, enquanto outros durarão muito mais tempo do que o nosso. Talvez alguns universos gerem bastantes formas de vida exóticas, enquanto outros são cemitérios biológicos. Se for verdade que o nosso universo existe num multiverso, podemos imaginar um grande lançamento de dados quando o nosso universo foi criado, seguido de um anúncio: «Bem, haverá gravidade neste universo, bem

como eletromagnetismo, e o eletromagnetismo será 10^{36} vezes mais forte do que a gravidade.» (Este é o rácio da força da gravidade e do eletromagnetismo, pelo menos no nosso universo.) A existência destas regras assegurou que o nosso universo nunca fosse totalmente caótico. Algo de interessante foi permitido aparecer algures.

Houve estruturas e padrões assim que a energia emergiu em formas distintas. Quando a energia se solidificou nas primeiras partículas de matéria, estas também tinham regras. Neutrões, prótons e elétrons, os constituintes básicos dos átomos, apareceram segundos depois do Big Bang, bem como as antipartículas prótons e elétrons (ou seja, prótons com carga negativa e elétrons com carga positiva), formando aquilo a que os físicos chamam *matéria* e *antimatéria*. Quando o universo desceu para temperaturas em que a matéria e a antimatéria podiam ser facilmente criadas, ocorreu um confronto violento e universal no qual a matéria e a antimatéria se aniquilaram, libertando grandes quantidades de energia. Felizmente para nós, um pequeno excedente de matéria (talvez uma partícula em mil milhões) sobreviveu à carnificina. As partículas de matéria restantes mantiveram-se porque as temperaturas depressa se tornaram demasiado baixas para que voltassem a transformar-se em energia pura. E estes restos de matéria compõem o nosso universo.

À medida que as temperaturas caíram, a matéria diversificou-se. Os elétrons e os neutrinos foram regidos pelo eletromagnetismo e pela força nuclear fraca. Os prótons e os neutrões que formam o núcleo atómico foram feitos de tercetos de partículas estranhas conhecidas por *quarks*, ligadas pela força nuclear forte. Elétrons, neutrões, *quarks*, prótons, neutrinos... segundos depois do Big Bang, o nosso universo rapidamente arrefecido conservou algumas estruturas distintas, cada uma com as suas propriedades emergentes. No entanto, quando o furacão do Big Bang se acalmou, as energias extremas necessárias para a criação destas estruturas primordiais desapareceram, e é por isso que, para nós, as diferentes formas de energia e de partículas como os prótons e os elétrons parecem mais ou menos imortais.

Foi deste modo que o acaso e a necessidade se combinaram para produzirem as primeiras estruturas simples. As leis da física eliminaram muitas possibilidades — esta era a parte necessária. O acaso, depois, reorganizou aleatoriamente as coisas a partir das possibilidades restantes. É assim que tudo funciona. Como escreve o nanofísico Peter Hoffmann: «Temperado pela lei física, que acrescenta uma pitada de necessidade,

o ocaso torna-se a força criativa, o impulsionador do nosso universo. Toda a beleza que vemos ao nosso redor, desde as galáxias até aos girasóis, resulta desta colaboração criativa entre o caos e a necessidade.»¹³

Os primeiros átomos

Minutos após o Big Bang, com a junção dos prótons e dos neutrões, apareceram mais estruturas. Um único próton é o núcleo de um átomo de hidrogénio; um par de prótons (com dois neutrões) forma o núcleo de um átomo de hélio; assim, o universo começava a construir os primeiros átomos. Mas era necessária muita energia para fundir os prótons, pois as suas cargas positivas repeliam-se mutuamente, e as temperaturas estavam a diminuir; portanto, era impossível fundir mais prótons para formar núcleos de átomos maiores. Isto explica um aspeto fundamental do nosso universo: quase três quartos dos seus átomos são de hidrogénio e os restantes são quase todos de hélio.

Uma quantidade muito maior de matéria consiste em *matéria negra*, que ainda não compreendemos, embora saibamos que existe porque a sua força gravitacional determina a estrutura e a distribuição das galáxias. Portanto, minutos depois do Big Bang, o nosso universo consistia em vastas nuvens de matéria negra na qual havia plasmas crepitantes de prótons e eletrões com fótons de luz a passar entre eles. Hoje, só encontramos plasmas nos centros das estrelas.

Temos de fazer agora uma pausa e esperar cerca de 380 000 anos (quase o dobro do tempo desde que a nossa espécie existe na Terra). Durante este tempo, o universo continuou a arrefecer. Quando as temperaturas caíram abaixo dos 10 000 graus Celsius, ocorreu outra mudança de fase, como o vapor que se transforma em água. Para explicar esta mudança de fase, temos de compreender que o calor é, de facto, uma medida do movimento dos átomos. Todas as partículas de matéria estão constantemente a agitar-se com energia, como crianças nervosas, e a temperatura é uma medida do grau médio de agitação. A agitação é real. Num artigo famoso publicado em 1905, Einstein mostrou que a agitação dos átomos provoca rotações aleatórias de partículas de poeira no ar. Quando as temperaturas baixam, as partículas agitam-se menos, até poderem finalmente ligar-se. Enquanto o universo arrefecia, a força eletromagnética puxou eletrões de carga negativa em direção a prótons de carga positiva até os eletrões

se acalmarem o suficiente para caírem em órbitas em torno dos protões. Foi assim que surgiram os primeiros átomos, os constituintes básicos de toda a matéria que existe à nossa volta.

Por norma, os átomos isolados são eletricamente neutros, pois as cargas positivas e negativas dos seus protões e eletrões cancelam-se mutuamente. Assim, quando os primeiros átomos de hidrogénio e de hélio se formaram, a maior parte da matéria do universo tornou-se neutra de repente e o plasma crepitante evaporou-se. Os fotões, os transportadores de força eletromagnética, podiam agora fluir livremente através de uma névoa eletricamente neutra de átomos e matéria negra. Hoje, os astrónomos conseguem detetar os resultados desta mudança de fase, pois os fotões que escaparam do plasma geraram um fino zumbido de fundo de energia (a radiação cósmica de fundo em micro-ondas) que continua presente em todo o universo.

A nossa história da origem atravessou o primeiro limiar. Temos um universo. Já possui algumas estruturas com propriedades emergentes distintas. Apresenta formas distintas de energia e de matéria, cada uma com a sua própria personalidade. Tem átomos. E tem as suas regras de funcionamento.

Quais são as provas?

Por muito estranha que possa ser esta história quando a ouvimos pela primeira vez, temos de a levar a sério, pois é sustentada por imensas provas.

A primeira pista de que o Big Bang aconteceu foi a descoberta de que o universo está em expansão. Se continua a expandir-se, a lógica diz-nos que, em certa altura no passado remoto, deve ter sido infinitesimalmente pequeno. Sabemos que o universo se está a expandir porque temos instrumentos e técnicas de observação que não existiam no tempo do povo do lago Mungo, ainda que estes fossem, por certo, excelentes astrónomos a olho nu.

Desde o tempo de Newton que a maioria dos astrónomos pensava que o universo tinha de ser infinito, pois, se não o fosse, as leis da gravidade deveriam ter reunido os seus conteúdos numa única massa viscosa, como petróleo num reservatório. No século XIX, os astrónomos tinham instrumentos suficientemente precisos para começarem a mapear

a distribuição das estrelas e das galáxias, e os mapas astronômicos assim criados passaram a apontar para uma imagem bem diferente do universo.

O mapeamento iniciou-se com as nebulosas, manchas indistintas que apareciam em todos os seus mapas estelares. (Agora sabemos que a maioria das nebulosas são galáxias inteiras, cada uma com milhares de milhões de estrelas.) A que distância estavam as nebulosas? O que eram exatamente? Será que se moviam? Com o tempo, os astrónomos aprenderam a recolher cada vez mais informação sobre as estrelas a partir da luz que estas emitem. Esta informação inclui a sua distância em relação a nós e se estão a aproximar-se ou a afastar-se.

Um dos métodos mais inteligentes de estudo do movimento das estrelas e das nebulosas usa o efeito Doppler (assim chamado a partir do nome do matemático austríaco do século XIX Christian Andreas Doppler) para medir a velocidade a que as estrelas ou as nebulosas se movem na nossa direção ou na direção oposta. A energia desloca-se em ondas, e as ondas, tal como as da praia, têm uma frequência. Alcançam picos a um ritmo regular que pode ser medido. No entanto, se se moverem, a frequência altera-se. Se nadarmos no oceano, a frequência com que encontramos ondas parece aumentar. O mesmo acontece com as ondas sonoras. Se um objeto, como uma motorizada, estiver a fazer um ruído e a dirigir-se na nossa direção, a frequência das ondas sonoras parece aumentar, e os nossos ouvidos interpretarão a frequência mais alta como um tom mais agudo. Depois de a motorizada passar, o tom parece baixar, pois as ondas são mais longas. O condutor, obviamente, não se move em relação à motorizada e ouve sempre o mesmo tom. O efeito Doppler é a mudança aparente da frequência das emissões eletromagnéticas enquanto os objetos se aproximam ou se distanciam uns dos outros.

O mesmo princípio funciona com a luz das estrelas. Se uma estrela ou uma galáxia estiver a mover-se em direção à Terra, a frequência das suas ondas de luz parecerá aumentar. Os nossos olhos interpretam a luz visível da frequência mais alta como luz azul; por isso, dizemos que se desviou para a extremidade azul do espetro eletromagnético. No entanto, se estiver a afastar-se da Terra, a frequência da sua luz parecerá desviar-se para a extremidade vermelha do espetro: os astrónomos dizem que é um desvio vermelho. E podemos saber a que velocidade se move uma estrela ou uma galáxia medindo os desvios da frequência.

Em 1814, um jovem cientista alemão, Joseph von Fraunhofer, criou o primeiro espetroscópio científico, um prisma especializado que divide

as frequências da luz estelar tal como um prisma de vidro divide a luz nas cores do arco-íris. Fraunhofer descobriu que os espectros da luz solar tinham linhas estreitas e escuras em certas frequências, como códigos de barras cosmológicos. Outros dois cientistas alemães, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen, demonstraram em laboratório que elementos particulares emitem ou absorvem energia luminosa em frequências específicas. Parecia que as linhas escuras resultavam do facto de a luz do núcleo solar ser absorvida por átomos de diferentes elementos nas regiões exteriores e menos quentes do Sol. Isto reduziu a energia a essas frequências, deixando linhas escuras no espectro de emissões. A estas linhas chamamos *linhas de absorção*, e diferentes elementos geram diferentes padrões de linhas de absorção. Por exemplo, há linhas que são típicas do carbono e do ferro. Se a luz solar tiver um desvio vermelho, todas essas linhas se desviam para a extremidade vermelha do espectro, e até podemos medir exatamente o quanto se desviaram. Este é o equivalente dos astrónomos ao radar de velocidade da polícia.

Em inícios do século xx, um astrónomo americano, Vesto Slipher, usou estas técnicas para mostrar que um número surpreendente de objetos astronómicos tinha um desvio vermelho — ou seja, estavam a afastar-se da Terra, e a grande velocidade. Esta dispersão era muito estranha. O seu verdadeiro significado só se tornou claro quando outro astrónomo americano, Edwin Hubble, combinou estes dados com medidas da distância em relação a esses objetos longínquos.

O cálculo da distância em relação às estrelas e às nebulosas é complexo. Em princípio, tal como os gregos sabiam, podia-se usar o método da paralaxe, como um agrimensurador. Ao longo dos meses, enquanto a Terra gira em torno do Sol, podemos ver se algumas estrelas no céu noturno parecem mover-se relativamente a outras estrelas. Em caso afirmativo, podemos usar a trigonometria para calcular a que distância se encontram. Infelizmente, mesmo a estrela mais próxima, Próxima Centauri, está tão distante (a cerca de quatro anos-luz da Terra) que não podemos detetar qualquer movimento sem equipamentos sofisticados. Só no século xix é que os astrónomos puderam medir a distância em relação às estrelas próximas usando a paralaxe. No entanto, os objetos estudados por Vesto Slipher estavam muito mais distantes.

Felizmente, em inícios do século xx, Henrietta Leavitt, astrónoma do Observatório de Harvard, descobriu uma forma de medir a distância em relação a estrelas e a nebulosas longínquas usando um tipo particular

de estrela conhecida como Cefeida variável, cuja luminosidade varia com grande regularidade (a Estrela Polar é uma Cefeida). Descobriu uma correlação simples entre a frequência das variações e a luminosidade ou o brilho das estrelas, podendo assim calcular a luminosidade absoluta de uma Cefeida. Em seguida, comparando isso com a luminosidade aparente que a estrela tinha quando vista a partir da Terra, pôde calcular a distância a que se encontrava, pois a quantidade de luz de uma estrela diminui à razão do quadrado da distância pela qual se move. Esta técnica maravilhosa providenciou as velas-padrão astronómicas de que Edwin Hubble necessitava para fazer duas descobertas profundas sobre o nosso universo.

Em inícios do século xx, a maioria dos astrónomos acreditava que todo o universo estava contido na nossa galáxia, a Via Láctea. Em 1923, Hubble usou um dos telescópios mais potentes do mundo, no Observatório do monte Wilson, em Los Angeles, para demonstrar que as Cefeidas variáveis na que era então conhecida como a nebulosa Andrómeda estavam tão longe que não podiam pertencer à nossa galáxia. Isto provou as suspeitas de alguns astrónomos: que o universo era bem maior do que a Via Láctea e que consistia em muitas galáxias, e não apenas na nossa.

Hubble fez uma descoberta ainda mais espantosa quando começou a medir a distância em relação a grande número de objetos distantes usando Cefeidas variáveis. Em 1929, demonstrou que quase todas as galáxias pareciam estar a afastar-se de nós e que a maioria dos objetos mais remotos parecia ter os maiores desvios vermelhos. Por outras palavras, quanto mais distante se encontrava um objeto, mais depressa se afastava. E *isto* parecia significar que todo o universo estava a expandir-se. O astrónomo belga Georges Lemaître já suspeitara disto em termos puramente teóricos. E, como Lemaître observou, se o universo continuava a expandir-se, em algum tempo no passado, tudo o que há nele deve ter estado comprimido num espaço minúsculo, algo que descreveu como o átomo *primordial*.

A maioria dos astrónomos ficou chocada com a ideia de um universo em expansão e pensou tratar-se de um erro nos cálculos de Hubble. O próprio Hubble não estava muito certo disso, e Einstein, convencido de tal forma de que o universo era estável, jogou com as equações da relatividade geral para que previssem um universo estável, acrescentando aquilo a que chamou uma *constante cosmológica*.

Os astrónomos mostravam-se céticos em parte porque, de facto, havia problemas com os cálculos de Hubble. Calculou que a expansão do

universo começara apenas há 2000 milhões de anos, mas os astrónomos já sabiam que a Terra e o seu sistema solar eram muito mais velhos. Esta foi uma razão pela qual, durante várias décadas, a maioria dos astrónomos viu a ideia do universo em expansão como intrigante, mas provavelmente errada. Muitos preferiam a ideia alternativa de um universo estacionário, proposta em 1948 por Hermann Bondi, Thomas Gold e Fred Hoyle. Sim, concordavam os adeptos desta teoria, as galáxias pareciam estar a afastar-se, mas nova matéria estava a ser criada ao mesmo tempo; assim, em grandes escalas, o universo continuava a ter mais ou menos a mesma densidade e mudava pouco.

Por fim, porém, as provas tenderam a favor de um universo em expansão. Nos anos 1940, Walter Baade, a trabalhar no Observatório do monte Wilson, em Los Angeles (o mesmo onde Hubble trabalhara), mostrou que havia dois tipos de estrelas Cefeidas variáveis e que conduziam a diferentes estimativas de distâncias. Os cálculos revistos de Baade sugeriam que o Big Bang ocorrera há mais de 10 000 milhões de anos (as melhores estimativas atuais sugerem que ocorreu há 13 820 milhões de anos). Isto eliminava o problema da cronologia. Hoje, não conhecemos objetos astronómicos mais velhos do que 13 820 milhões de anos, um argumento forte a favor da cosmologia do Big Bang. Afinal de contas, se o universo fosse imutável e eterno, deveria haver objetos com mais de 13 800 milhões de anos.

A prova conclusiva apareceu em meados dos anos 1960, que envolvia a descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas (RCFM). Trata-se da radiação libertada quando os primeiros átomos se formaram, cerca de 380 000 anos após o Big Bang. A RCFM tornou-se na prova crucial do carácter expansivo do universo. Porquê?

Nos anos 1940, alguns astrónomos e físicos ficaram de tal maneira impressionados com os dados de Hubble que tentaram perceber o que poderia ter acontecido se tivesse ocorrido um Big Bang. Como seria o universo no princípio se tudo estivesse comprimido num átomo primordial? Se Hubble e Lemaître tivessem razão, o universo inicial seria extremamente denso e quente, e ter-se-ia expandido e arrefecido depressa. Como se comportariam a matéria e a energia em condições tão extremas? Durante a Segunda Guerra Mundial, o Projeto Manhattan, que visava construir uma bomba atómica, encorajara a investigação na física das altas temperaturas. Em finais dos anos 1940, o físico de origem russa George Gamow usou dados do Projeto Manhattan para perceber

o que terá acontecido no universo logo após o Big Bang. Com um colega, Ralph Alpher, previu que o universo terá arrefecido o suficiente para que os átomos se formassem, e, quando os primeiros átomos se formaram, terá havido uma enorme libertação de energia com os fótons a libertar-se do plasma carregado da era pré-atômica e a começar a fluir livremente através de um universo eletricamente neutro. Além disso, afirmaram que esta libertação de energia ainda deveria ser detetável, embora a sua frequência tenha decaído para quase zero enquanto se estendia ao longo de um universo em expansão. Se os cientistas olhassem com atenção, encontrariam radiação em temperaturas próximas do zero absoluto a vir de todas as direções. Para muitos, isto parecia uma ideia louca, razão pela qual ninguém procurou a radiação de baixa temperatura que existe em todo o universo.

Em 1964, a libertação de radiação prevista por Gamow foi detetada por acaso. Nos Bell Labs em Holmdel, Nova Jérсия, dois radioastrónomos, Arno Penzias e Robert Wilson, construíram uma antena de rádio de alta precisão para comunicar com satélites artificiais. A fim de eliminarem a interferência, arrefeceram o recetor para cerca de 3,5 graus Celsius acima do zero absoluto, mas continuava a existir um zumbido intrigante de energia de baixa temperatura. Parecia vir de todas as direções e, por isso, sabiam que não era nenhuma explosão estelar maciça. Suspeitando de alguma avaria no recetor, retiraram um par de pombos que se empoleiravam na antena em forma de corno e limpavam a sujidade, mas isto não fez diferença. (Infelizmente, os pombos voltavam sempre à antena e tiveram de ser mortos.) Ali perto, em Princeton, uma equipa de astrónomos liderada por Robert Dicke começara a olhar para a radiação de fundo de Gamow quando se apercebeu do que Penzias e Wilson tinham descoberto. Compreenderam logo que haviam sido ultrapassados. As duas equipas decidiram colaborar em artigos que descreveram a descoberta. Afirmavam que se tratava provavelmente da energia libertada logo após o Big Bang prevista por Gamow.

A descoberta da radiação cósmica de fundo em micro-ondas convenceu a maioria dos astrónomos de que o Big Bang era real porque mais nenhuma teoria era capaz de explicar aquela radiação omnipresente. O estabelecimento de uma previsão estranha, mas bem-sucedida como esta, é uma das melhores formas de convencer os cientistas de que a teoria é correta. Pelos vistos, o universo estava a expandir-se e tinha sido criado num Big Bang.

Hoje, as provas de que o universo começou num Big Bang são esmagadoras. Há muitos pormenores a conhecer, mas, por agora, a ideia principal está firmemente estabelecida como o primeiro capítulo da história moderna da origem. Este foi o arranque. E, dado que a física quântica permite que coisas surjam do nada, parece que todo o universo apareceu vindo de um nada cheio de potencialidades.¹⁴