UMA NOVA VISÃO DO MUNDO

Experiências para pensar a realidade para além do espaço, do tempo, da matéria e de nós próprios



Vítor Rua

ASOKA MIAU EDITIONS

LISBOA · 2026

UMA NOVA VISÃO DO MUNDO

VÍTOR RUA

UMA NOVA VISÃO DO MUNDO

Experiências para pensar a realidade para além do espaço, do tempo, da matéria e de nós próprios

ASOKA MIAU EDITIONS · LISBOA · 2026

© 2026 Vítor Rua

1.ª edição · Asoka Miau Editions · Lisboa, 2026

Texto e concepção: Vítor Rua
Edição e composição: Asoka Miau Editions
Capa: concepção editorial a partir da ideia de um globo terrestre cúbico

Todos os direitos reservados.

Talvez o erro comece quando confundimos aquilo que conseguimos descrever com aquilo que existe.

Conteúdo

Prefácio · Um Livro para Desconfiar do Óbvio **v**

Prólogo · Porque Existe Alguma Coisa em Vez de Nada? **ix**

I ANTES DAS COISAS **1**

I Antes do Espaço, do Tempo e da Energia **3**

II O Tempo Pode Nunca Ter Existido **13**

III E se o Espaço Não Estiver em Lugar Nenhum? **23**

IV Energia sem Energia **33**

II A MATÉRIA PODE NÃO SER FEITA DE COISAS **41**

V O Electrão Não é uma Coisa **43**

VI Partículas Elementares: Elementares de Quê? **49**

VII O Vazio Não Está Vazio **53**

VIII A Gravidade Pode Não Ser Aquilo que Pensamos **57**

III A ARQUITECTURA INVISÍVEL **61**

IX Quantas Dimensões Tem o Mundo? **63**

X O que Significa uma Causa? **67**

XI Informação: Uma Coisa, uma Relação ou uma Medida? **71**

IV AS LEIS E O UNIVERSO 75

XII Quem Disse à Natureza Quais Eram as Suas Leis? 77

XIII As Leis da Natureza Também Evoluem? 81

XIV Um Universo ou Muitos? 85

XV A Realidade Precisa de um Observador? 89

V MUNDOS DENTRO DO MUNDO 93

XVI Quantos Sentidos Temos? 95

XVII Quantos Mundos Cabem num Corpo? 99

XVIII As Plantas Sentem? 103

VI VIDA, CORPO E CONSCIÊNCIA 107

XIX Onde Acaba um Corpo? 109

XX O que Significa Estar Vivo? 113

XXI Consciência sem um Centro 121

XXII Existe Realmente um Eu? 127

XXIII As Coisas Existem? 135

XXIV O Mundo ou a Descrição do Mundo? 143

Epílogo · Depois de Retirarmos o Chão 153

Caderno de Axiomas, Símbolos e Formalizações 157

Pequeno Léxico para uma Realidade Diferente 159

Onde Termina a Ciência e Começa a Especulação 161

Referências e Bibliografia 163

Índice de Axiomas, Princípios e Hipóteses 167

Índice Onomástico **169**

Índice Temático e Remissivo **171**

Prefácio · Um Livro para Desconfiar do Óbvio

Há ideias tão antigas dentro de nós que deixámos de as reconhecer como ideias. O espaço parece estar aí antes das coisas, o tempo parece passar por sua conta, a matéria parece ser feita de pequenas coisas sólidas, uma causa parece vir naturalmente antes de um efeito, um corpo parece acabar na pele e cada um de nós parece possuir, algures dentro da cabeça, uma pequena entidade estável encarregada de ser Eu. Passamos grande parte da vida apoiados nestas evidências sem precisarmos de perguntar quem colocou o chão debaixo delas.

A Ciência possui a desagradável e maravilhosa capacidade de retirar esse chão. Não o faz por gosto de produzir vertigens, embora por vezes seja esse o resultado, mas porque a Natureza se mostrou repetidamente menos obediente à intuição humana do que seria conveniente. O espaço e o tempo de Newton tiveram de ser transformados por Einstein; a matéria compacta do quotidiano conduziu a uma Física Quântica onde electrões se recusam a comportar-se como pequenas esferas; o vazio revelou propriedades físicas; a própria distinção entre objecto, campo, relação, informação e observador tornou-se muito menos confortável do que os substantivos sugeriam.

Este livro nasceu dessa incomodidade. Não pretende anunciar que toda a Física conhecida está errada nem revelar, felizmente entre duas chávenas de chá, aquilo que gerações de físicos não conseguiram descobrir. Pretende fazer uma coisa simultaneamente mais modesta e mais perigosa: perguntar até que ponto as categorias que utilizamos para compreender a realidade pertencem à realidade fundamental e até que ponto podem ser formas emergentes, aproximadas ou simplesmente adequadas à escala em que existimos.

Por isso, ao longo destas páginas, espaço, tempo, energia, partículas, leis, causalidade, informação, observador, sentidos, corpo, vida, consciência, Eu e coisas serão sucessivamente colocados sob suspeita. Não para concluir que nada existe, mas para experimentar a possibilidade de que existir seja muito mais variado do que imaginávamos. Uma mesa continuará suficientemente real para não ser recomendável atravessá-la de cabeça, uma pedra continuará a cair mesmo que decidamos escrever um ensaio contra a gravidade, e um cão continuará provavelmente a considerar irrelevante qualquer discussão ontológica quando chegar a hora do passeio. A dúvida filosófica não

suspende as propriedades físicas do mobiliário, o que talvez seja uma das maneiras mais eficazes que o Mundo encontrou para conservar a nossa humildade.

Em determinados momentos, o livro aventura-se para além daquilo que a Ciência estabeleceu. Esses momentos são deliberadamente identificados como hipóteses, axiomas provisórios ou experiências conceptuais. Ω, Nexo, Trama e Tensão não são partículas recém-descobertas, substâncias cósmicas ou nomes secretos encontrados numa equação esquecida de Einstein; são instrumentos temporários de pensamento destinados a testar se conseguimos imaginar uma realidade em que espaço, tempo e energia não sejam pressupostos desde o primeiro instante.

Se esses conceitos algum dia adquirirem valor científico, terão de deixar de depender da beleza das palavras. Precisarão de Matemática, previsões, comparação com teorias existentes e possibilidade de fracasso experimental, porque uma ideia que não pode perder nunca chega verdadeiramente a entrar no jogo científico. Também por isso este livro utiliza tantas maçãs, partituras, orquestras, filmes, pinturas, palcos, coreografias, fotografias, cozinhas, mapas, guitarras e chávenas. As analogias não pretendem substituir a Física; servem para permitir que uma ideia difícil se torne visível antes de receber o nome técnico que a descreve.

Há uma regra de escrita que se tornou, pouco a pouco, uma regra do próprio livro: quando a ideia é difícil, simplifica-se a linguagem, nunca a ideia. Uma equação pode ser rigorosa e permanecer incompreensível para quem nunca estudou a Matemática que a sustenta; uma boa imagem pode abrir a porta para a mesma dificuldade sem fingir que a dificuldade desapareceu.

A música tem aqui um lugar privilegiado porque oferece continuamente exemplos de realidades que não são substâncias. Um acorde existe e não é uma quarta coisa escondida entre as notas; uma melodia atravessa diferentes instrumentos sem ficar aprisionada em nenhum deles; uma improvisação pode possuir unidade sem ter um director central; uma pausa transforma uma frase apesar de não ser um som acrescentado. Quem trabalha com música convive diariamente com estruturas cuja realidade reside sobretudo nas relações, talvez por isso não seja completamente estranho imaginar que o Universo possa fazer alguma coisa semelhante em escalas muito mais profundas.

A pintura ensina-nos que uma superfície pode produzir profundidade. O cinema mostra-nos que continuidade pode nascer de uma organização de acontecimentos. A dança recorda que uma forma pode existir entre corpos sem se localizar integralmente em nenhum deles, e o teatro demonstra todas as noites que uma personagem pode permanecer enquanto actores, cenários e interpretações mudam. Nada disto demonstra uma teoria física, mas talvez a Arte tenha passado séculos a habituar-nos, sem o saber, a uma ontologia menos dependente de coisas imóveis.

O percurso irá depois afastar-se gradualmente da Cosmologia e aproximar-se de nós. A pergunta pelo espaço conduzirá à pergunta pelo corpo; a pergunta pela informação acabará na memória; a questão acerca das fronteiras do Universo regressará

sob a forma de uma fronteira celular; e aquilo que começou como dúvida acerca de partículas acabará por atingir a entidade que parecia estar a fazer todas as perguntas. O leitor perceberá então que o movimento do livro não é do grande para o pequeno nem do exterior para o interior. É antes um movimento de retirada progressiva de evidências. No fim talvez permaneça o Mundo. O que provavelmente não permanecerá intacta é a ideia inicial que tínhamos dele, e isso basta.

Prólogo · Porque Existe Alguma Coisa em Vez de Nada?

Um dia perfeitamente normal num Mundo que deixou de ser óbvio

Acordo com o alarme e, durante alguns segundos, considero seriamente a hipótese de continuar morto para a manhã. O som é agudo e desagradável, mas não é ultrassónico, apesar de eu preferir essa explicação: se fosse verdadeiramente ultrassónico, provavelmente não o ouviria e poderia continuar a dormir com fundamento científico. Levanto-me, portanto, derrotado pela Física e pela programação do telemóvel, duas forças que de manhã parecem colaborar de maneira particularmente agressiva.

Ponho os pés no chão e acontece uma coisa a que já não presto atenção: não atravesso o soalho. Milhões de milhões de interacções microscópicas conspiram para produzir aquilo a que chamo simplesmente «chão», e a matéria do meu corpo encontra a matéria do quarto com uma resistência tão convincente que abandono imediatamente qualquer intenção de testar ontologias alternativas com a testa.

Caminho até à cozinha, ainda convencido de que me desloco através de um espaço que já estava ali antes de mim. Depois lembro-me de que talvez o espaço não seja um recipiente absoluto e que a geometria que parece tão natural à escala do corredor pode ser uma propriedade emergente de relações muito mais profundas. A cozinha continua, contudo, a cinco metros aproximados do quarto e recusa-se a emergir mais perto por razões filosóficas.

Bebo um sumo de maracujá e vou ver as plantas. Não lhes atribuo vinte e cinco sentidos nem lhes pergunto se apreciam Stockhausen, porque as plantas já fazem coisas suficientemente extraordinárias sem precisarmos de as transformar em pequenos humanos verdes: detectam luz, gravidade, contacto, água, temperatura e sinais químicos, integrando essas diferenças de formas radicalmente distintas das nossas. Enquanto as rego, improviso uma melodia; elas não me dizem se gostam e considero essa ausência de crítica uma das vantagens da botânica sobre a imprensa musical.

Durante alguns minutos observo uma folha inclinada para a janela. Não sei o que é ser aquela planta e não possuo evidência de que exista nela uma experiência subjectiva comparável à minha, mas também já não consigo tratá-la como decoração passiva. Há ali um organismo ocupado a detectar diferenças, regular trocas, orientar crescimento e conservar uma história corporal sem possuir cérebro, olhos ou qualquer obrigação de satisfazer a nossa ideia de inteligência.

Visto-me e procuro Young Yang, que já me espera junto da porta com a expressão de quem considera ter cometido um erro administrativo ao permitir que eu durma tantas horas. Digo que vou passeá-lo, mas ambos conhecemos a ficção jurídica dessa frase: é ele que estabelece grande parte da trajectória, decide a duração das investigações olfactivas e determina quais arbustos merecem hoje uma conferência prolongada.

Descemos as escadas e penso na gravidade. Segundo Newton, a Terra atrai-nos; segundo Einstein, a descrição mais profunda transforma a questão numa geometria do espaço-tempo, e eu sigo uma trajectória dentro dela enquanto seguro o corrimão por respeito simultâneo à Relatividade Geral e à Segurança Social. Durante dois segundos imagino-me em queda livre, situação em que deixaria de sentir o meu peso da maneira habitual, mas as escadas parecem pouco interessadas na experiência mental.

Saímos para a rua e entramos num bairro que, fisicamente, pode ser descrito dentro de um espaço-tempo quadridimensional, embora nenhum vizinho pareça alarmado com a quarta dimensão. As pessoas continuam a entrar em cafés, os automóveis atravessam cruzamentos e ninguém chama um topólogo antes de estacionar.

Young Yang pára diante de uma árvore e começa a ler. Eu vejo tronco, casca e folhas; ele encontra uma biblioteca química escrita por outros cães, humidade, solo, vento e acontecimentos que não possuo nariz para reconstruir. Durante alguns segundos caminhamos exactamente no mesmo lugar e, contudo, os mundos perceptivos a que temos acesso são extraordinariamente diferentes.

Passamos por flores e eu cheiro uma delas. Durante séculos ensinou-se a repetir os cinco sentidos de Aristóteles como se o corpo tivesse sido entregue com um inventário definitivo, mas propriocepção, equilíbrio, interocepção e outras formas de sensibilidade tornam essa velha lista demasiado estreita; por isso já não tento contar apressadamente quantos sentidos tenho, como quem verifica talheres depois de um jantar. Limito-me a reconhecer que o meu corpo sabe continuamente coisas sobre posição, movimento e estado interno que nunca chegam a pedir autorização à visão, ao ouvido, ao olfacto, ao gosto ou ao tacto.

Olho para uma superfície iluminada e penso nos fotões. Durante muito tempo ensinámos a história como um duelo em que a luz precisava de escolher entre ser onda ou partícula, mas a entidade quântica não parece particularmente interessada

em obedecer à nossa taxonomia clássica. Dependendo da experiência, aparecem comportamentos que as imagens de onda e partícula ajudam a descrever, embora nenhuma das duas seja, sozinha, a pequena fotografia definitiva daquilo que um fotão «é».

Continuamos a andar e partículas provenientes do espaço atravessam a atmosfera; algumas interagem com matéria, outras atravessam enormes quantidades dela sem grande cerimónia. Neutrinos podem atravessar o meu corpo sem que eu perceba e raios cósmicos produzem cascatas de partículas muito acima da minha preocupação quotidiana, o que me consola: aparentemente é possível ser atravessado pelo Universo e continuar preocupado por ter esquecido as chaves.

Toco no bolso. As chaves estão lá, e essa pequena confirmação devolve-me à informação: uma forma metálica dentro do tecido permite distinguir entre duas configurações possíveis do meu futuro imediato, entrar em casa sem dificuldade ou ficar à porta a desenvolver uma metafísica da fechadura.

Penso no dia anterior e lembro-me de algumas coisas. Outras desapareceram, algumas foram provavelmente reconstruídas e há episódios que talvez já recorde mais como versões sucessivas da própria memória do que como gravações intactas. Ainda assim, o passado deixou registos suficientes para participar no presente, e a minha identidade depende largamente dessa estranha capacidade de uma configuração actual conservar relações reconstruíveis com outras.

Não concluo daí que o tempo não exista. Seria cómodo abolir o tempo sempre que tenho um compromisso, mas a Física não oferece esse serviço; a pergunta é mais interessante, porque aquilo a que chamamos tempo pode não ser fundamental da maneira intuitiva como imaginamos e as funções de ordem, duração, orientação e passagem podem não possuir exactamente a mesma origem.

Consulto o relógio apesar dessas reservas ontológicas. A reunião continua marcada para uma hora concreta, demonstrando que uma propriedade pode ser emergente, relacional ou teoricamente problemática e continuar a organizar a agenda com uma eficácia quase autoritária.

Um autocarro passa e penso em energia. Não vejo dentro dele um líquido invisível chamado energia a circular pelos cabos, da mesma maneira que não encontro «energia musical» armazenada entre duas notas; encontro estados físicos, relações, transformações e quantidades cuja conservação depende de estruturas muito precisas. Mesmo a frase «tudo é energia», tão apreciada por certas conversas que começam em Física e acabam demasiado depressa em cristais com cartão de crédito, deixa de parecer particularmente informativa.

Young Yang decide mudar de direcção e eu obedeço. Esta pequena inversão de poder ajuda-me a pensar nas leis da Natureza, porque durante séculos as descrevemos como se fossem decretos promulgados por uma administração cósmica; talvez sejam antes regularidades extremamente estáveis da própria organização do Mundo, sem legislador, polícia ou balcão de reclamações.

Passamos por uma nuvem. Possui fronteiras suficientemente claras para eu dizer «aquela nuvem» e suficientemente vagas para nenhum meteorologista poder desenhar à escala molecular uma parede exacta onde a nuvem termina; ainda assim, existe, projecta sombra e talvez chova sobre nós dentro de alguns minutos. Uma coisa não precisa, portanto, de ser uma pequena pedra metafisicamente fechada para ter realidade.

Olho para a minha mão e acontece algo ainda mais estranho. Digo «minha mão» como se houvesse primeiro um Eu perfeitamente constituído e depois uma relação de propriedade, mas o cérebro precisa de integrar visão, propriocepção, tacto, previsão motora e inúmeros sinais para manter essa pertença tão óbvia. Aquilo que parece uma certeza imediata pode ser uma construção extremamente robusta.

Young Yang puxa a trela e a fronteira do meu corpo parece deslocar-se por alguns centímetros. Não porque o cão tenha passado a ser anatomicamente parte de mim, mas porque a acção está distribuída por braço, trela, corpo dele, chão e decisões que só parcialmente são minhas; o passeio torna ridícula a ideia de autonomia como independência absoluta.

Atravessamos um jardim e observo os outros organismos. Cada corpo parece possuir uma fronteira, mas as fronteiras respiram, ingerem, excretam, trocam microrganismos, luz, calor e moléculas com aquilo que chamamos exterior. Uma fronteira viva não é um muro; é uma actividade de selecção, e talvez por isso um organismo consiga permanecer precisamente porque nunca está completamente fechado.

Dentro de mim, comunidades microbianas continuam ocupadas com trabalhos que não consultei previamente. A palavra «eu» torna-se um pouco cómica quando recordo que o organismo que pronuncia o pronome é simultaneamente uma unidade e uma convivência de linhagens, simbioses, células humanas, microrganismos e componentes cuja história evolutiva é muito mais antiga do que a autobiografia que costumo chamar minha.

Ao chegar a uma esquina pergunto-me o que significa, afinal, estar vivo. Uma chama consome combustível, um cristal cresce e um vírus evolui, mas nenhuma dessas propriedades isoladas resolve a questão; a vida parece residir numa organização que mantém activamente diferenças, utiliza fluxos de matéria e energia, conserva informação e pertence a uma história capaz de continuar através de gerações.

A pedra junto ao passeio também possui história, mas não utiliza activamente um arquivo hereditário para produzir novas pedras ligeiramente modificadas sujeitas à selecção natural. Uma célula faz alguma coisa profundamente diferente: transforma química em continuidade histórica, como se a matéria tivesse encontrado maneiras de conservar instruções, copiá-las imperfeitamente e permitir que o passado começasse a trabalhar sobre o futuro.

Continuamos até que uma mota faz um ruído súbito e o meu corpo reage antes de eu terminar qualquer filosofia. A consciência, aparentemente, não precisa de

aguardar que o pequeno professor interior formule uma conclusão; redes distribuídas seleccionam, integram, antecipam e orientam acção sem que exista evidência de um minúsculo espectador sentado atrás dos olhos a assistir ao filme.

Durante alguns minutos tento encontrar esse espectador. Encontro pensamentos, sons, tensão muscular, imagens, uma vaga vontade de comer chocolate e Young Yang novamente interessado num arbusto, mas não encontro uma pequena entidade adicional chamada Eu separada de tudo aquilo que está a acontecer.

Isso não me leva a concluir que não existo, o que seria uma maneira excessivamente teatral de evitar regressar a casa. Talvez o Eu exista como uma continuidade organizada de corpo, perspectiva, memória, agência e narrativa, real da mesma maneira que uma melodia pode ser real sem ser uma nota suplementar escondida entre as restantes.

No caminho de regresso começo a suspeitar das próprias coisas. Uma árvore é uma árvore, mas também células, fungos associados, água, carbono, relações ecológicas e história evolutiva; uma pedra é um objecto suficientemente estável para partir um vidro e, a outra escala, uma organização física que nada tem da superfície compacta sugerida pela mão. Talvez aquilo a que chamamos coisa seja frequentemente uma região de estabilidade, não uma invenção arbitrária, mas um padrão suficientemente coerente para resistir, agir, conservar relações e permitir que organismos como nós o tratem como unidade.

Chegamos finalmente à porta e retiro as chaves do bolso. O metal, a fechadura, a minha memória e a expectativa de que esta chave continue a abrir esta porta formam uma pequena conspiração causal que funciona tão bem que ninguém sente necessidade de lhe chamar metafísica.

Entro em casa e Alva olha para nós com a serenidade superior de quem nunca precisou de resolver o problema da medição quântica porque sempre soube que o observador devia limitar-se a abrir a lata de comida. Young Yang bebe água e eu sento-me por alguns minutos, outra vez sustentado por uma cadeira que certamente não é fundamental mas continua a demonstrar excelentes propriedades macroscópicas.

Ao fim do dia encontro no ecrã fotografias, mensagens, textos e gravações. São pedaços do Mundo contendo registos de outros pedaços do Mundo, configurações físicas que permitem reconstruir rostos, vozes, acontecimentos e pensamentos que já não estão presentes da mesma maneira. Percebo então uma coisa que durante anos me pareceu apenas uma metáfora: nós não estamos fora do Universo a tentar representá-lo; somos uma parte do Universo que, em determinado momento da sua história, começou a produzir mapas, partituras, telescópios, equações, fotografias e livros acerca de si própria.

Este livro é apenas mais um desses mapas. Não é o território, não contém o território inteiro e provavelmente desenha algumas estradas que no futuro terão de ser apagadas, mas pertence fisicamente ao mesmo Mundo que tenta descrever.

Antes de dormir volto, inevitavelmente, à pergunta que deveria ter sido feita antes do despertador, das plantas, do cão, dos fotões, das nuvens e de toda esta caminhada: por que existe alguma coisa em vez de nada? Não tenho uma resposta e desconfio de qualquer resposta demasiado rápida, mas talvez possamos começar por reconhecer que também não sabemos exactamente o que significariam «alguma coisa» e «nada» quando retiramos espaço, tempo, matéria e todas as categorias com que aprendemos a formular a pergunta.

Apago a luz. O quarto não desaparece, o Universo continua sem consultar a minha consciência e amanhã o despertador voltará a tocar com uma confiança ontológica absolutamente insuportável. É então que começa o livro.

PARTE I

ANTES DAS COISAS

Antes do Espaço, do Tempo e da Energia

Talvez o princípio não seja um ponto, mas a primeira diferença.

Se perguntarmos a alguém onde começou o Universo, é provável que apareça imediatamente uma imagem: um ponto minúsculo suspenso no vazio, uma espécie de grão luminoso que explode e lança matéria em todas as direcções. É uma imagem poderosa, cinematográfica, quase inevitável, mas contém vários problemas antes mesmo de o filme começar. Se o ponto estava suspenso no vazio, já existia espaço à sua volta; se explodiu num determinado instante, já existia tempo; se continha alguma coisa capaz de explodir, já estamos a pressupor matéria ou energia. A imagem explica o nascimento do Universo utilizando precisamente as coisas cujo nascimento queríamos compreender.

Talvez devamos começar por retirar o cenário. Num teatro, estamos habituados a imaginar primeiro o palco vazio e só depois os actores, a luz, o som e a acção. Mas o começo cosmológico pode exigir uma operação muito mais radical: talvez não exista primeiro um palco chamado espaço, um relógio chamado tempo e uma reserva invisível chamada energia, à espera de que o Universo entre em cena. Talvez o próprio palco, o próprio relógio e algumas das categorias através das quais descrevemos aquilo que acontece só façam sentido depois de uma determinada estrutura física ter surgido.

A dificuldade é quase linguística. Perguntamos automaticamente o que existia antes do Big Bang, mas a palavra antes já pressupõe uma ordenação temporal. Perguntamos onde ocorreu, e onde pressupõe espaço. Perguntamos quanta energia havia, e a pergunta pressupõe que energia seja uma grandeza já definida nesse domínio. É como perguntar qual é a temperatura de uma melodia. Podemos conhecer a temperatura do instrumento, do ar ou da sala onde a música é executada, mas «a temperatura do intervalo entre Dó e Sol» não é zero graus nem vinte graus; é uma pergunta que talvez não se aplique àquilo de que estamos a falar.

A famosa pergunta «o que existe a norte do Pólo Norte?» oferece uma aproximação simples. Podemos responder «nada», mas isso ainda sugere uma região vazia para lá do Pólo. A resposta geométrica mais rigorosa é diferente: se estamos a falar da superfície da Terra e da coordenada norte, a pergunta deixa de ter aplicação quando

atingimos o Pólo Norte. Não existe uma pequena placa a dizer «fim do norte» nem um muro situado depois dele; a própria coordenada termina ali. Algo semelhante pode acontecer com determinadas perguntas cosmológicas: talvez não haja um «antes» escondido atrás do começo do tempo, se aquilo a que chamamos tempo só se torna fisicamente definido dentro da própria história do Universo.

Isto não significa que saibamos que o tempo começou de maneira absoluta no Big Bang. A Relatividade Geral permite-nos reconstruir a expansão do Universo até estados extremamente quentes e densos, mas quando levamos as equações clássicas suficientemente para trás encontramos aquilo a que chamamos uma singularidade.[1] A palavra costuma ser apresentada como se designasse uma pequena coisa física de densidade infinita, situada no primeiro fotograma do Cosmos; é mais prudente interpretá-la como um sinal de que a descrição clássica deixou de ser suficiente naquele limite.

Um mapa rasgado ajuda-nos a evitar o exagero. Se seguimos uma estrada num mapa e, de repente, a impressão termina porque a folha foi cortada, não podemos concluir que a estrada real acaba exactamente naquela linha. Descobrimos apenas que o mapa deixou de nos fornecer informação. Uma singularidade nas equações pode desempenhar um papel semelhante: não prova, por si só, que a Natureza contenha literalmente um ponto físico de densidade infinita; mostra que a teoria que estamos a utilizar alcançou uma região onde deixa de nos oferecer uma descrição adequada.

Na pintura acontece algo comparável quando uma perspectiva funciona perfeitamente dentro da composição mas não pode ser prolongada indefinidamente para explicar qualquer profundidade imaginável. O ponto de fuga organiza a representação, mas não é um buraco físico aberto na tela por onde o espaço desaparece. A Matemática possui uma relação muito mais rigorosa com a realidade do que uma técnica pictórica, mas a analogia lembra-nos que uma representação pode atingir um limite sem que o território representado tenha de possuir literalmente a mesma ruptura.

Durante séculos, a ideia de espaço parecia bastante simples. Isaac Newton imaginava um espaço absoluto que existiria mesmo se retirássemos dele estrelas, planetas, pessoas e qualquer outra forma de matéria. Seria como uma enorme sala vazia que continuaria ali depois de desmontarmos o cenário inteiro. Podemos apagar as luzes, retirar os actores, desmontar as cadeiras e silenciar a orquestra; o teatro permanece.

Essa imagem é extraordinariamente intuitiva porque corresponde à experiência quotidiana. Retiramos uma mesa de uma sala e a sala não desaparece. Fechamos os olhos e continuamos a imaginar as paredes. O espaço parece possuir existência própria, como uma tela que permanece depois de apagarmos a pintura.

[1] Sobre singularidades e os limites da descrição clássica, ver Stephen W. Hawking e George F. R. Ellis, *The Large Scale Structure of Space-Time* (Cambridge University Press, 1973), e Robert M. Wald, *General Relativity* (University of Chicago Press, 1984).

Einstein tornou esta imagem muito mais estranha. Na Relatividade Geral, espaço e tempo deixam de ser recipientes rígidos e independentes para formar uma estrutura dinâmica, o espaço-tempo, cuja geometria se relaciona com matéria e energia. A gravidade deixa então de ser simplesmente uma força invisível puxando objectos através de um cenário imóvel e passa a estar associada à própria geometria dessa estrutura.

A maçã de Newton torna a mudança quase visível. Na descrição newtoniana, a Terra exerce uma força que atrai a maçã. Na descrição de Einstein, a maçã em queda livre segue uma trajectória determinada pela geometria do espaço-tempo. Para situações quotidianas, as duas descrições produzem praticamente o mesmo resultado, e a teoria de Newton continua extremamente útil; mas a mudança conceptual é enorme, porque aquilo que julgávamos ser cenário começa a participar na peça.

Podemos comparar esta passagem com uma transformação teatral. Num primeiro espectáculo, o palco é rígido e os actores movimentam-se sobre ele segundo forças que os empurram ou puxam. No segundo, o próprio palco pode inclinar-se, deformar-se e alterar as trajectórias possíveis. Já não conseguimos separar completamente cenário e movimento.

A dança permite ainda outra imagem. Num chão plano, os bailarinos conseguem deslocar-se segundo determinadas trajectórias; numa superfície curva ou inclinada, as relações entre distância, direcção e movimento mudam. Não é necessário imaginar uma mão invisível empurrando cada corpo para explicar todas as alterações: parte delas pertence à geometria do espaço em que a dança acontece.

A Relatividade Geral, contudo, continua a pressupor espaço-tempo. Mesmo quando o torna dinâmico, ele permanece um elemento fundamental da teoria. A pergunta que nos interessa neste livro começa um passo mais atrás: e se o próprio espaço-tempo não for fundamental?

É aqui que a Física contemporânea se torna menos intuitiva. Tentativas de construir uma teoria quântica da gravidade investigam precisamente regimes onde a descrição clássica do espaço-tempo pode deixar de funcionar. Diferentes programas propõem respostas muito diferentes, e nenhuma teoria completa foi ainda confirmada experimentalmente como descrição definitiva desse domínio. O que importa para nós não é escolher antecipadamente uma dessas propostas, mas reconhecer que a pergunta «será o espaço fundamental?» deixou de ser apenas filosofia imaginativa e entrou legitimamente na investigação física.

Podemos experimentar mentalmente retirar o espaço. A primeira tentativa costuma falhar imediatamente porque imaginamos um vazio negro. Mas um vazio negro já possui extensão: podemos imaginar uma zona aqui e outra acolá, alguma coisa poderia deslocar-se de um ponto para outro e haveria distâncias entre regiões. Retirámos a matéria, talvez até a luz, mas conservámos a sala.

Uma tela completamente branca continua a ser uma superfície, um palco escuro continua a possuir largura e profundidade, e um silêncio numa sala de concertos

continua a acontecer dentro de um espaço acústico. Para pensar um domínio verdadeiramente não espacial precisamos de retirar não apenas os objectos, mas também a própria ideia de distância, direcção, tamanho e localização.

A linguagem começa então a resistir-nos. Dizemos que duas coisas estão «próximas», que uma estrutura está «por baixo» de outra ou que alguma coisa «emerge de» uma camada fundamental. Quase todas estas metáforas transportam discretamente espaço consigo. Talvez seja inevitável utilizá-las, mas precisamos de saber quando a linguagem está a introduzir no problema aquilo que queríamos justamente explicar.

A música pode ajudar porque algumas relações musicais não precisam de ser pensadas espacialmente. Um intervalo entre duas alturas é uma relação entre frequências; não é uma distância física entre duas bolas sonoras. Dó e Sol podem ser tocados em instrumentos colocados em lados opostos de uma sala e conservar a mesma relação intervalar. Podemos representá-los numa pauta vertical, mas essa verticalidade pertence à notação, não à estrutura acústica fundamental da relação.

Talvez uma geometria emergente possa começar de maneira vagamente semelhante: não com coisas previamente colocadas num espaço, mas com relações a partir das quais aquilo que mais tarde chamaremos proximidade, distância e dimensão se torna definível. Esta ideia não constitui ainda uma teoria; serve apenas para inverter a intuição. Talvez as coisas não se relacionem porque estão próximas e, em determinados modelos, pareçam próximas porque existe entre elas um padrão forte de relações.

A Internet oferece uma analogia imperfeita mas útil. Dois computadores podem estar fisicamente em continentes diferentes e, numa rede, possuir uma ligação directa muito mais relevante do que computadores geograficamente próximos que não comunicam entre si. Se conhecêssemos apenas a estrutura das ligações e não a localização física das máquinas, poderíamos construir uma espécie de mapa relacional que nada deveria, à partida, à geografia real.

Uma composição para ensemble também pode ser organizada desta maneira. Dois instrumentos podem encontrar-se fisicamente distantes no palco e, musicalmente, funcionar como um par porque repetem, transformam ou respondem continuamente ao material um do outro. A proximidade musical nasce da relação, não da distância em metros.

Se uma teoria fundamental do espaço possuir qualquer afinidade com esta inversão, então aquilo que chamamos geometria poderia ser uma propriedade macroscópica de relações mais profundas. O espaço seria semelhante à forma global de uma composição: real, mensurável e indispensável numa determinada escala, sem precisar de existir como palco independente em todas as escalas.

O tempo apresenta uma dificuldade semelhante, talvez ainda maior, porque a própria ideia de explicação costuma depender dele. Dizemos que uma coisa «se transforma», «surge», «precede» ou «produz» outra, e cada verbo parece carregar uma pequena seta temporal escondida.

Podemos tentar retirar o tempo através de uma distinção muito simples entre zero e não definido. Se um automóvel está no quilómetro zero de uma estrada, a distância continua a existir; escolhemos apenas uma origem. Se um cronómetro marca zero segundos, o tempo continua a fazer parte do sistema; estamos apenas no início da contagem. Se uma conta bancária possui zero euros, a moeda continua perfeitamente definida.

Mas se não existir sequer o conceito de moeda, dizer que uma conta possui zero euros já não descreve adequadamente a situação. Não é pobreza extrema; é ausência da própria categoria monetária. Algo semelhante pode acontecer com o tempo. Escrever t = o ainda pressupõe que t seja uma variável temporal bem definida. Se queremos explorar a hipótese de um domínio em que o tempo não é fundamental, não basta colocar o relógio a zero. Precisamos de perguntar se a palavra segundo possui sequer aplicação nesse nível.

O cinema torna esta diferença especialmente clara. O fotograma zero continua a pertencer ao filme; há uma sequência possível antes e depois na estrutura da obra. Mas imaginemos não apenas um filme parado, e sim uma colecção de relações visuais para a qual nenhuma ordem de projecção foi ainda definida. Não estamos no primeiro segundo do filme; falta a própria regra que transforma imagens numa sequência temporal.

Naturalmente, uma colecção de fotogramas já existe no nosso tempo físico, portanto a analogia não reproduz o problema cosmológico. O que ela permite perceber é a diferença conceptual entre «o relógio indica zero» e «a estrutura ainda não contém aquilo que poderá desempenhar o papel de relógio».

A energia produz outra espécie de confusão porque a linguagem quotidiana transformou-a quase numa substância. Dizemos que uma pessoa «tem muita energia», que uma bateria «guarda energia» e que o Sol «produz energia». É fácil imaginar então uma espécie de fluido invisível que circula por toda a Natureza.

Na Física, energia não é uma substância desse género. É uma grandeza associada ao estado dos sistemas e às suas possibilidades de transformação, e pode assumir formas que descrevemos como cinética, potencial, térmica, química e outras. A maneira exacta como a energia é definida depende do sistema e da teoria em que trabalhamos.

Uma mola comprimida ajuda-nos a perceber a diferença. Não precisamos de imaginar um líquido energético acumulado entre as espiras. A configuração da mola relativamente às forças que a mantêm comprimida permite-lhe realizar trabalho quando é libertada. A energia está ligada à estrutura e às relações do sistema.

Na música existe uma tentação semelhante quando falamos da «energia» de uma execução. Podemos reconhecer perfeitamente que um trecho possui intensidade, tensão rítmica ou densidade, mas ninguém procuraria uma substância chamada energia musical escondida dentro das notas. A palavra resume uma organização de relações. Na Física, o termo possui naturalmente um significado quantitativo rigoroso, mas a comparação serve para nos libertar da imagem do combustível cósmico.

Podemos então repetir a experiência conceptual realizada com espaço e tempo. Se retirarmos energia, não devemos imaginar simplesmente um sistema onde E = o, porque zero joules continua a pressupor que joule seja uma unidade aplicável. A pergunta mais radical é se energia constitui uma categoria fundamental ou se só se torna definida depois de aparecerem determinadas estruturas que permitem falar de transformação, simetria e evolução.

Aqui entramos deliberadamente num terreno especulativo. A Física actual descreve energia com enorme sucesso e não nos autoriza a declarar que ela «não existe». O que podemos perguntar é se energia, tal como espaço e tempo, poderá ser uma propriedade emergente de uma organização mais fundamental.

Precisamos agora de um nome provisório para aquilo que estamos a tentar imaginar. Não porque saibamos que existe uma entidade escondida atrás do Universo, mas porque é difícil continuar a escrever durante dezenas de páginas «a estrutura hipotética ainda desconhecida na qual não pressupomos espaço, tempo e energia». Chamemos-lhe Ω, Ómega.

O símbolo deve ser tratado com desconfiança desde o primeiro instante. Ω não é uma pequena esfera anterior ao Big Bang, não é um oceano invisível onde o Universo flutua, não é outro espaço situado por trás do nosso espaço e não é uma substância da qual tudo seria fabricado. É apenas um marcador conceptual para aquilo que ainda não sabemos.

Podemos compará-lo ao x de um problema matemático antes de sabermos o valor que satisfaz a equação. Dar-lhe uma letra não significa que tenhamos descoberto a coisa correspondente. A letra apenas nos permite formular perguntas sem repetir continuamente a nossa ignorância.

> **Axioma 1 – Ausência das Categorias Físicas Fundamentais**
> Em Ω, espaço, tempo e energia não são considerados entidades fundamentais.

A palavra axioma precisa também de ser domesticada. Neste livro não designa uma verdade eterna colocada fora de discussão. Funciona como hipótese de trabalho: aceitamos provisoriamente uma regra para descobrir até onde o raciocínio consegue ir e que problemas encontra. Se mais tarde a regra se revelar incoerente ou desnecessária, deverá ser modificada ou abandonada.

Uma composição experimental pode começar de maneira semelhante. Um compositor decide que durante determinada peça nenhum músico utilizará uma pulsação comum. Essa regra não é uma lei do Universo nem precisa de sobreviver a todas as composições futuras; é uma condição de trabalho destinada a descobrir que música se torna possível quando retiramos algo que normalmente consideramos indispensável. Aqui retiramos espaço, tempo e energia como fundamentos para descobrir se conseguimos reconstruí-los mais tarde.

Mas esta primeira regra cria imediatamente um problema devastador. Se Ω não possui espaço, tempo nem energia, será completamente indiferenciado? Se nada puder distinguir-se de nada, teremos apenas uma palavra sofisticada para o nada. Precisamos, portanto, de conservar alguma forma mínima de diferença, não diferença espacial, porque isso já introduziria posições, nem diferença temporal, porque isso já introduziria momentos. Talvez possamos começar apenas por admitir que a estrutura não é totalmente indiferenciada e que existem relações capazes de distinguir configurações umas das outras.

> **Axioma 2 — Distinção Relacional**
> Ω não é completamente indiferenciado: contém diferenças relacionais internas.

Esta frase é intencionalmente abstracta porque ainda não sabemos que tipo de diferença poderia existir sem espaço e tempo. Podemos aproximá-la através de uma estrutura musical. Um acorde pode conter relações entre alturas sem que a relação intervalar seja um objecto adicional. Uma pintura pode conter contraste entre duas zonas antes de decidirmos qual delas é figura e qual é fundo. Uma dança pode possuir uma relação de simetria entre gestos mesmo que não exista uma entidade separada chamada «simetria» escondida dentro de cada bailarino.

A ideia mínima é apenas esta: talvez diferença e relação possam ser conceptualmente mais primitivas do que algumas das categorias físicas que habitualmente utilizamos para descrevê-las. Se aceitarmos provisoriamente essa possibilidade, precisamos de descobrir que propriedades uma estrutura relacional teria de possuir para que, em alguma escala posterior, apareçam tempo, espaço e energia. Foi dessa necessidade que nasceram três nomes de trabalho: Nexo, Trama e Tensão.

Nexo começa com uma pergunta muito simples: se não pressupomos tempo, será possível haver alguma espécie de orientação entre configurações? Talvez certas relações sejam assimétricas, de maneira que uma configuração conserve vestígios de outra de forma que a relação inversa não seja equivalente. Uma gravação musical oferece uma imagem. O ficheiro actual pode conservar informação acerca de uma execução que já ocorreu. A gravação contém vestígios do concerto; o concerto não continha antecipadamente o ficheiro final. Existe uma assimetria entre as duas configurações.

Naturalmente, este exemplo acontece dentro do tempo e portanto não pode definir Nexo. Serve apenas para mostrar que uma relação pode possuir orientação sem

ser uma simples distância. O desafio futuro será formular uma assimetria semelhante sem esconder a palavra antes dentro da própria definição.

Trama procura responder à pergunta espacial. Se não existem posições fundamentais, talvez aquilo que chamamos proximidade surja de padrões de dependência e conectividade. Dois elementos seriam «próximos» não porque já estejam colocados lado a lado, mas porque a estrutura das suas relações os torna vizinhos numa geometria emergente.

Uma rede de metro fornece a imagem mais simples. Duas estações podem parecer próximas num mapa esquemático porque estão directamente ligadas, embora a distância geográfica real seja diferente da representação. Num nível ainda mais abstracto, poderíamos imaginar que toda a geometria fosse reconstruída a partir da própria rede de ligações.

Uma composição para vários instrumentos oferece uma segunda imagem. O piano e o violoncelo podem estar afastados no palco e, no entanto, partilhar continuamente material, enquanto dois instrumentos fisicamente vizinhos quase nunca interagem musicalmente. Se só tivéssemos acesso à estrutura da peça, talvez construíssemos um mapa de proximidade musical completamente diferente da disposição das cadeiras. Trama procura explorar algo vagamente análogo: não espaço disfarçado, mas uma organização relacional a partir da qual espaço possa tornar-se possível.

Tensão enfrenta o problema da energia. Se não existe ainda tempo fundamental, é perigoso defini-la como «capacidade de mudar», porque a própria palavra mudar pressupõe evolução temporal. Talvez seja mais prudente falar de diferenças de compatibilidade entre configurações, relações que tornam algumas organizações possíveis e outras incompatíveis.

Um acorde pode novamente servir-nos. Certas notas podem coexistir dentro de uma determinada estrutura harmónica e outras transformar radicalmente a identidade do conjunto. Não precisamos de dizer que uma nota possui uma substância chamada tensão musical; a tensão resulta da relação entre componentes e contexto.

Uma pintura produz algo semelhante através do equilíbrio entre formas e cores. Introduzir uma pequena mancha vermelha pode reorganizar toda a composição porque altera relações de contraste, peso visual e direcção. A tinta acrescentada é material, mas aquilo que chamamos tensão pictórica não está contido isoladamente na molécula de pigmento.

Na Física, Tensão terá de adquirir um significado muito mais preciso se alguma vez quiser aproximar-se de uma teoria. Por enquanto, funciona apenas como uma tentativa de imaginar diferenças estruturais que, articuladas com Nexo e Trama, poderiam contribuir para o aparecimento posterior daquilo que descrevemos como energia.

É importante não imaginar estes três conceitos como andares construídos um em cima do outro. Essa imagem voltaria a introduzir espaço, e se dissermos que primeiro

aparece Nexo, depois Trama e finalmente Tensão introduzimos também tempo. Talvez sejam melhor pensados como aspectos simultâneos de uma organização ainda desconhecida.

A música oferece aqui uma comparação especialmente feliz. Ritmo, harmonia e timbre não precisam de existir como três pisos da obra. Uma nota pode possuir simultaneamente duração, altura e espectro, e a separação entre essas propriedades pertence em parte à maneira como analisamos o acontecimento sonoro. Nexo, Trama e Tensão poderão vir a revelar-se igualmente inseparáveis ou talvez um deles se torne desnecessário. Neste momento não devemos exigir que a metáfora nos dê mais do que aquilo que ela pode oferecer.

Toda esta construção parece suficientemente elegante para despertar imediatamente desconfiança. A elegância conceptual não constitui evidência física. Podemos desenhar um sistema filosófico perfeitamente simétrico e, ainda assim, ele não descrever o Universo.

Um arquitecto pode projectar um edifício magnífico que não se sustenta quando calculamos as forças reais. Um compositor pode inventar uma estrutura extremamente bonita no papel que, quando tocada, simplesmente não produz aquilo que imaginava. Uma teoria física precisa de sobreviver ao equivalente experimental desse ensaio.

Se Ω, Nexo, Trama e Tensão tiverem algum futuro para além deste livro, terão de explicar por que o Mundo observável apresenta exactamente as propriedades que conhecemos. Precisarão de recuperar Relatividade Geral onde ela funciona, Mecânica Quântica, partículas, causalidade, conservação, três grandes dimensões espaciais e todos os resultados experimentais que as teorias actuais descrevem com enorme precisão.

Não basta inventar um vocabulário capaz de soar profundo. Esta exigência separa especulação científica de misticismo decorativo. Podemos fazer perguntas radicalmente abertas e utilizar imaginação, mas precisamos de conservar continuamente a possibilidade de estarmos errados.

A poesia oferece talvez uma analogia inesperada. Um poema pode inventar relações entre coisas que nunca tinham sido colocadas lado a lado e, desse modo, tornar visível uma possibilidade conceptual. A Ciência também precisa por vezes de imaginação para descobrir novas formas de perguntar, mas a poesia não precisa de submeter uma metáfora a um acelerador de partículas. A Física precisa.

Talvez a atitude correcta seja manter duas capacidades simultâneas: liberdade suficiente para imaginar que as categorias mais óbvias podem não ser fundamentais e disciplina suficiente para abandonar qualquer hipótese quando a realidade não a sustenta. Foi assim que Newton transformou gravidade numa lei matemática e Einstein transformou depois a própria imagem do espaço e do tempo. Nenhum deles começou do zero; cada teoria preservou enorme quantidade de conhecimento anterior e alterou aquilo que parecia conceptual e fisicamente necessário.

Podemos regressar agora à imagem inicial do ponto luminoso explodindo no vazio. Ela continua bela, mas já sabemos por que é perigosa. Pressupõe palco, relógio e energia antes de termos explicado qualquer um deles. Uma imagem alternativa seria menos cinematográfica e, paradoxalmente, mais radical: não começamos com uma coisa, começamos com a possibilidade de relações.

Ainda não sabemos que relações são essas, se existem, se são discretas ou contínuas, matematicamente simples ou extraordinariamente complexas. Também não sabemos se a própria palavra relação poderá sobreviver a uma teoria futura sem sofrer a mesma transformação que espaço e tempo sofreram com Einstein. Mas o exercício já produziu um resultado intelectual importante: aquilo que parecia absolutamente inevitável — espaço, tempo e energia — pode ser colocado entre parênteses sem que a pergunta pelo Mundo deixe imediatamente de fazer sentido.

Quando retiramos o relógio, aparece o primeiro grande abismo. Se tempo não for fundamental, aquilo que experimentamos como sucessão, duração, memória e passagem precisa de surgir de alguma coisa que não seja simplesmente outro relógio escondido por baixo do relógio. A música torna esta dificuldade particularmente aguda: uma melodia parece impossível sem tempo porque precisa de uma nota depois de outra, mas talvez aquilo que chamamos tempo reúna várias funções diferentes — ordenar acontecimentos, medir durações, relacionar mudanças e construir a experiência psicológica de passagem — que não precisam de possuir exactamente a mesma origem.

Será possível haver ordem sem um relógio fundamental? Poderá uma configuração funcionar como registo de outra sem existir um «agora» universal? E por que sentimos o tempo avançar numa direcção quando tantas equações fundamentais parecem muito menos interessadas nessa passagem do que a nossa experiência quotidiana? São essas perguntas que começam no próximo capítulo.

O Tempo Pode Nunca Ter Existido

Um relógio mede mudanças; a vertigem começa quando perguntamos o que mede o relógio.

O despertador toca às sete e meia. Abrimos os olhos, olhamos para os números luminosos e pensamos que o tempo está ali, objectivo, medido e exterior a nós. Acordámos tarde ou cedo, faltam vinte minutos para sair de casa, o café arrefecerá em poucos minutos e alguém chegará dentro de uma hora. O quotidiano parece confirmar continuamente que existe uma entidade chamada tempo que corre independentemente de tudo o resto e que os relógios apenas se limitam a acompanhar.

Mas um relógio não mede directamente uma substância invisível chamada tempo. Compara mudanças regulares. Um relógio mecânico utiliza oscilações; um relógio de quartzo utiliza vibrações de um cristal; um relógio atómico explora transições extremamente estáveis entre estados de átomos. Quando dizemos que passaram dez segundos, estamos a relacionar um processo com outro que escolhemos como padrão.

A definição contemporânea do segundo torna isto particularmente claro.[1] Desde 1967, o segundo do Sistema Internacional é definido através de uma frequência associada a uma transição específica do átomo de césio-133. Em vez de perguntar «quanto tempo absoluto passou?», a metrologia moderna estabelece uma relação extremamente precisa entre processos físicos e utiliza essa regularidade como unidade.

Uma pulsação musical ajuda-nos a aproximar a ideia. Um metrónomo não contém tempo dentro da caixa; produz acontecimentos regulares que permitem comparar a duração de outros acontecimentos. Se um músico toca quatro notas entre dois batimentos e outro toca uma nota longa, ambos organizam gestos relativamente a uma referência comum. Retiremos o metrónomo e a música não perde automaticamente toda a ordem. Os músicos podem escutar-se, responder uns aos outros, conservar proporções, antecipar entradas e construir duração através das relações entre acontecimentos. A ausência de um relógio exterior não implica necessariamente ausência de estrutura temporal.

[1] A definição SI actual fixa o valor numérico da frequência hiperfina do estado fundamental do césio-133 em 9 192 631 770 Hz. Ver BIPM, *The International System of Units (SI)*, 9.ª ed., e NIST, «Definitions of SI Base Units», actualizações de 2025.

Talvez o tempo físico possua algo desta natureza relacional. Durante séculos, porém, uma das imagens mais poderosas da Física foi profundamente diferente. Newton imaginava um tempo absoluto que fluía uniformemente, por si mesmo, independentemente de tudo aquilo que acontecesse no Universo. Mesmo se todas as estrelas desaparecessem, todos os corpos parassem e nenhuma transformação fosse observável, o tempo continuaria a passar silenciosamente.

A imagem é quase cinematográfica. Imaginemos que retiramos todos os actores de um filme, apagamos a imagem e o som e deixamos apenas uma fita vazia a correr no projector. O filme não mostra acontecimento algum, mas a película continua a avançar a uma velocidade constante. O tempo newtoniano funciona vagamente como esse mecanismo exterior: os acontecimentos ocupam posições numa sequência que já existe.

Esta concepção corresponde muito bem à nossa intuição quotidiana. Sentimos que existe um «agora» comum a todo o Universo e imaginamos que, neste preciso instante, uma estrela distante, uma pessoa em Tóquio e nós próprios estamos todos localizados na mesma fatia universal do presente.

Einstein destruiu esta imagem com uma delicadeza matemática devastadora, porque na Relatividade Especial observadores em movimento relativo podem discordar acerca da duração entre acontecimentos e, mais surpreendentemente, acerca de quais acontecimentos distantes são simultâneos. Não existe, de maneira geral, um único presente universal capaz de dividir todo o Cosmos numa mesma folha de «agora».

A famosa experiência mental do comboio torna isto visível. Imaginemos um comboio em movimento e dois relâmpagos que atingem simultaneamente, para um observador parado na estação, a frente e a traseira da composição. Uma pessoa situada no centro do comboio move-se em direcção ao ponto onde ocorreu um dos relâmpagos e afasta-se do outro, recebendo os dois sinais luminosos em momentos diferentes.

O ponto decisivo não é um atraso psicológico ou uma falha dos olhos. Quando analisamos a situação segundo as regras da Relatividade, a própria atribuição de simultaneidade a acontecimentos espacialmente separados depende do estado de movimento do observador.

O cinema oferece uma analogia imperfeita mas útil. Imaginemos duas câmaras a filmar o mesmo espectáculo de posições diferentes e em movimentos diferentes. Na montagem podemos sincronizar imagens através de relógios comuns, mas a Relatividade diz-nos que, em situações físicas reais com observadores em movimento relativo, a própria maneira de atribuir coordenadas temporais a acontecimentos distantes depende do referencial. Não existe um montador cósmico colocado fora do Universo a decidir qual dos planos corresponde ao verdadeiro presente.

Isto não significa que tudo seja subjectivo. As diferentes medições estão relacionadas por transformações matemáticas extremamente precisas. É exactamente por isso que a Relatividade funciona: a ausência de um relógio universal não destrói a objectividade; substitui-a por relações invariantes entre observadores.

Uma composição polirrítmica oferece uma imagem interessante. Um músico organiza a frase em grupos de três, outro em grupos de quatro e ambos partilham a mesma execução. Não existe necessidade de declarar que apenas uma das divisões é real; existem relações precisas que permitem compreender onde as duas estruturas se reencontram.

A Física relativista faz algo muito mais rigoroso. Cada observador possui aquilo a que chamamos tempo próprio, a duração medida por um relógio que acompanha a sua trajectória através do espaço-tempo. Dois relógios que seguem percursos diferentes podem regressar ao mesmo lugar tendo acumulado durações diferentes.

Isto não é uma curiosidade teórica. Sistemas de navegação por satélite como o GPS precisam de corrigir efeitos relativistas porque os relógios nos satélites não avançam exactamente ao mesmo ritmo que relógios na superfície terrestre. Sem essas correcções, os erros de localização acumular-se-iam rapidamente. O relógio deixa então de parecer testemunha de um tempo exterior e passa a fazer parte da própria Física que está a medir.

Uma instalação artística interactiva ajuda-nos a sentir a mudança. Imaginemos vários dispositivos distribuídos por uma sala, cada um com o seu próprio ritmo interno e trajectória. Não existe necessariamente um único relógio central do qual todos copiam o tempo; podemos relacionar os dispositivos comparando sinais e acontecimentos entre eles.

A Relatividade Geral aprofunda ainda mais esta estranheza. A presença de matéria e energia altera a geometria do espaço-tempo, e relógios situados em condições gravitacionais diferentes podem acumular durações diferentes. O tempo deixa de ser uma régua universal e torna-se parte de uma geometria dinâmica.

Um relógio colocado mais perto de uma massa gravitacional não funciona, em termos relativistas, como se estivesse simplesmente atrasado por defeito mecânico. A diferença pertence à própria estrutura física das durações possíveis naquele espaço-tempo. É difícil continuar a imaginar, depois disso, um rio temporal absolutamente uniforme passando por detrás de todos os acontecimentos.

A filosofia chama presentismo à ideia de que apenas o presente existe realmente, enquanto passado e futuro não existem no mesmo sentido. É uma posição filosoficamente respeitável, mas a Relatividade torna difícil combinar um presente metafisicamente privilegiado com a ausência física de simultaneidade universal.

Podemos imaginar um romance em que diferentes personagens vivem acontecimentos que não podem ser todos alinhados numa única página chamada «agora». A narrativa continua coerente porque existem relações causais e sequências locais, mas não precisamos de imaginar uma página cósmica única onde todas as personagens estejam simultaneamente inscritas.

Uma partitura orquestral aproxima-nos ainda mais. Cada instrumento possui a sua linha, e a partitura completa permite relacioná-las. Mas se retirarmos a numeração dos compassos e deixarmos apenas indicações de relação — esta entrada ocorre

depois daquela, esta nota coincide com esta, esta resposta depende daquela frase — ainda pode sobreviver uma parte importante da estrutura musical. Talvez alguma coisa semelhante possa acontecer numa descrição fundamental do Universo: a ordem pode sobreviver antes de termos definido um relógio universal.

É aqui que o problema se aproxima directamente do primeiro capítulo. Se tempo não for fundamental, não basta dizer que o Universo «começou» sem tempo e depois, em determinado momento, o tempo apareceu. Essa frase já introduz uma sequência temporal entre um estado sem tempo e outro com tempo. Precisamos de imaginar uma relação mais subtil.

Talvez determinadas configurações possuam correlações que permitem utilizar uma parte do sistema como relógio relativamente a outra. Em vez de existir um tempo exterior que faz tudo evoluir, uma variável física pode funcionar como referência para descrever como outras variáveis se relacionam.

A ideia aparece de diferentes maneiras em investigação sobre gravidade quântica e fundamentos da Mecânica Quântica. Uma das propostas mais conhecidas, associada a Don Page e William Wootters, mostra como uma descrição global que parece estacionária pode conter subsistemas que apresentam evolução quando um deles é utilizado como relógio relativamente ao outro.[2]

A música oferece uma analogia simples, embora necessariamente limitada. Imaginemos uma peça sem metrónomo em que o violoncelo repete uma figura regular. Os restantes músicos não precisam de consultar segundos; podem organizar acontecimentos relativamente à repetição do violoncelo. Se perguntarmos «quando entra a flauta?», a resposta poderia ser «na quinta repetição do violoncelo». O relógio não está fora da peça; é uma relação interna entre partes da própria composição.

> **Hipótese do Relógio Relacional**
> Aquilo que numa descrição física aparece como evolução temporal poderá ser expresso, em determinados níveis, através de correlações entre configurações, utilizando algumas variáveis físicas como referências relativamente às quais outras são ordenadas e comparadas.

Esta hipótese não afirma que o problema do tempo esteja resolvido. Apenas mostra que a palavra tempo pode esconder funções que talvez sejam reconstruídas através de relações. Precisamos agora de separar algumas dessas funções: uma delas é duração, outra é ordem, uma terceira é orientação, e existe ainda passagem subjectiva, a experiência estranha de que o presente avança continuamente e o futuro se transforma em passado. Estas quatro coisas aparecem unidas no quotidiano e podem não possuir exactamente a mesma explicação física.

[2] Don N. Page e William K. Wootters, «Evolution without Evolution: Dynamics Described by Stationary Observables», *Physical Review D* 27 (1983): 2885–2892; Alain Connes e Carlo Rovelli, «Von Neumann Algebra Automorphisms and Time-Thermodynamics Relation in General Covariant Quantum Theories», *Classical and Quantum Gravity* 11 (1994): 2899–2918.

Uma peça de cinema oferece uma excelente maneira de distingui-las. A duração do filme pode ser noventa minutos; a ordem dos planos determina que uma cena aparece antes de outra; a narrativa pode possuir uma orientação causal; e o espectador experiencia a projecção como algo que decorre. Estas propriedades estão relacionadas, mas não são idênticas.

Podemos inverter a ordem dos planos sem alterar necessariamente a duração total. Podemos fazer um filme em flashback em que a ordem narrativa difere da ordem causal dos acontecimentos representados. Podemos pausar a projecção sem destruir a estrutura interna da história. Talvez o tempo físico também precise de ser desmontado desta maneira antes de procurarmos a sua origem.

A orientação temporal conduz-nos à entropia. Imaginemos uma chávena que cai ao chão e se parte. Não estranhamos o acontecimento. Se víssemos os fragmentos saltarem espontaneamente do chão, encaixarem-se perfeitamente e regressarem à mesa sob a forma de chávena intacta, concluiríamos imediatamente que o filme está a ser projectado ao contrário.

Muitas leis microscópicas fundamentais possuem uma relação com o tempo muito mais simétrica do que os acontecimentos macroscópicos quotidianos sugerem. A Termodinâmica introduz uma assimetria através da entropia: em sistemas isolados ou aproximadamente isolados, estados macroscópicos altamente organizados tendem a evoluir para estados compatíveis com um número maior de configurações microscópicas.

Um perfume libertado num quarto fornece a imagem clássica. As moléculas começam concentradas numa pequena região e espalham-se gradualmente pelo espaço. Não esperamos que, meia hora depois, todas regressem espontaneamente ao frasco. Uma gota de tinta dissolvida em água comporta-se da mesma maneira. Vemos a cor espalhar-se e reconhecemos uma direcção temporal porque o estado misturado é compatível com um número incomparavelmente maior de configurações microscópicas do que a gota inicialmente concentrada.

A música pode ajudar a evitar a interpretação errada de que entropia significa simplesmente «desordem». Imaginemos uma orquestra com todos os músicos reunidos numa única nota extremamente precisa e depois uma textura em que cada instrumento pode escolher entre milhares de microvariações dentro de certos limites. O segundo estado possui muitas mais maneiras microscópicas de ser realizado, mesmo que musicalmente possa soar extremamente organizado. A entropia é um conceito estatístico, não um juízo estético.

A famosa seta termodinâmica do tempo relaciona a direcção que chamamos futuro com o aumento de entropia em determinadas condições macroscópicas. Isto ajuda a explicar por que encontramos chávenas que se partem e não fragmentos que espontaneamente se reorganizam. Mas aparece imediatamente outra pergunta: por que o Universo começou num estado de entropia suficientemente baixa para que essa diferença pudesse crescer?

A chamada Hipótese do Passado procura responder assumindo que o Universo possuía, numa fase inicial, um estado macroscópico extraordinariamente especial e de baixa entropia relativamente às possibilidades disponíveis. Essa condição inicial permitiria explicar grande parte da seta termodinâmica que observamos.

A expressão pode parecer apenas deslocar o mistério. Em vez de perguntarmos por que a entropia aumenta, perguntamos por que o passado cósmico possuía condições tão especiais. Ainda assim, separar as perguntas é um avanço.

Uma composição ajuda-nos novamente. Se começarmos uma improvisação com todos os músicos sustentando exactamente a mesma nota e depois permitirmos progressivamente mais liberdade, a estrutura inicial explica por que certas transformações seguintes possuem uma orientação. Mas permanece a pergunta de por que começámos precisamente naquela nota comum. A condição inicial cria a seta sem explicar necessariamente a sua própria origem.

A memória parece profundamente ligada a esta assimetria. Recordamos o passado e não o futuro. Fotografias registam acontecimentos anteriores. Fósseis conservam estruturas produzidas por organismos que existiram antes. Uma cicatriz contém informação acerca de uma ferida anterior. Estes registos não são simples testemunhas exteriores do tempo; fazem parte da maneira como distinguimos direcção temporal.

Uma gravação musical é particularmente clara. O ficheiro actual contém relações físicas produzidas por uma execução passada. A gravação pode permitir reconstruir aspectos do concerto, enquanto o concerto original não continha antecipadamente a gravação final. Existe uma assimetria entre estado e registo.

Foi precisamente para explorar uma possibilidade deste género que introduzimos Nexo no primeiro capítulo. Se o tempo não for fundamental, talvez alguma forma de orientação possa surgir de relações assimétricas entre configurações, especialmente quando uma conserva informação reconstruível acerca de outra.

A formulação precisa ainda de evitar uma armadilha. Se dissermos simplesmente que B contém um registo de A porque A aconteceu antes de B, já utilizámos tempo para explicar aquilo que queríamos fazer emergir. Precisamos de inverter a construção: caracterizar fisicamente uma relação assimétrica e perguntar se aquilo que chamamos «antes» pode ser posteriormente reconstruído a partir dela.

Uma fotografia oferece uma analogia útil. Podemos olhar para uma imagem e inferir que certa configuração de luz atingiu a câmara e modificou o sensor. A relação entre cena e registo não é simétrica: a fotografia contém estrutura correlacionada com a cena de uma maneira que uma cena aleatória não contém necessariamente informação acerca daquela fotografia particular. Nexo tenta apontar para uma assimetria deste género num nível muito mais fundamental.

Axioma 3 — Nexo, primeira formulação
O Nexo designa uma orientação assimétrica entre configurações relacionais, tal que certas configurações podem conservar relações reconstruíveis com outras sem que a relação inversa seja equivalente. A ordem temporal poderá emergir, em parte, dessa assimetria.

Esta formulação continua provisória. A palavra reconstruível precisa de adquirir um significado quantitativo e teremos de mostrar que não escondemos entropia, causalidade ou tempo dentro da definição. Mas a direcção conceptual é importante: em vez de pressupor uma seta temporal e depois colocar acontecimentos nela, procuramos saber se uma seta pode aparecer a partir da estrutura dos registos.

A literatura oferece uma imagem surpreendentemente útil. Imaginemos um romance cujas páginas perderam a numeração. Ainda assim, determinadas relações internas podem permitir reconstruir parte da ordem: uma personagem possui uma cicatriz que ainda não tinha numa cena anterior, uma casa aparece destruída depois de a termos visto intacta, uma carta é lida depois de ter sido escrita. A narrativa contém pistas assimétricas e não precisamos de conhecer previamente o número de cada página para perceber que algumas sequências são incompatíveis com outras.

Talvez parte da ordem física possa funcionar de maneira semelhante: os próprios estados contêm relações que restringem a maneira como podem ser organizados. Isto aproxima-nos de hipóteses exploradas por Julian Barbour e outros investigadores, nas quais o Universo pode ser descrito através de configurações completas sem atribuir ao tempo o estatuto de entidade fundamental. Em algumas versões, aquilo que chamamos história poderia ser reconstruído através das estruturas presentes nessas configurações e dos registos que contêm. A ideia é radical e não constitui consenso da Física, mas mostra que a hipótese de um Universo fundamentalmente sem tempo pode ser formulada de maneira tecnicamente séria.

Outra abordagem, associada a Carlo Rovelli e Alain Connes, explora aquilo que se chama tempo térmico. Em determinados contextos, a orientação e o fluxo temporal podem ser relacionados com o estado estatístico de um sistema, em vez de serem impostos por um relógio universal exterior. Não precisamos de entrar na Matemática para perceber a inversão conceptual: normalmente imaginamos primeiro tempo e depois descrevemos como um sistema muda dentro dele; a hipótese do tempo térmico pergunta se algumas propriedades temporais podem ser extraídas do próprio estado físico.

Uma dança oferece uma analogia distante mas sugestiva. Imaginemos uma improvisação sem pulsação estabelecida. À medida que os corpos interagem, determinadas repetições e tensões começam a produzir uma orientação rítmica que nenhum bailarino tinha imposto antecipadamente. A analogia não prova que tempo seja emergente, mas mostra que ordem e duração podem surgir dentro de uma organização sem um metrónomo exterior.

A nossa experiência subjectiva acrescenta ainda outra camada. Esperar cinco minutos numa sala de espera pode parecer muito mais longo do que cinco minutos de uma conversa intensa. Uma música de vinte minutos pode parecer brevíssima e um ruído desagradável de trinta segundos interminável. Os relógios não mudaram; a experiência mudou.

A Neurociência investiga mecanismos pelos quais atenção, memória, emoção, previsibilidade e estado corporal influenciam a percepção da duração. Isto mostra que o chamado «fluxo do tempo» vivido não pode ser identificado simplesmente com a grandeza física medida por relógios.

Uma montagem cinematográfica oferece uma imagem perfeita. Podemos representar trinta anos de vida em dois minutos através de alguns planos ou prolongar dez segundos de acção durante vários minutos utilizando câmara lenta, repetição e mudança de perspectiva. O tempo da narrativa e o tempo físico da projecção não coincidem, e a consciência faz algo igualmente complexo com duração, memória e antecipação.

Talvez parte da sensação de que o presente se move resulte da maneira como o cérebro integra registos recentes, percepção actual e previsões acerca daquilo que poderá acontecer. A experiência de passagem seria então uma construção biológica sobre uma estrutura física que não precisa de conter um pequeno cursor universal chamado «agora». Isto não significa que o tempo seja uma ilusão psicológica. A pergunta correcta é mais cuidadosa: quais aspectos daquilo que chamamos tempo pertencem à estrutura física fundamental, quais emergem de relações macroscópicas e quais pertencem à experiência dos organismos?

Talvez tenhamos utilizado uma única palavra para fenómenos parcialmente diferentes. A linguagem torna o problema ainda mais traiçoeiro. Quase não conseguimos pensar sem verbos temporalizados: «foi», «será», «surge», «transforma-se», «vem antes», «depois aparece». Mesmo quando tentamos descrever um nível sem tempo, a gramática começa imediatamente a reconstruir uma sequência.

Uma poesia sem verbos poderia tentar escapar por alguns instantes, mas até a leitura do poema acontece numa ordem. A própria consciência parece organizar-se temporalmente. Isto significa que imaginar ausência de tempo talvez seja cognitivamente tão difícil como imaginar uma cor completamente fora do espectro da nossa visão. Podemos compreendê-la formalmente antes de conseguir visualizá-la.

A Física já nos habituou a essa diferença. Conseguimos trabalhar matematicamente com espaços de muitas dimensões sem formar uma imagem mental fiel deles. Talvez uma realidade sem tempo fundamental exija a mesma disciplina.

Nexo não deve, por isso, transformar-se simplesmente numa palavra nova para tempo. Se dissermos que configurações «evoluem através do Nexo», teremos apenas escondido o relógio dentro de outro nome. O conceito só terá utilidade se conseguir explicar pelo menos três coisas sem pressupô-las: ordem, registos e orientação. Além disso, precisa de recuperar a experiência macroscópica de duração e a estrutura

relativista do espaço-tempo quando passamos para escalas onde essas descrições funcionam.

Uma composição experimental pode aceitar regras estranhas, mas se no fim pretendemos reconhecer uma determinada melodia, a estrutura precisa de explicar como a melodia reaparece. O mesmo vale para uma teoria fundamental. Se retirarmos o tempo, teremos de o devolver, e talvez este seja o teste mais exigente de toda a experiência que iniciámos com Ω.

Não basta imaginar um domínio sem relógios e declarar que o tempo é emergente. Precisamos de compreender como segundos, durações relativistas, causalidade, entropia, memória e experiência de passagem aparecem depois sem contradição. A tarefa é enorme, mas a pergunta já mudou de natureza. Em vez de perguntarmos simplesmente «o tempo existe?», podemos perguntar que conjunto de relações precisa de existir para que aquilo que chamamos tempo se torne uma descrição necessária e extremamente precisa.

Uma partitura sem números de compasso pode ainda conter ordem. Uma improvisação sem metrónomo pode produzir pulsação. Uma fotografia pode conservar um passado. Uma narrativa pode permitir reconstruir sequência através das marcas deixadas pelos acontecimentos. Talvez o tempo, no nível mais profundo, seja menos parecido com um rio universal e mais parecido com a estrutura que torna essas relações possíveis.

Se assim for, aquilo que chamamos presente deixa de ser uma lâmina cósmica atravessando o Universo inteiro e torna-se uma característica local da maneira como sistemas organizam acontecimentos e registos. A hipótese permanece aberta, mas uma consequência já se tornou inevitável: se retirarmos o tempo absoluto, a ideia de espaço como recipiente independente também começa a vacilar ainda mais. Na Relatividade, ambos estão ligados; numa teoria mais fundamental, talvez nenhum deles possa ser colocado primeiro. Depois de retirarmos o relógio da parede, precisamos agora de perguntar se a própria parede estava realmente lá desde o início.

E se o Espaço Não Estiver em Lugar Nenhum?

Talvez as coisas não se encontrem porque estão próximas; talvez estejam próximas porque se encontram.

Entremos mentalmente numa sala completamente vazia. Retiremos as cadeiras, as mesas, as pessoas, o ar, a luz e qualquer objecto que consigamos imaginar. Mesmo depois dessa operação extrema, parece continuar a existir alguma coisa: largura, altura, profundidade e a possibilidade de distinguir um lado do outro. Podemos imaginar um ponto onde estava a porta e outro onde estava a janela, embora já tenhamos retirado ambas. A sala desapareceu como conteúdo, mas conservámos silenciosamente o recipiente.

É precisamente esta imagem que torna tão difícil pensar o espaço como alguma coisa que possa não ser fundamental. Estamos habituados a imaginar objectos dentro dele da mesma maneira que actores ocupam um palco. Podemos mudar a cenografia, retirar todos os intérpretes e apagar as luzes, mas o palco continua à espera. Se o espaço não for fundamental, porém, talvez não exista primeiro um palco vazio onde a realidade começa mais tarde a acontecer. Talvez aquilo que chamamos palco seja já uma propriedade da própria organização da peça.

Isaac Newton concebia o espaço de maneira próxima da primeira imagem. O espaço absoluto existiria independentemente dos corpos que nele se encontram, oferecendo uma espécie de sistema de referência último para posição e movimento. Gottfried Wilhelm Leibniz desconfiava dessa separação e defendia que espaço devia ser entendido sobretudo através das relações entre coisas. Se retirássemos todas as entidades e todas as relações espaciais, talvez não restasse um recipiente metafísico vazio esperando novos ocupantes. A disputa parece filosófica, mas contém uma pergunta que continua extraordinariamente actual: o espaço é uma coisa que existe por si ou uma maneira de organizar relações?

Uma pintura pode tornar a diferença muito clara. Imaginemos um quadro onde várias figuras ocupam uma praça. Podemos pensar primeiro numa superfície vazia, desenhar a perspectiva e depois colocar as personagens dentro dela. Mas também podemos imaginar uma composição abstracta em que a sensação de profundidade surge apenas das relações entre tamanhos, sobreposições, contrastes e direcções. A

profundidade percebida não estava guardada como uma substância por trás da tinta; emerge da organização da superfície. Isto não prova que o espaço físico seja uma ilusão pictórica, mas a analogia serve para nos libertar da obrigação de imaginar sempre primeiro o recipiente e depois as relações.

Einstein realizou uma transformação decisiva desta questão. Na Relatividade Geral, espaço e tempo deixam de ser um cenário rígido e passam a formar uma geometria dinâmica cuja estrutura se relaciona com matéria e energia. Uma estrela não se limita a estar colocada dentro de um espaço pré-fabricado; a distribuição de matéria e energia participa na geometria das trajectórias disponíveis.

A maçã regressa aqui inevitavelmente. Para Newton, podemos dizer que a Terra exerce uma força que atrai a maçã. Para Einstein, a maçã em queda livre segue uma trajectória natural numa geometria espaço-temporal curvada pela presença da Terra. Em escalas quotidianas, a descrição newtoniana funciona tão bem que podemos continuar a construir pontes e prever trajectórias sem desenhar o espaço-tempo a cada movimento. Conceptualmente, contudo, o salto é enorme: o cenário deixou de ser passivo.

Um teatro com palco móvel aproxima-nos da mudança. Imaginemos que cada actor possui uma massa suficiente para deformar ligeiramente o chão e que essa deformação altera as trajectórias dos restantes actores. Já não podemos descrever completamente a peça dizendo apenas onde estão os corpos sobre um palco independente. A distribuição dos actores e a forma do palco passam a pertencer à mesma dinâmica.

A analogia da folha de borracha, utilizada frequentemente para explicar a gravidade, precisa aqui de um aviso. Uma bola pesada colocada sobre um tecido elástico produz uma depressão e outras bolas rolam em sua direcção, mas essa demonstração utiliza a própria gravidade terrestre para explicar gravidade e representa uma superfície bidimensional mergulhada num espaço exterior. Pode ajudar a visualizar curvatura, mas não deve ser confundida com aquilo que a Relatividade Geral afirma literalmente.

Uma dança talvez ofereça uma imagem menos enganadora. Numa coreografia realizada sobre um chão plano, determinados percursos parecem mais directos. Se o próprio espaço de movimento possuir outra geometria, as trajectórias que contam como mais naturais mudam. Os bailarinos não precisam de sentir uma força invisível que os empurra lateralmente a cada instante; parte da organização pertence à geometria em que os movimentos são definidos.

Ainda assim, a Relatividade Geral continua a tratar espaço-tempo como parte fundamental da descrição. A nossa pergunta começa quando tentamos avançar mais um passo e perguntar se essa geometria poderá surgir de alguma coisa que não seja já espaço. É nesse ponto que entramos na gravidade quântica.

A teoria quântica descreve matéria e interacções microscópicas com uma precisão extraordinária. A Relatividade Geral descreve gravidade e estrutura do espaço-tempo em escalas macroscópicas com sucesso igualmente extraordinário. Mas, em regimes

onde esperamos que efeitos quânticos da própria geometria se tornem importantes, como nas proximidades daquilo que a teoria clássica descreve como singularidades ou nas condições extremas do Universo primordial, as duas estruturas não se encaixam de maneira completa.

Vários programas de investigação procuram uma teoria quântica da gravidade. Entre eles estão a gravidade quântica em laços, conjuntos causais, abordagens holográficas e a teoria das cordas. Nenhuma dessas propostas foi confirmada como a descrição definitiva da Natureza, e cada uma utiliza conceitos bastante diferentes. O facto interessante para este capítulo é que várias permitem, por caminhos distintos, colocar em causa a ideia de espaço contínuo e fundamental.

Comecemos por uma fotografia digital. À distância, vemos uma superfície lisa. Aproximamos a imagem e surgem pixels. Podemos então imaginar que aquilo que parecia contínuo a uma escala resulta de unidades ou relações discretas a outra. É uma analogia tentadora para a gravidade quântica, mas não devemos concluir que o espaço é literalmente feito de pequenos quadrados. Algumas teorias sugerem que determinadas grandezas geométricas podem possuir espectros discretos ou que uma descrição contínua deixa de ser adequada a escalas extremas, mas a estrutura matemática relevante não se parece simplesmente com o ecrã de um computador.

A gravidade quântica em laços oferece um exemplo particularmente interessante. Em certas formulações aparecem redes chamadas redes de spin, nas quais nós e ligações transportam informação associada à geometria quântica. Não devemos imaginá-las como uma rede metálica microscópica instalada dentro de um espaço já existente, porque isso inverteria precisamente a proposta: a própria geometria espacial estaria relacionada com a estrutura da rede.

Um mapa de metro pode tornar esta inversão intuitiva. Olhamos para linhas e estações e sabemos que o desenho não representa fielmente as distâncias geográficas. O que importa são ligações: esta estação comunica com aquela, aqui existe uma correspondência, ali há um ramo. Se possuíssemos apenas a rede e regras suficientes, poderíamos estudar muitas propriedades do sistema sem começar por um mapa geográfico convencional.

Agora tornemos a ideia mais radical. Em vez de haver primeiro uma cidade e depois uma rede desenhada dentro dela, imaginemos que aquilo a que chamaremos posteriormente distância e vizinhança emerge da própria estrutura das ligações. Duas regiões seriam próximas porque existe entre elas uma relação forte ou directa, e não se relacionariam porque já estavam colocadas lado a lado. É precisamente esta inversão que queremos conservar na noção de Trama.

Axioma 4 — Trama, segunda reformulação
A Trama designa uma estrutura de relações a partir da qual poderão emergir proximidade, distância e geometria. A dimensionalidade não é pressuposta à partida: deverá resultar da

> organização dessas relações e explicar por que razão, à escala macroscópica, o espaço se apresenta com três dimensões.

A frase final é indispensável. Não basta dizer que espaço emerge. Uma teoria precisa de explicar por que o espaço que experimentamos se comporta, em grandes escalas, como tendo três dimensões espaciais e por que a geometria da Relatividade Geral funciona com a precisão que observamos.

Uma composição musical fornece uma imagem útil daquilo que queremos evitar. Imaginemos um ensemble de dez músicos. Se dissermos apenas que «a música emerge das relações», ainda não explicámos por que ouvimos determinada tonalidade, determinado ritmo ou determinada forma. Precisamos de conhecer quais relações existem e como produzem precisamente aquela organização musical. A palavra relação não é uma solução por si só; Trama enfrenta exactamente esse risco, porque dizer que espaço surge de relações pode ser filosoficamente elegante e fisicamente vazio se não mostrarmos que estrutura produz métricas, dimensões, curvatura e causalidade observáveis.

Ainda assim, a intuição possui parentes científicos interessantes. Na física quântica existe um fenómeno chamado entrelaçamento. Dois sistemas quânticos podem encontrar-se num estado conjunto em que certas propriedades não podem ser descritas adequadamente atribuindo simplesmente um estado independente completo a cada parte. As correlações do conjunto tornam-se fundamentais para a descrição.

Uma analogia musical aproxima-nos do conceito sem o reproduzir. Imaginemos duas notas definidas apenas através da relação harmónica entre elas. Podemos perguntar qual é o intervalo sem tratar essa relação como propriedade exclusiva de uma nota isolada. O intervalo pertence ao par.

No entrelaçamento quântico, contudo, a situação é muito mais profunda e não deve ser reduzida a uma simples correlação clássica entre músicos que conhecem previamente a partitura. Os resultados associados às desigualdades de Bell mostram que determinadas correlações quânticas não podem ser explicadas por certas teorias de variáveis ocultas locais que apenas atribuiriam propriedades clássicas preexistentes a cada parte.

Isto também não permite enviar mensagens instantaneamente mais depressa do que a luz. As correlações são extraordinárias, mas respeitam o chamado princípio de não-sinalização: não conseguimos controlar os resultados locais de maneira a utilizar o entrelaçamento como telégrafo supraluminal. Esta cautela é importante porque a expressão «tudo está ligado» costuma entrar rapidamente em território místico. A Física Quântica mostra tipos específicos e matematicamente precisos de correlação; não demonstra que qualquer pensamento nosso comunica instantaneamente com todas as partículas do Universo.

O interesse para o espaço aparece noutro lugar. Em determinados modelos teóricos, especialmente no contexto da holografia, relações de entrelaçamento parecem

estar profundamente ligadas à geometria emergente. A ideia de holografia na Física não significa que o Universo seja literalmente uma fotografia tridimensional projectada por um aparelho escondido. Surge de resultados matemáticos em que uma teoria com gravidade definida num certo espaço pode ser relacionada com uma teoria sem gravidade definida numa fronteira de menor dimensão.

Uma pintura pode oferecer uma aproximação muito distante. Um objecto tridimensional pode ser representado numa superfície bidimensional através de relações que conservam determinada informação acerca da profundidade. Mas na holografia física a correspondência é matematicamente muito mais profunda do que uma representação pictórica.

A fórmula de Ryu e Takayanagi tornou particularmente famosa a ligação entre entrelaçamento quântico e geometria em determinados modelos holográficos.[1] De forma muito simplificada, certas medidas de entrelaçamento numa teoria quântica da fronteira correspondem a áreas geométricas no espaço gravitacional associado. Não precisamos da equação neste ponto. A imagem conceptual basta: uma quantidade que inicialmente pertence à organização de informação quântica pode relacionar-se directamente com uma propriedade geométrica.

Mark Van Raamsdonk levou esta intuição numa direcção especialmente sugestiva ao explorar como alterar o entrelaçamento poderia estar relacionado com a conectividade do espaço-tempo em modelos holográficos. A ideia é por vezes resumida popularmente dizendo que «o espaço é feito de entrelaçamento», mas essa frase é demasiado forte. O que existe são resultados e conjecturas importantes dentro de contextos teóricos específicos.

Uma peça de tecido oferece uma metáfora útil desde que saibamos onde termina. Imaginemos que cada ponto da superfície não está ligado aos restantes apenas por proximidade geométrica, mas por uma enorme quantidade de costuras invisíveis. Se cortarmos progressivamente essas ligações, o tecido pode começar a separar-se em regiões independentes. Na investigação holográfica, o entrelaçamento desempenha em certos casos um papel que lembra vagamente essas costuras: alterar a organização das correlações pode estar associado a alterações na conectividade geométrica. Não devemos concluir que o nosso espaço quotidiano já foi experimentalmente demonstrado como uma teia de entrelaçamento, mas a possibilidade altera a imaginação.

Talvez a geometria não seja primeiro um palco onde os estados quânticos se relacionam. Talvez algumas relações quânticas participem naquilo que depois reconhecemos como geometria. Um filme de animação oferece outra analogia. Podemos ver uma paisagem contínua no ecrã e imaginar que os objectos se deslocam naturalmente

[1] Shinsei Ryu e Tadashi Takayanagi, «Holographic Derivation of Entanglement Entropy from AdS/CFT», *Physical Review Letters* 96 (2006): 181602; Mark Van Raamsdonk, «Building up Spacetime with Quantum Entanglement», *General Relativity and Gravitation* 42 (2010): 2323–2329. Estes resultados pertencem a contextos holográficos específicos e não demonstram, por si só, que o espaço do nosso Universo seja literalmente "feito de entrelaçamento".

dentro dela. Nos bastidores digitais, contudo, a imagem pode resultar de relações matemáticas entre pontos, polígonos, texturas e algoritmos. A paisagem visual existe na projecção sem existir no mesmo sentido dentro da estrutura computacional que a produz.

Não estamos a afirmar que o Universo seja uma simulação. A analogia serve apenas para mostrar que uma geometria aparente pode emergir de uma descrição cujo vocabulário fundamental não contém os mesmos objectos espaciais que aparecem no resultado.

Os conjuntos causais oferecem ainda outra maneira de inverter o problema. Neste programa de investigação, a estrutura fundamental é concebida através de acontecimentos discretos parcialmente ordenados segundo relações causais. A geometria contínua do espaço-tempo deveria então emergir, em determinadas condições, de uma enorme rede dessas relações.

A ideia parece quase uma partitura em que retiramos posições exactas no espaço e durações exactas e conservamos apenas indicações como «este acontecimento pode influenciar aquele» e «estes dois não possuem uma relação causal nesta ordem». Se tivermos uma estrutura suficientemente rica dessas relações, talvez parte da geometria possa ser reconstruída.

A analogia musical é particularmente interessante porque algumas partituras contemporâneas não determinam cada segundo de uma execução. Podem indicar que um evento deve seguir-se a outro, que determinada secção começa quando um terceiro músico produz um sinal ou que certos acontecimentos podem ocorrer independentemente. A obra conserva ordem sem possuir necessariamente uma grelha métrica completa. Os conjuntos causais são, naturalmente, uma proposta matemática precisa e não uma partitura aberta, mas a comparação ajuda-nos a perceber como algumas relações podem ser fundamentais enquanto distância e duração aparecem posteriormente.

Surge então uma questão inevitável: se espaço não é fundamental, o que queremos dizer quando afirmamos que duas coisas estão longe uma da outra? Na experiência quotidiana, medimos uma distância com uma régua. Na Relatividade Geral, distância e duração pertencem a uma métrica, isto é, a uma estrutura matemática que permite atribuir separações entre acontecimentos.

Podemos imaginar a métrica como as regras de medida de um mapa. Um mapa sem escala pode mostrar relações topológicas — esta região toca naquela — sem dizer ainda quantos quilómetros existem entre elas. Acrescentar uma métrica fornece uma maneira de quantificar distância. Trama precisa, portanto, de explicar mais do que conectividade. Uma rede onde sabemos apenas quem está ligado a quem ainda não nos dá necessariamente a geometria completa do espaço.

É como conhecer quais músicos respondem a quais durante uma improvisação sem conhecer intensidade, duração, frequência das respostas ou estrutura global. A

rede é um começo, não a obra inteira. Talvez diferentes propriedades das relações permitam reconstruir graus de proximidade, e relações mais fortes, mais numerosas ou organizadas de determinadas formas poderiam corresponder a distâncias emergentes menores. Há modelos científicos onde ideias semelhantes aparecem, mas não devemos transformar essa possibilidade geral numa fórmula antes de possuirmos uma estrutura matemática convincente.

Este é um ponto importante para o livro. Ω, Nexo, Trama e Tensão não devem ganhar equações apenas para parecerem mais científicos. Uma equação é útil quando os símbolos possuem definições suficientemente precisas e a relação matemática produz consequências que podem ser examinadas. Uma fórmula vazia seria apenas caligrafia vestida de Física.

Talvez seja por isso mais honesto deixar Trama, nesta fase, como uma hipótese estrutural e reservar uma futura formalização para o Caderno de Axiomas, onde poderemos testar quais grandezas seriam necessárias. A dimensionalidade acrescenta outra dificuldade.

O nosso espaço quotidiano possui três grandes dimensões espaciais. Podemos deslocar-nos para a frente e para trás, para a esquerda e para a direita, para cima e para baixo. Na Relatividade acrescentamos o tempo numa estrutura quadridimensional, embora espaço e tempo não sejam equivalentes em todos os aspectos. Se dimensão for emergente, por que aparecem precisamente três dimensões espaciais macroscópicas?

Uma coreografia pode ajudar-nos a perceber o significado da pergunta. Uma dança realizada sobre uma corda esticada dispõe essencialmente de uma dimensão de deslocação ao longo da corda. Numa superfície plana, os movimentos ganham duas direcções independentes. Num palco convencional, o corpo dispõe de três dimensões espaciais. O número de dimensões altera radicalmente as possibilidades de movimento.

Na Matemática podemos definir espaços com qualquer número de dimensões, mas a pergunta física é saber por que a realidade macroscópica que habitamos apresenta a estrutura que apresenta. Algumas teorias de gravidade quântica sugerem inclusive que uma noção chamada dimensão espectral pode assumir valores diferentes em escalas diferentes.

O termo parece hermético, mas a ideia pode ser aproximada através de uma experiência. Imaginemos que libertamos tinta num meio e observamos como ela se espalha. A velocidade e o padrão de difusão dependem da geometria disponível. Num fio fino, espalha-se praticamente ao longo de uma direcção; numa folha, em duas; num volume, em três.

Uma dimensão espectral é uma maneira matemática de inferir propriedades semelhantes da geometria através de processos de difusão ou propagação. Em alguns modelos de gravidade quântica, o comportamento efectivo pode parecer possuir uma dimensionalidade diferente em escalas muito pequenas. Isto não significa que tenha

sido observado experimentalmente que o nosso espaço «perde dimensões» quando nos aproximamos da escala de Planck; é uma característica encontrada em alguns modelos. Mas reforça a possibilidade de dimensão não ser simplesmente um número colocado no Universo desde o início.

A pintura conhece há séculos uma espécie de jogo conceptual com dimensões. Uma tela é bidimensional e pode produzir uma experiência convincente de profundidade. O cinema projecta imagens sobre uma superfície mas constrói mundos que percebemos tridimensionalmente e organiza ainda uma dimensão temporal através da sequência. Nenhum destes casos demonstra que espaço físico seja uma representação, mas recorda-nos que dimensão percebida e estrutura fundamental podem não coincidir de maneira simples. Talvez Trama seja precisamente aquilo que precisa de explicar por que uma estrutura relacional sem geometria inicial produz, numa determinada escala, um mundo onde três dimensões se tornam tão estáveis que toda a nossa anatomia e percepção evoluem dentro delas.

Há ainda outra possibilidade que devemos considerar. Talvez seja errado imaginar que Trama se encontra «por baixo» do espaço. A expressão parece inocente e contém novamente geometria. «Por baixo» pressupõe uma direcção. Podemos dizer que Trama é conceptualmente mais fundamental sem a colocar num andar inferior da realidade.

A música fornece uma imagem mais adequada. Harmonia não está espacialmente debaixo da melodia e ritmo não fica atrás do timbre. São aspectos diferentes de uma organização que podem ser analisados separadamente sem ocuparem pisos ontológicos. Talvez Nexo, Trama e Tensão sejam algo deste género: maneiras diferentes de descrever propriedades de uma estrutura única.

Isso impediria uma arquitectura excessivamente mecânica onde primeiro construímos Nexo, depois colocamos Trama em cima e finalmente acrescentamos Tensão. O próprio verbo construir introduziria uma história temporal que ainda não temos direito de pressupor. Podemos pensar num acorde. A relação entre alturas, o espectro de cada nota e as possibilidades de resolução estão presentes conjuntamente. Analisá-los em momentos diferentes não significa que tenham surgido nessa ordem.

Esta simultaneidade conceptual será importante quando chegarmos à energia. Há ainda uma questão mais perturbadora: se o espaço emerge de relações, onde estão essas relações? A pergunta parece legítima e talvez esteja mal formulada.

Perguntar onde está uma relação pode ser tão estranho como perguntar onde está exactamente o intervalo de quinta entre duas notas. Podemos localizar as fontes sonoras, medir ondas no ar e estudar actividade neural, mas a relação de frequência que definimos como quinta não ocupa um pequeno compartimento entre os altifalantes. Podemos também perguntar onde está uma amizade. As pessoas possuem corpos e localizações, mas a relação entre elas não é uma terceira pessoa colocada fisicamente no meio. Isto não torna relações irreais.

Uma ligação causal, uma distância ou uma proporção podem ser objectivamente verdadeiras sem constituírem substâncias localizadas. Talvez seja precisamente esse hábito de procurar sempre «onde está a coisa?» que nos dificulta pensar um nível fundamental relacional.

A escultura oferece uma analogia interessante através do espaço negativo. Nalgumas obras, aquilo que existe entre volumes é tão importante para a composição como a própria matéria. Podemos apontar para os blocos físicos, mas a relação espacial entre eles participa decisivamente na forma da obra. Uma pausa musical possui uma função semelhante. O silêncio entre dois ataques não é um instrumento adicional e, no entanto, alterar a sua duração transforma a frase. A realidade pode conter propriedades que não são coisas, e talvez espaço seja uma delas.

A afirmação precisa de enorme prudência, porque espaço-tempo na Relatividade Geral é fisicamente real: possui geometria dinâmica, pode transportar ondas gravitacionais e participa causalmente nos fenómenos. Chamar-lhe emergente não significaria torná-lo imaginário. Temperatura é emergente e pode matar uma pessoa. Uma onda é emergente e pode destruir um cais. Uma melodia é estrutural e pode ser reconhecida por milhares de ouvintes. Emergência não significa irrealidade.

Talvez este seja um dos preconceitos mais persistentes que precisamos de abandonar: imaginar que apenas aquilo que existe no nível mais fundamental é verdadeiramente real. Uma pintura existe sem que a categoria «pintura» tenha de aparecer nas equações da química dos pigmentos. Uma sinfonia existe sem que uma molécula de ar seja uma pequena sinfonia. O espaço poderia ser igualmente real como propriedade macroscópica de uma estrutura mais profunda.

Esta possibilidade permite-nos reformular o problema inicial. Talvez uma sala vazia continue a parecer ter largura, altura e profundidade porque já estamos a pensar dentro do regime em que geometria emergiu. Tentar imaginar Ω como uma sala sem objectos falha porque conservámos precisamente a propriedade que queremos explicar. Seria como tentar imaginar silêncio retirando todos os instrumentos mas deixando uma gravação contínua de ruído de sala. Ainda não retirámos aquilo que dizíamos querer retirar.

Uma verdadeira ausência de espaço fundamental não seria uma sala infinitamente pequena nem uma escuridão sem paredes. Esses conceitos continuam espaciais. Talvez não consigamos visualizá-la, mas compreender uma hipótese não exige sempre visualizá-la.

Um músico consegue entender uma relação matemática entre frequências que não consegue transformar instantaneamente numa imagem. Um físico trabalha com espaços de Hilbert sem imaginar literalmente uma sala com infinitas dimensões. A Matemática permite pensar estruturas para as quais o sistema visual nunca evoluiu. Talvez uma teoria mais profunda do espaço exija precisamente essa passagem da imagem para a relação.

Trama é, por enquanto, uma tentativa de manter aberta essa possibilidade. Uma futura formalização teria de responder a perguntas concretas: que entidades ou relações constituem a estrutura? Como se define conectividade? Como aparece uma métrica? Por que emergem três dimensões? Como surge curvatura? Como recuperamos a Relatividade Geral? Que papel desempenha o entrelaçamento, se desempenhar algum? E que observação permitiria distinguir esta teoria de alternativas?

Sem essas respostas, permanecemos num laboratório conceptual. Mas um laboratório conceptual pode ser útil quando sabemos que ainda não estamos a apresentar resultados experimentais. É também uma maneira de descobrir quais perguntas uma teoria futura terá obrigatoriamente de responder.

Podemos agora regressar à nossa sala vazia e perceber que ela nunca esteve realmente vazia. Mesmo depois de retirarmos todos os objectos, deixámos geometria, extensão e possibilidade de localização. Se quisermos retirar também isso, já não podemos continuar a imaginar uma sala.

Talvez devamos imaginar uma composição antes de se tornar som espacializado, não como ficheiro guardado numa sala, mas como estrutura pura de relações; ou uma coreografia reduzida a relações entre gestos antes de escolhermos um palco concreto. Nenhuma destas analogias elimina verdadeiramente o espaço porque os nossos pensamentos continuam a acontecer num cérebro espacial, mas ajudam-nos a deslocar a pergunta.

A realidade fundamental pode não estar em lado nenhum porque «estar em algum lado» talvez seja uma propriedade que só aparece depois. Esta formulação deixa imediatamente a energia numa posição difícil. Se energia se relaciona com transformações, movimento, campos e simetrias temporais, o que poderá significar num domínio onde nem espaço nem tempo são ainda fundamentais?

Uma mola comprimida precisa de geometria. Uma pedra levantada depende da relação gravitacional e da posição. Movimento precisa de duração e distância. Talvez, portanto, aquilo que chamamos energia também tenha de ser reconstruído em vez de simplesmente transportado intacto para Ω. Depois de retirarmos o palco e o relógio, teremos agora de retirar aquilo que parecia alimentar toda a acção.

IV Energia sem Energia

Aquilo que chamamos energia pode ser menos um combustível do que uma relação que aprendemos a contar.

Um telemóvel mostra dois por cento de bateria e começamos imediatamente a imaginar que dentro dele resta apenas uma pequena quantidade de uma substância chamada energia. Ligamos uma chaleira, o nível de carga diminui noutra escala, um automóvel eléctrico percorre alguns quilómetros e o indicador desce, o Sol aquece a pele e dizemos novamente que energia passou de um lugar para outro. A palavra tornou-se tão intuitiva que parece nomear uma coisa invisível que circula pela Natureza como água através de canalizações.

A Física utiliza a palavra de maneira muito mais rigorosa e, ao mesmo tempo, muito menos material. Energia é uma grandeza atribuída aos estados dos sistemas, relacionada com aquilo que esses sistemas podem fazer, com as transformações que podem sofrer e com certas simetrias das leis que os descrevem. Podemos armazená-la, transferi-la e quantificá-la, mas isso não significa que exista uma substância energética escondida dentro dos objectos.

Uma pedra colocada numa prateleira ajuda-nos a perceber a diferença. Dizemos que possui energia potencial gravitacional porque a configuração formada por pedra e Terra permite que, se libertada, a pedra acelere e produza outros efeitos. Não existe um pequeno depósito de energia potencial guardado dentro da pedra como se fosse água numa garrafa; a grandeza depende da relação entre elementos do sistema e da maneira como escolhemos uma referência.

Uma mola comprimida torna a ideia ainda mais visível. A sua estrutura foi deslocada de uma configuração de equilíbrio e, ao libertá-la, forças internas podem produzir movimento e realizar trabalho. A mola não ficou cheia de uma matéria especial, mas a sua organização passou a permitir transformações que antes não estavam disponíveis daquela maneira.

Na pintura poderíamos falar de tensão visual entre duas formas sem imaginar uma substância chamada tensão acumulada entre os pigmentos. Uma pequena mancha escura num canto pode alterar todo o equilíbrio da composição porque muda relações de peso, contraste e direcção. A Física não utiliza a palavra energia com esse significado estético, mas a analogia ajuda-nos a abandonar a imagem de um fluido e a reconhecer que uma propriedade pode pertencer à organização de um sistema.

A música oferece um exemplo ainda mais próximo da intuição quotidiana. Um acorde suspenso pode parecer carregado de energia e uma resolução produzir sensação de alívio, mas não encontraríamos um reservatório de joules escondido entre Dó, Fá e Sol. A tensão musical é relacional e depende da estrutura da linguagem em que ocorre; a energia física é quantitativamente definida e obedece a leis precisas, mas em ambos os casos é perigoso imaginar imediatamente uma substância independente das relações que a tornam significativa.

Na Física clássica, uma das características mais importantes da energia é a conservação. Num sistema adequado, podemos acompanhar transformações entre energia cinética, potencial, térmica ou outras formas e verificar que determinada quantidade total permanece constante. Uma bola cai, perde energia potencial gravitacional e ganha energia cinética; ao bater no chão, parte da organização macroscópica do movimento transforma-se em calor, som e deformação.

Uma mesa de mistura oferece uma analogia limitada mas útil. Podemos ter um sinal distribuído por vários canais e alterar a proporção que passa por cada um sem que desapareça simplesmente aquilo que estamos a acompanhar. A comparação não é exacta, porque energia não é um sinal sonoro e dissipação física envolve termodinâmica, mas ajuda a imaginar transformação sem substância perdida.

A conservação tornou-se uma das ideias mais profundas da Física, e Emmy Noether mostrou no início do século XX uma ligação extraordinária entre leis de conservação e simetrias. O resultado é matemático e muito mais geral do que uma simples regra sobre energia, mas podemos começar por uma experiência banal: realizamos hoje uma experiência num laboratório e repetimo-la amanhã nas mesmas condições, esperando que as leis que relacionam as grandezas sejam as mesmas.

Se a descrição física não depende explicitamente do momento absoluto em que fazemos a experiência, dizemos que existe uma simetria relativamente a translações no tempo. Em muitos sistemas físicos, é precisamente essa simetria que está associada, através do teorema de Noether, à conservação da energia.[1]

Uma receita culinária fornece uma imagem muito simples da ideia de simetria. Se a receita produzir exactamente o mesmo resultado quando é executada hoje ou amanhã nas mesmas condições, a regra não contém uma preferência por uma determinada data. A Física transforma esta intuição numa relação matemática rigorosa entre a invariância das leis e uma quantidade conservada.

[1] Emmy Noether, «Invariante Variationsprobleme», *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* (1918): 235–257. Para a energia em Relatividade Geral, ver Wald, *General Relativity*, cap. 11; uma conservação local bem definida não implica sempre uma energia global única para espaço-tempos cosmológicos gerais.

A música permite-nos aproximar ainda mais a noção. Imaginemos uma pequena peça cuja estrutura permanece a mesma se deslocarmos todos os acontecimentos quatro compassos para a frente, mantendo as relações internas. A identidade da organização não depende da posição absoluta na folha, mas das relações entre os acontecimentos. Não é ainda a simetria temporal de Noether, mas torna intuitiva a diferença entre estrutura interna e posição absoluta.

Este resultado modifica profundamente a pergunta acerca da energia. Se a conservação de energia está ligada, em determinados contextos, à simetria relativamente ao tempo, o que acontece se o próprio tempo não for fundamental? A pergunta não significa que a conservação deixe automaticamente de existir. Significa que talvez a energia, tal como a conhecemos, só se torne uma grandeza natural depois de existir uma estrutura temporal suficientemente definida para que a simetria correspondente faça sentido.

Podemos imaginar uma partitura antes de escolhermos qualquer sistema de barras de compasso ou andamento. Determinadas relações musicais podem já estar definidas, mas perguntar quantos batimentos por minuto possui a obra seria prematuro. Talvez energia fundamental e tempo fundamental estejam ligados por uma dificuldade semelhante: a grandeza que utilizamos numa descrição emergente pode depender de uma estrutura que ainda não existe no nível mais profundo.

Este ponto aproxima-nos do chamado Hamiltoniano. O nome pode parecer intimidante, mas a ideia geral pode ser explicada sem entrar na Matemática. Em muitas teorias físicas, o Hamiltoniano é uma função que contém informação suficiente sobre a energia do sistema para determinar a sua evolução segundo as equações correspondentes.

Podemos compará-lo, com todas as cautelas, a uma partitura que não apenas descreve aquilo que os músicos tocam neste instante, mas contém a estrutura a partir da qual conseguimos calcular como determinados elementos podem desenvolver-se. A analogia não é literal, porque um Hamiltoniano não é uma partitura narrativa e pode desempenhar papéis diferentes conforme a teoria, mas oferece ao leitor uma maneira de compreender por que energia e evolução temporal aparecem tão intimamente ligadas.

Quando tentamos construir gravidade quântica, esta ligação torna-se especialmente difícil. Na Relatividade Geral, o próprio espaço-tempo é dinâmico; não existe necessariamente um relógio exterior ao Universo que possamos utilizar para escrever a evolução da geometria. O problema que encontrámos no capítulo anterior regressa então sob outra forma: se o metrónomo também pertence à orquestra, como podemos utilizar o metrónomo exteriormente para definir a energia da execução?

A situação torna-se ainda mais subtil quando falamos da energia do Universo inteiro. No quotidiano, a contabilidade energética parece simples. Uma bola cai e podemos acompanhar transformações; um motor aquece e contabilizamos energia mecânica e térmica; um fotão transfere energia para um detector. Localmente, a Física possui leis de conservação extremamente precisas.

Na Relatividade Geral, a conservação local da energia e do momento continua codificada nas equações. Em regiões suficientemente pequenas, podemos acompanhar fluxos e trocas de maneira rigorosa. O problema aparece quando queremos atribuir um único número global chamado «energia total do Universo» a determinados espaço-tempos cosmológicos que não possuem as simetrias necessárias para definir essa quantidade de maneira simples e única.

Uma empresa oferece uma analogia imperfeita. Num escritório pequeno conseguimos seguir todas as entradas e saídas de dinheiro com uma única contabilidade. Agora imaginemos uma organização cuja própria moeda, fronteiras e sistema de equivalências mudam enquanto tentamos fazer as contas; talvez continue a existir contabilidade local consistente sem existir uma única soma global com o significado que estávamos habituados a atribuir-lhe.

O Universo em expansão fornece um exemplo clássico da dificuldade. À medida que o espaço se expande, a luz proveniente de regiões distantes sofre desvio para o vermelho: o comprimento de onda aumenta e a energia que atribuímos a cada fotão diminui. É tentador perguntar imediatamente onde foi parar a energia perdida.

Num sistema newtoniano simples procuraríamos outro depósito onde a diferença tivesse sido armazenada. Na cosmologia relativista, essa expectativa pode não ser adequada porque o espaço-tempo em expansão não possui necessariamente a simetria temporal global que permitiria definir uma conservação de energia total da mesma maneira que num sistema estacionário.

Uma fita elástica com marcas pintadas ajuda-nos a visualizar apenas a parte geométrica. Esticamos a fita e as distâncias entre marcas aumentam; não precisamos de imaginar que cada centímetro adicional foi retirado de uma caixa escondida. No Universo, o problema é fisicamente muito mais profundo, mas a analogia mostra por que uma grandeza global pode depender da própria estrutura geométrica que está a mudar.

O cinema oferece uma comparação interessante. Imaginemos uma sequência filmada com uma lente cuja escala se altera continuamente enquanto tentamos medir todas as distâncias do cenário através da própria imagem. As relações locais permanecem mensuráveis, mas uma contabilidade global baseada numa régua fixa pode deixar de possuir o significado que tinha inicialmente.

Isto não significa que «a energia desaparece» no Universo em expansão nem que a Relatividade viola casualmente uma lei fundamental. Significa que a própria noção

de energia global precisa de ser definida com muito cuidado e que, em certos espaço-tempos, não existe um análogo simples da energia total conservada que conhecemos em sistemas mais familiares.

Esta distinção é importante porque frases populares como «a energia nunca se cria nem se destrói» são excelentes aproximações em enormes domínios da Física, mas podem tornar-se demasiado simples quando transformadas num slogan metafísico válido para qualquer geometria e qualquer escala. O mesmo cuidado precisa de ser aplicado a outra frase popular: «tudo é energia».

A expressão soa profunda porque Einstein mostrou uma relação entre massa e energia através de $E = mc^2$. Mas a equação não diz que todas as coisas são uma substância chamada energia. Diz que a massa de repouso contribui para a energia de um sistema segundo uma relação quantitativa extremamente precisa.

Uma escultura ajuda-nos a perceber a diferença. Podemos medir a massa da escultura, a energia necessária para aquecê-la e a energia associada ao seu movimento, mas nenhuma dessas grandezas substitui a própria organização material da obra. Dizer que tudo é energia seria tão redutor como dizer que uma sinfonia é apenas decibéis porque conseguimos medir intensidade sonora.

A equivalência entre massa e energia é extraordinária precisamente porque relaciona grandezas que anteriormente pareciam pertencer a categorias diferentes. Não transforma automaticamente matéria, informação, espaço e consciência em nomes diferentes para a mesma substância cósmica.

Podemos agora regressar à experiência de Ω. Se em Ω não pressupomos espaço nem tempo fundamentais, também não deveríamos introduzir clandestinamente uma reserva primordial de energia. Imaginar Ω como um oceano energético seria simplesmente substituir a palavra matéria por outra substância igualmente não explicada.

É a mesma diferença que existe entre uma conta bancária com zero euros e um mundo onde não existe sequer moeda. Se escrevemos $E = 0$, continuamos a pressupor uma grandeza energética. O problema radical consiste em imaginar uma estrutura onde a própria categoria energia ainda não seja necessária.

Talvez aquilo que mais tarde aparece como energia tenha origem em diferenças estruturais entre configurações. Precisamos então de uma noção provisória que não dependa imediatamente de movimento no tempo. Chamámos-lhe Tensão.

A palavra é perigosa porque possui significados físicos já estabelecidos e um enorme campo metafórico na arte. Aqui não pretende substituir mecanicamente energia nem designar uma força escondida. É apenas um nome de trabalho para diferenças de compatibilidade entre configurações relacionais.

Um cubo de Rubik permite visualizar a ideia. Sem pensar ainda no tempo necessário para rodar as faces, podemos comparar duas configurações segundo as transformações estruturalmente permitidas e as restrições impostas pelas regras do objecto.

Algumas disposições relacionam-se de maneiras diferentes com o conjunto das configurações possíveis.

Uma palavra escrita com letras móveis oferece outra imagem. «ROMA» pode ser reorganizada em «AMOR» utilizando exactamente os mesmos caracteres. A diferença entre os dois estados não depende de uma nova matéria acrescentada, mas da relação entre elementos e das transformações estruturalmente permitidas.

Na música, podemos imaginar duas configurações harmónicas dentro de um determinado sistema. Uma delas admite determinadas resoluções e outra possui outras possibilidades. A diferença não é uma substância escondida no acorde, mas uma propriedade da relação entre a configuração presente e o espaço de configurações compatíveis. Tensão tenta explorar algo desta natureza num nível fundamental, sem pressupor ainda um relógio que descreva a passagem real de uma configuração para outra.

> **Axioma 5 — Tensão, primeira reformulação**
> A Tensão designa diferenças de compatibilidade e de relação possível entre configurações de Ω. Quando articuladas com Nexo e Trama, essas diferenças poderão contribuir para o aparecimento daquilo que, numa descrição física emergente, reconhecemos como energia.

A formulação é deliberadamente prudente. Não dizemos que Tensão é energia. Dizemos que, numa teoria futura, determinados aspectos estruturais de Ω teriam de produzir uma grandeza emergente que recuperasse aquilo que a Física conhece como energia e todas as relações quantitativas correspondentes.

Isto inclui conservação nos domínios em que ela é válida, energia cinética e potencial, massa-energia, energia dos campos, termodinâmica e a ligação entre energia e simetrias temporais. Se Tensão não conseguir fazer esse trabalho, o conceito terá falhado.

Uma pintura não se torna uma teoria física porque utiliza a palavra tensão, e um acorde não explica o Hamiltoniano porque sentimos que pede resolução. As analogias servem para tornar pensável a hipótese, não para a demonstrar. A diferença entre analogia e formalização será especialmente importante a partir daqui. Podemos utilizar Rubik, música e cinema para retirar obstáculos intuitivos, mas uma teoria precisaria de definir matematicamente o conjunto das configurações, as relações permitidas e aquilo que corresponde à grandeza energética emergente.

O Caderno de Axiomas deverá, mais tarde, enfrentar precisamente esse problema sem fingir que já possuímos a Matemática necessária. Tensão também não pode ser definida como «dificuldade de mudar», porque isso esconderia novamente tempo dentro do conceito. Se mudança significa passar de um estado a outro ao longo de uma duração, já pressupusemos aquilo que tentamos fazer emergir. É por isso que a formulação fala em compatibilidade e relação possível entre configurações.

Podemos comparar duas figuras geométricas sem dizer que uma se transformou temporalmente na outra. Podemos perguntar se existe uma operação que relaciona

duas estruturas sem executar realmente essa operação no tempo. Uma coreografia escrita fornece uma imagem artística. Podemos comparar duas formações de bailarinos no papel e perguntar que relações estruturais as distinguem antes de assistir à passagem efectiva entre uma e outra. A dança real exigirá duração, mas a comparação formal entre configurações pode ser feita como estrutura.

Se Ω permitir alguma coisa deste género, talvez energia só apareça quando Nexo fornece orientação suficiente para aquilo que chamaremos evolução e Trama fornece estrutura suficiente para definir relações geométricas. Neste caso, Nexo, Trama e Tensão não seriam três substâncias primordiais, mas três aspectos descritivos de uma mesma organização.

A música volta a ajudar-nos a evitar a imagem errada. Ritmo, harmonia e timbre podem ser analisados separadamente e, ainda assim, pertencem simultaneamente ao mesmo acontecimento sonoro. Não precisamos de imaginar primeiro um reservatório de ritmo, depois uma camada de harmonia e finalmente uma cobertura de timbre. Talvez Ω seja igualmente mal representado quando tentamos empilhar propriedades como pisos de um edifício.

Isto também significa que não devemos desenhar uma sequência do género Ω → Nexo → Trama → Tensão → Universo, porque as setas sugeririam imediatamente um processo temporal. A relação entre esses conceitos é, por enquanto, lógica e estrutural, não cronológica. Um pintor pode analisar composição, cor e matéria separadamente sem afirmar que uma delas existiu primeiro no quadro acabado. A ordem da análise não precisa de ser a ordem da realidade.

A dificuldade torna-se particularmente grande quando tentamos falar de emergência. Dizemos que energia «surge» a partir de Tensão, mas surgir é um verbo temporal. Em linguagem corrente é quase impossível evitar este vocabulário. Precisaremos, portanto, de entender emergência aqui como relação entre níveis de descrição e não necessariamente como um acontecimento que aconteceu num determinado segundo primordial.

A temperatura oferece o modelo mais simples. Não precisamos de imaginar um instante cósmico em que moléculas já existiam e, de repente, apareceu uma entidade separada chamada temperatura. Quando existe um conjunto apropriado de componentes e uma descrição estatística, temperatura torna-se uma propriedade significativa do sistema.

Uma orquestra oferece outra versão. A harmonia global pode ser uma propriedade da relação entre várias notas sem existir como instrumento separado. Quando analisamos a estrutura completa, reconhecemos uma propriedade que não pertence da mesma forma a cada componente isolado. Talvez energia possa, numa teoria mais profunda, possuir algum tipo de emergência análoga.

Esta hipótese encontra uma dificuldade que não devemos esconder. Na Física actual, energia não é apenas uma propriedade macroscópica semelhante à temperatura; aparece já nas teorias quânticas fundamentais e desempenha um papel essencial na

dinâmica. Qualquer proposta que diga que energia é emergente terá, por isso, de mostrar de maneira extremamente precisa em que sentido emerge e de que estrutura matemática mais fundamental.

Não basta transferir a palavra emergência de um capítulo para outro. Uma teoria elegante que não recuperasse os níveis de energia dos átomos, as relações de dispersão das partículas ou os resultados das experiências seria simplesmente uma teoria errada.

Podemos pensar novamente numa partitura. Um compositor propõe que a música inteira emerge de três regras muito simples. A ideia é fascinante, mas depois precisamos de executar as regras e verificar se produzem efectivamente a obra anunciada. Se não produzem, a beleza do princípio não salva a composição. A mesma disciplina deve acompanhar Ω. Talvez, aliás, a ideia mais importante deste capítulo não seja que energia não existe, mas precisamente o contrário: energia existe com enorme precisão dentro dos regimes onde a Física a define, e a pergunta fundamental é por que essa grandeza existe e possui exactamente a estrutura que encontramos.

Perguntar pela emergência de energia não diminui a sua realidade, da mesma maneira que dizer que temperatura é emergente não torna o calor imaginário. Uma chama pode queimar-nos independentemente da nossa filosofia acerca de termodinâmica.

A mudança está apenas na ontologia: talvez uma propriedade real não precise de ser um ingrediente fundamental. Esta possibilidade acompanha todo o percurso que estamos a construir. Espaço pode ser real sem ser fundamental. Tempo pode ser real sem constituir um relógio absoluto. Energia pode ser real sem ser uma substância primordial.

O passo seguinte será perguntar se aquilo a que chamamos matéria também suporta a mesma deslocação. A Física começou durante séculos por procurar componentes cada vez menores: moléculas, átomos, núcleos, protões, quarks. A intuição sugeria que, se descêssemos suficientemente, acabaríamos por encontrar as pequenas coisas verdadeiramente sólidas das quais tudo o resto era construído.

Mas o electrão já nos espera com uma resposta desconfortável. Ele possui massa, carga, spin e efeitos experimentais de extraordinária precisão, mas não se comporta como uma pequena bola microscópica escondida dentro do átomo. Pode produzir padrões de interferência, é indistinguível de todos os outros electrões e, na teoria quântica de campos, aparece como excitação de um campo. Depois de retirarmos a ideia de uma energia-substância, talvez tenhamos de retirar também a ideia de matéria como uma colecção de pequenas coisas.

PARTE II

A MATÉRIA PODE NÃO SER FEITA DE COISAS

V O Electrão Não é uma Coisa

O electrão recusa-se a caber na pequena bola que desenhámos para ele.

Quando uma criança aprende a palavra «partícula», é quase inevitável que imagine uma pequena esfera. Se a Física disser que um átomo é feito de partículas, a imaginação começa imediatamente a montar um sistema solar microscópico: um núcleo no centro e pequenos electrões a circular à volta. Durante muito tempo, até os manuais ajudaram a consolidar essa imagem, porque é difícil desenhar numa página aquilo que a Mecânica Quântica nos obriga realmente a pensar.

O problema é que o electrão não se comporta como uma pequena bola clássica escondida dentro do átomo. Possui propriedades mensuráveis com uma precisão extraordinária — carga eléctrica, massa, spin e outras grandezas —, mas a maneira como aparece nas experiências não corresponde a um objecto macroscópico miniaturizado. Se insistirmos em perguntar por onde passou como quem pergunta por que lado de uma porta atravessou uma ervilha, a experiência começa a responder de maneiras que a intuição não preparou.

A experiência das duas fendas é o exemplo mais famoso. Enviamos electrões, um a um, para uma barreira com duas aberturas e registamos onde chegam a um detector. Cada detecção aparece como um acontecimento localizado, quase como o impacto de uma pequena partícula. Mas, quando repetimos a experiência muitas vezes sem determinar por qual fenda cada electrão passou, o conjunto dos impactos forma um padrão de interferência semelhante ao que associamos a ondas.

É tentador concluir que o electrão às vezes decide ser partícula e outras vezes decide ser onda. A formulação é popular e pedagógica, mas corre o risco de transformar duas imagens clássicas incompletas em duas personalidades secretas do mesmo objecto. A teoria quântica não nos obriga a imaginar uma esfera que, em determinadas ocasiões, se dissolve numa onda física convencional e depois volta a condensar-se antes de chegar ao detector. Obriga-nos a reconhecer que as categorias clássicas «onda» e «partícula» captam aspectos diferentes de fenómenos que não cabem literalmente em nenhuma delas.

A música oferece uma comparação útil precisamente porque sabemos distinguir representação de acontecimento. Uma mesma nota pode ser escrita como mancha de tinta numa pauta, aparecer como forma de onda num osciloscópio, ser descrita

por um espectro de frequências ou existir como experiência auditiva. Nenhuma dessas representações é a nota inteira, embora cada uma revele propriedades reais. Seria estranho discutir se a nota «é na verdade» uma cabeça preta na pauta ou uma curva no ecrã; percebemos imediatamente que estamos a confundir linguagens de descrição com aquilo que pretendemos descrever.

O electrão exige uma prudência semelhante. A função de onda e o estado quântico não são desenhos de uma pequena substância ondulante espalhada no espaço da maneira que uma onda do mar se espalha pela água. São elementos de uma estrutura matemática que permite calcular probabilidades de resultados experimentais e relações entre grandezas. O seu significado ontológico depende da interpretação da Mecânica Quântica, e precisamente aí começa uma das maiores disputas conceptuais da Física.

A experiência de Davisson e Germer, realizada na década de 1920, mostrou difracção de electrões por um cristal e confirmou de maneira espectacular a necessidade de uma descrição quântica.[1] O que parecia matéria corpuscular apresentava padrões associados a comprimento de onda. Pouco depois, a Mecânica Quântica transformaria completamente o velho átomo planetário.

Não devemos, contudo, imaginar que o electrão seja apenas uma onda extensa sem individualidade. Quando interage com um detector, encontramos acontecimentos quantizados; a carga eléctrica aparece em unidades bem definidas, e todos os electrões conhecidos possuem exactamente as mesmas propriedades intrínsecas dentro da precisão experimental. É precisamente esta combinação que torna a imagem clássica inadequada.

Uma pintura pontilhista pode ajudar durante alguns segundos, desde que não levemos a comparação demasiado longe. De perto vemos pontos isolados; à distância surge uma superfície e uma imagem. No caso quântico, porém, não estamos apenas perante uma mudança de escala perceptiva. O padrão estatístico dos acontecimentos individuais é previsto por uma estrutura matemática que permite interferência de amplitudes e que não pode ser substituída por uma população simples de pequenas bolas clássicas seguindo trajectórias secretas locais de maneira ordinária.

As desigualdades de Bell e as experiências realizadas desde a segunda metade do século XX tornaram esta dificuldade ainda mais profunda. Certas correlações quânticas não podem ser reproduzidas por uma ampla classe de teorias de variáveis ocultas locais em que cada sistema transportaria simplesmente consigo valores clássicos preexistentes para todas as propriedades relevantes. Isto não nos diz, por si só, qual interpretação da Mecânica Quântica devemos adoptar, mas limita fortemente o regresso

[1] Clinton J. Davisson e Lester H. Germer, «Diffraction of Electrons by a Crystal of Nickel», *Physical Review* 30 (1927): 705–740. Para propriedades actualizadas das partículas elementares e o Modelo Padrão, ver S. Navas et al. (Particle Data Group), *Review of Particle Physics*, *Physical Review D* 110, 030001 (2024), actualização 2025.

confortável a um mundo microscópico feito de objectos clássicos com propriedades completamente definidas independentemente das relações experimentais.

Há uma segunda característica do electrão que talvez seja ainda mais desconcertante: todos os electrões são indistinguíveis. Não apenas muito parecidos, como dois parafusos fabricados na mesma máquina, mas idênticos no sentido quântico. Não existe um pequeno número de série escondido que permita dizer «este é o electrão que ontem estava aqui e aquele é o outro». A teoria trata partículas idênticas de maneira que a permutação entre elas não produz uma nova situação física observável do género que esperaríamos ao trocar dois objectos macroscópicos identificáveis.

Imaginemos dois violinos absolutamente idênticos, tocados de modo absolutamente idêntico, mas ainda assim conseguiríamos, em princípio, colocar uma etiqueta em cada caixa e acompanhar a história material de ambos. Com electrões, a individualidade não funciona dessa maneira. O que persiste com extraordinária estabilidade são propriedades do tipo «electrão» e as estruturas quânticas em que essas excitações aparecem.

A teoria quântica de campos leva esta deslocação conceptual mais longe. Na descrição que constitui a base do Modelo Padrão da física de partículas, partículas como electrões são tratadas como excitações quantizadas de campos. O campo electrónico não deve ser imaginado simplesmente como um líquido invisível espalhado no espaço, mas a linguagem muda a pergunta: em vez de começar com pequenas coisas independentes e depois perguntar como interagem, começamos com campos quânticos e os estados excitados que reconhecemos experimentalmente como partículas.

Uma corda de guitarra oferece uma analogia muito limitada mas intuitiva. Podemos produzir nela modos de vibração diferentes; não imaginamos que cada nota seja uma pequena bolinha guardada previamente dentro da corda e libertada quando tocamos. A nota corresponde a um modo de excitação do sistema. Na teoria quântica de campos, a matemática é incomparavelmente mais profunda, o campo não é uma corda material convencional e a analogia não deve ser literal, mas ajuda-nos a deslocar a ideia de partícula como pedaço de matéria para a de partícula como manifestação estável de uma estrutura.

Esta mudança conduz-nos a uma questão ontológica difícil: o que é, então, um electrão? A resposta mais rigorosa depende do nível em que perguntamos. Experimentalmente, é uma entidade quântica com propriedades extremamente bem definidas e comportamento descrito pela teoria. Na teoria quântica de campos, aparece como uma excitação de um campo fermiónico com determinadas simetrias e números quânticos. Filosoficamente, discutir se o campo, o estado quântico, a estrutura ou outra coisa é o «verdadeiro objecto» fundamental continua a depender de compromissos interpretativos.

Talvez seja precisamente aqui que a palavra coisa começa a falhar. No quotidiano, uma coisa possui uma fronteira relativamente estável, pode ser apontada, transportada e distinguida de outra. O electrão possui estabilidade de propriedades, mas não

oferece necessariamente a individualidade espacial e material que associamos a uma pequena pedra.

Um acorde fornece uma imagem interessante. Podemos reconhecer um acorde de Dó maior em milhares de pianos, guitarras e sintetizadores diferentes. O que persiste não é a matéria particular do instrumento, mas uma estrutura relacional que pode ser instanciada muitas vezes. Naturalmente, um electrão não é um acorde e a identidade quântica não é uma convenção musical, mas a analogia permite formular uma hipótese: talvez a identidade de uma partícula elementar resida menos numa pequena substância individual e mais na recorrência estável de uma estrutura física.

> **Hip□tese da Instancia□□o Relacional**
> Aquilo a que chamamos uma partícula elementar poderá corresponder não a uma pequena coisa fundamental, mas à manifestação recorrente de uma mesma estrutura relacional estável. A identidade do tipo de partícula resultaria da identidade dessa estrutura, e não da existência de objectos individuais fabricados separadamente.

A hipótese não pretende substituir a teoria quântica de campos nem afirmar que já sabemos o que constitui Ω. Serve apenas para explorar uma consequência do nosso programa: se as relações forem mais fundamentais do que algumas das categorias clássicas, talvez as partículas sejam maneiras estáveis de a estrutura se apresentar num regime físico emergente.

É importante conservar aqui uma distinção rigorosa entre formulação física e interpretação. A teoria quântica de campos possui um formalismo quantitativo extraordinariamente bem testado; dizer que uma partícula é uma excitação de um campo pertence à linguagem padrão da teoria. Dizer que isso prova que «não existem coisas» ou que o Universo é «feito de relações» seria uma conclusão filosófica adicional que a matemática, sozinha, não impõe.

Também não devemos cair no extremo oposto e concluir que, porque as nossas imagens falham, o electrão é uma espécie de mistério inefável acerca do qual nada pode ser dito. Sabemos muitíssimo. Conseguimos prever a sua carga, interacções, níveis de energia em átomos, comportamento em campos electromagnéticos e resultados de experiências com uma precisão que poucas áreas do conhecimento alcançam.

A estranheza não vem da falta de conhecimento, mas do facto de o conhecimento funcionar melhor do que as imagens intuitivas com que tentamos representá-lo. Podemos calcular aquilo que o electrão faz muito antes de concordarmos sobre a melhor maneira de dizer aquilo que ele é.

O cinema conhece uma distância semelhante entre mecanismo e aparência. Um movimento contínuo no ecrã pode resultar de uma sequência de imagens discretas, e conhecer esse mecanismo não torna o movimento percebido irreal. A realidade cinematográfica do gesto pertence a um nível de organização diferente da realidade de cada fotograma. Na Física, a relação entre níveis é muito mais complexa, mas a

comparação ajuda-nos a aceitar que uma entidade possa ser real sem se parecer com o objecto intuitivo que o seu nome sugere.

Talvez «electrão» seja, então, uma palavra que deve ser tratada menos como nome de uma pequena coisa e mais como nome de uma regularidade física extraordinariamente estável. Esta deslocação prepara a pergunta seguinte. Se até uma das entidades mais fundamentais do Modelo Padrão deixa escapar a nossa ideia quotidiana de objecto, o que queremos exactamente dizer quando chamamos alguma coisa «elementar»?

VI Partículas Elementares: Elementares de Quê?

Elementar é o nome que damos ao lugar onde, por enquanto, a desmontagem pára.

Durante séculos, compreender a matéria significou desmontá-la. Partimos uma pedra e encontramos fragmentos; trituramos os fragmentos e obtemos grãos; a Química revelou moléculas, depois átomos; a Física abriu o átomo e encontrou núcleo e electrões; o núcleo revelou protões e neutrões; estes, por sua vez, mostraram estrutura de quarks e gluões. A história parece uma sucessão de caixas dentro de caixas, como uma boneca russa cósmica.

A palavra «elementar» surge quando, num determinado momento da investigação, deixamos de encontrar uma estrutura interna. No Modelo Padrão, electrões, quarks, neutrinos e outras partículas são tratados como elementares porque, até ao alcance experimental actual, não observámos subestrutura interna que exija descrevê-los como compostos de entidades menores.[1] Mas esta definição é epistemicamente prudente: «não observámos estrutura» não é o mesmo que «demonstrámos metafisicamente que nenhuma estrutura pode existir».

A história aconselha cautela. O átomo recebeu o nome grego que significa aproximadamente «indivisível» e acabou por revelar uma arquitectura interna extraordinariamente rica. O protão foi durante algum tempo tratado como partícula básica e hoje sabemos que a sua estrutura envolve quarks, gluões e uma dinâmica quântica intensa. Cada vez que a desmontagem pára, existe a tentação de transformar um limite experimental numa fronteira absoluta da realidade.

Uma oficina fornece a imagem mais simples. Podemos desmontar um relógio até chegarmos a componentes que não conseguimos abrir com as ferramentas disponíveis. Isso não prova que sejam ontologicamente indivisíveis; prova apenas que, naquele laboratório, a desmontagem terminou. Na Física de partículas, as ferramentas são aceleradores, detectores e teorias, e o nível de energia que conseguimos alcançar determina em parte a escala de estrutura que podemos sondar.

[1] Particle Data Group, *Review of Particle Physics*, actualização 2025, especialmente as secções sobre leptões, quarks e Modelo Padrão. «Elementar» significa aqui ausência de subestrutura observada na teoria e escala experimental actuais, não uma prova metafísica de indivisibilidade absoluta.

A música oferece uma analogia menos mecânica. Uma nota parece uma unidade simples numa partitura, mas a acústica revela uma estrutura espectral de harmónicos, transientes e ruído. Um som sinusoidal aproxima-se de uma frequência única, mas até a própria ideia de tom puro depende de uma descrição idealizada. Aquilo que funciona como unidade num nível de análise pode revelar composição noutro.

A pergunta «elementar de quê?» precisa, portanto, de ser dividida. Elementar relativamente a que teoria? Elementar relativamente a que escala? Elementar no sentido de não possuir componentes observados, ou no sentido mais forte de constituir o tijolo metafísico final do Universo?

O Modelo Padrão responde extraordinariamente bem à primeira pergunta. Organiza as partículas conhecidas em famílias, descreve três das quatro interacções fundamentais — electromagnética, forte e fraca — e utiliza simetrias matemáticas para relacionar campos e interacções. O seu sucesso experimental é monumental, mas a própria teoria não inclui a gravidade quântica e contém parâmetros cujos valores são medidos, não derivados de uma estrutura mais profunda actualmente confirmada.

A tabela das partículas pode lembrar uma tabela periódica antes da compreensão da estrutura electrónica. Vemos regularidades, famílias, cargas e massas; a organização sugere que talvez exista uma razão mais profunda para aquele padrão. Historicamente, regularidades classificatórias conduziram muitas vezes a teorias mais fundamentais, embora não exista garantia de que a história se repita da mesma maneira.

Os quarks oferecem um exemplo particularmente instrutivo. Nunca observamos um quark isolado em condições ordinárias porque a cromodinâmica quântica apresenta confinamento: à medida que tentamos separar quarks, a interacção forte não diminui da maneira intuitiva de uma força que se dissolve com a distância. A energia envolvida pode produzir novos pares de quarks e antiquarks, e aquilo que aparece nos detectores são hadrões, como protões, neutrões e mesões.

Uma banda elástica é uma analogia frequente: quanto mais puxamos, maior se torna a tensão, até o sistema criar uma nova ruptura em vez de nos entregar simplesmente uma extremidade isolada. A comparação é imperfeita porque a cromodinâmica quântica possui uma estrutura de gauge e uma dinâmica muito mais rica, mas ajuda a perceber por que a imagem de «pequenas bolinhas guardadas dentro do protão» é inadequada.

Dentro de um protão, a massa também não pode ser entendida simplesmente como soma das massas dos três quarks de valência. Grande parte da massa do protão está associada à energia da dinâmica dos campos de quarks e gluões. A famosa relação entre massa e energia reaparece aqui de maneira concreta: a identidade macroscópica de uma partícula composta depende fortemente de relações e actividade interna, não apenas da soma de pequenos pesos preexistentes.

Uma orquestra oferece uma imagem distante mas útil. A intensidade global de um acorde não é simplesmente uma propriedade guardada separadamente em cada instrumento; resulta também da maneira como as partes se combinam, interferem e

sustentam. No protão, naturalmente, não estamos perante acústica, mas a analogia ajuda a abandonar a contabilidade ingénua segundo a qual o todo deve ser apenas a soma de propriedades independentes de componentes isolados.

Há ainda outra dificuldade para a ideia de tijolo fundamental: o vácuo e os campos. Se as partículas são excitações de campos quânticos, talvez o inventário fundamental não seja uma caixa de pequenas entidades, mas uma estrutura de campos, simetrias e relações. Mesmo esta formulação pode não ser definitiva, porque uma teoria de gravidade quântica poderá reorganizar aquilo que hoje chamamos campo, espaço e partícula.

Podemos imaginar uma peça electroacústica construída por milhares de grãos sonoros. Num primeiro nível, cada grão parece a unidade básica. Depois descobrimos que os grãos foram gerados por algoritmos, envelopes e relações matemáticas que talvez sejam explicativamente mais fundamentais do que cada acontecimento sonoro isolado. A pergunta «qual é a unidade elementar da obra?» muda conforme o nível de descrição.

Na teoria das cordas, por exemplo, partículas que no Modelo Padrão aparecem como entidades elementares podem corresponder a diferentes modos vibracionais de objectos unidimensionais fundamentais. Esta proposta é matematicamente sofisticada e procura unificar gravidade com a física quântica, mas não possui ainda confirmação experimental directa que nos autorize a declarar que as partículas são «na verdade» cordas.

Outras abordagens propõem estruturas diferentes. A gravidade quântica em laços concentra-se em quantizar geometria; modelos de preões imaginaram subestrutura para quarks e leptões; teorias de grande unificação procuram compreender famílias de partículas e forças dentro de simetrias maiores. O panorama mostra precisamente por que a palavra elementar deve permanecer provisória.

Uma pintura pode ser descrita como obra, como distribuição de pigmentos, como moléculas, como átomos e, em princípio, através de campos quânticos. Seria estranho concluir que a existência da descrição microscópica torna falsas todas as superiores. A pergunta pela elementaridade não deve apagar a realidade dos níveis emergentes; deve apenas investigar onde uma teoria consegue parar sem deixar fenómenos por explicar.

Também precisamos de distinguir redução de explicação. Descobrir que água é composta por moléculas de H_2O explica muitas propriedades, mas não significa que todas as questões sobre oceanos, correntes, ecossistemas e clima se tornem transparentes apenas escrevendo a fórmula molecular. A complexidade pode exigir níveis próprios de descrição mesmo quando conhecemos componentes fundamentais.

Na música, conhecer todas as frequências presentes numa sinfonia não nos entrega automaticamente a forma, a história harmónica, o gesto interpretativo ou a experiência do ouvinte. Não há contradição: propriedades diferentes tornam-se relevantes em escalas diferentes.

Isto obriga-nos a abandonar uma imagem demasiado simples de fundamentação. Talvez não exista uma escada onde cada degrau inferior seja mais real do que o superior. Pode existir uma hierarquia de descrições em que níveis diferentes possuem regularidades próprias e em que o mais fundamental fornece condições de possibilidade sem substituir todas as explicações emergentes.

Se Ω for uma estrutura relacional anterior às categorias que utilizamos actualmente, então a palavra «partícula» poderia designar apenas um tipo estável de manifestação quando determinadas relações adquirem a organização que reconhecemos como física quântica de campos. Neste caso, procurar a partícula mais pequena seria semelhante a procurar o pixel fundamental de uma melodia: talvez estejamos a fazer uma pergunta pertencente ao nível errado.

Não sabemos se essa hipótese é correcta, e o perigo de qualquer teoria relacional é transformar a ignorância numa palavra elegante. A exigência permanece quantitativa: qualquer nível mais profundo teria de explicar o Modelo Padrão, as massas, cargas, spins, simetrias e interacções observadas. Não bastaria dizer que «tudo emerge».

A história da ciência ensina duas humildades aparentemente opostas. A primeira é não tratar o conhecimento actual como definitivo; a segunda é não desvalorizar o conhecimento actual apenas porque poderá ser incluído numa teoria futura. Newton não se tornou inútil depois de Einstein, e o Modelo Padrão não se torna uma ficção porque esperamos que exista uma descrição mais ampla.

Talvez o verdadeiro significado operacional de «elementar» seja, portanto, menos metafísico: uma entidade é elementar numa teoria quando essa teoria não a descreve como composta e quando nenhuma experiência disponível exige actualmente uma subestrutura. É uma fronteira do modelo e da evidência, não uma certidão de nascimento da realidade.

Esta prudência prepara-nos para o capítulo seguinte, porque mesmo depois de retirarmos todas as partículas de uma região, a Física quântica não nos entrega aquilo que a linguagem quotidiana chama nada. O vazio, quando finalmente o examinamos, começa a comportar-se como uma coisa muito pouco vazia.

VII O Vazio Não Está Vazio

O vazio é uma das maneiras mais povoadas de não haver partículas.

Imaginemos uma caixa absolutamente vazia. Retiramos o ar, a poeira, a luz e qualquer objecto material. Em linguagem quotidiana, diríamos que não ficou nada. A Física, contudo, precisa de fazer uma pergunta mais precisa: vazio relativamente a quê?

Num laboratório podemos produzir um vácuo extremamente elevado, retirando quase todas as moléculas de gás. Ainda assim, a caixa permanece numa região do espaço, possui paredes, campos podem atravessá-la e a gravidade continua presente. O vácuo técnico já mostra que «não haver matéria comum» não é o mesmo que «não existir nada».

A teoria quântica de campos torna a diferença ainda mais profunda. Para cada campo quântico, o vácuo é o estado de menor energia compatível com a teoria, não a ausência da própria estrutura física. Não encontramos partículas daquele tipo como excitações observáveis do estado, mas isso não transforma o campo e as suas propriedades num nada metafísico.

Uma sala de concertos antes da entrada dos músicos oferece uma primeira analogia. Não há música a ser tocada, mas existem acústica, arquitectura, temperatura, possibilidade de reverberação e condições para acontecimentos futuros. Seria errado dizer que a sala é «nada» apenas porque não há notas. O vácuo quântico é muito mais rigorosamente definido e não é literalmente uma sala, mas a comparação mostra que ausência de excitações não equivale a ausência de estrutura.

É comum explicar o vácuo dizendo que «partículas virtuais aparecem e desaparecem constantemente». A imagem é sedutora e tornou-se omnipresente, mas é fácil tomá-la demasiado literalmente. Partículas virtuais são elementos de determinados métodos perturbativos de cálculo e não devem ser imaginadas simplesmente como pequenas partículas reais que violam temporariamente conservação de energia porque a Natureza lhes concede um empréstimo de curta duração.

A relação de indeterminação energia-tempo também é frequentemente apresentada dessa maneira caricatural. A Mecânica Quântica não autoriza o Universo a quebrar a conservação de energia durante alguns instantes para depois pagar a dívida. O significado das relações de indeterminação depende da grandeza e do contexto, e o caso energia-tempo não é idêntico à relação entre posição e momento.

Um desenho animado pode mostrar uma personagem atravessando uma parede e regressando antes de alguém reparar, mas a metáfora não se torna uma lei física só porque é memorável. O vácuo quântico é estranho sem precisar dessa licença narrativa.

O efeito Casimir oferece um dos exemplos mais citados de fenómenos em que o estado quântico do campo e as condições de fronteira têm consequências observáveis.[1] Colocamos duas placas condutoras muito próximas no vácuo e mede-se uma força entre elas. Em linguagem popular, diz-se muitas vezes que a força resulta de «flutuações do vácuo» ou da diferença de modos permitidos entre as placas e fora delas.

A descrição completa pode ser formulada de maneiras teoricamente equivalentes em determinados contextos, e não devemos transformar o efeito Casimir numa prova simples de que existe uma espuma de partículas virtuais empurrando as placas. O fenómeno mostra, contudo, que aquilo que chamamos vácuo possui propriedades físicas e responde a condições impostas ao campo.

Uma corda de instrumento oferece uma analogia distante. O conjunto de modos que pode vibrar depende do comprimento e das condições nas extremidades. Alterar a fronteira altera as possibilidades do sistema mesmo antes de escolhermos uma melodia concreta. No caso quântico, os modos e o estado do campo possuem uma estrutura matemática específica, mas a ideia de que fronteiras alteram possibilidades físicas ajuda-nos a abandonar a imagem de um nada indiferente.

> **Princípio do Vazio Físico**
> O vácuo quântico não é o nada, mas um estado físico dos campos em que não estão presentes partículas do tipo considerado. Mesmo nesse estado, podem existir propriedades e relações capazes de produzir consequências observáveis.

Esta formulação também impede outro salto frequente: concluir que, porque o vácuo quântico não é vazio, a Física explicou como «algo surgiu do nada». Se uma teoria parte de campos, leis, estados e uma estrutura matemática, já não está a partir de nada no sentido filosófico absoluto. Pode descrever a origem de partículas ou universos a partir de um estado quântico, mas chamar «nada» a esse estado apenas desloca o problema para dentro da palavra.

É a mesma cautela que utilizámos com Ω. Ω não deve ser confundido com o vazio quântico, porque o vazio quântico tal como o descrevemos actualmente pressupõe campos e, normalmente, uma estrutura espaço-temporal ou pelo menos um formalismo físico já muito desenvolvido. Se estamos a explorar um domínio sem espaço, tempo e energia fundamentais, não podemos simplesmente colocar o vácuo da teoria quântica de campos no lugar de Ω.

[1] Hendrik B. G. Casimir, «On the Attraction Between Two Perfectly Conducting Plates», *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 51 (1948): 793–795. A interpretação do efeito não exige imaginar literalmente partículas virtuais a "saltarem" do nada.

A pintura oferece uma boa advertência. Uma tela branca pode parecer vazia, mas contém tecido, pigmento, textura, dimensão, história e luz reflectida. Um pintor pode utilizar esse branco como estado inicial de uma obra, mas ele não é ausência ontológica de suporte. Do mesmo modo, o vácuo físico é um estado dentro de uma teoria, não a abolição de todas as condições de existência.

O problema da energia do vácuo torna a situação ainda mais delicada. Em teoria quântica de campos aparecem contribuições para a energia associada ao estado de vácuo, enquanto na Relatividade Geral qualquer energia relevante pode, em princípio, contribuir para a gravidade. A enorme discrepância entre estimativas simples da energia de ponto zero e o valor associado à constante cosmológica observada constitui uma das dificuldades mais famosas da física teórica.

É frequentemente chamada «problema da constante cosmológica», e a diferença entre certas estimativas ingénuas e a observação pode alcançar ordens de grandeza absurdamente grandes. O ponto importante não é decorar um número espectacular, mas reconhecer que a relação entre vácuo quântico, gravidade e expansão cosmológica permanece profundamente problemática.

Uma mesa de mistura pode ajudar a visualizar a discrepância sem fingir resolvê-la. Imaginemos que um cálculo teórico prevê um ruído de fundo tão intenso que deveria saturar todos os canais, enquanto a gravação real mostra um nível quase silencioso. Não basta dizer que o ruído «está lá mas não se ouve»; precisamos de compreender por que a teoria e a medição parecem utilizar escalas tão diferentes.

Esta dificuldade também mostra por que devemos resistir à frase «o vácuo está cheio de energia» quando usada sem contexto. A energia do vácuo é uma questão teoricamente subtil, dependente de como quantidades são definidas e renormalizadas, e a gravitação torna a interpretação ainda mais difícil.

O vácuo é igualmente importante na história do campo de Higgs. O mecanismo de Higgs envolve um campo cujo estado de menor energia possui uma estrutura não trivial. Partículas como os bosões W e Z adquirem massa através da maneira como interagem com esse campo, e os fermões obtêm massas através dos seus acoplamentos ao Higgs.

É comum dizer que «o campo de Higgs dá massa a tudo». A frase é demasiado ampla. Grande parte da massa da matéria comum, por exemplo a massa de protões e neutrões, resulta sobretudo da dinâmica da cromodinâmica quântica, não simplesmente da massa dos quarks produzida pelo acoplamento ao Higgs. O mecanismo de Higgs é essencial, mas não é um xarope universal de massa derramado sobre o Universo.

Uma dança pode oferecer uma imagem prudente. Imaginemos um palco cuja própria estrutura condiciona de maneira diferente os movimentos de bailarinos distintos. A resistência ou possibilidade de movimento não precisa de ser uma substância adicionada a cada corpo; emerge da relação entre cada corpo e o meio. A analogia histórica da «sala cheia de pessoas» usada para explicar Higgs possui um espírito

semelhante, mas nenhuma comparação social substitui o formalismo de campos e simetrias quebradas.

O ponto central para o nosso percurso é outro: até aquilo que chamamos «ausência de partículas» pode possuir estrutura. A realidade não parece dividir-se simplesmente em duas caixas, uma cheia de coisas e outra contendo nada.

Talvez o próprio conceito de nada seja mais difícil do que o de alguma coisa. Retirar objectos não retira necessariamente campos; retirar partículas não retira estados; retirar matéria não retira geometria; e retirar geometria, como tentámos fazer com Ω, obriga-nos a abandonar quase todas as imagens intuitivas disponíveis.

A pergunta «por que existe alguma coisa em vez de nada?» torna-se então ainda mais estranha, porque não sabemos se o nada absoluto corresponde a uma possibilidade física coerente. A Filosofia pode formular a questão, mas a Física trabalha normalmente com estados de teorias, e um estado, por mais vazio que seja, já pertence a uma estrutura.

Uma pausa musical torna este ponto intuitivo. Um compasso de silêncio não é ausência da obra. Possui duração, posição, expectativa e relação com aquilo que o antecede e segue. Se retirarmos a própria partitura, os músicos, a sala, o tempo e qualquer estrutura capaz de distinguir silêncio de som, já não estamos perante uma pausa; abolimos as condições que tornavam a palavra significativa.

O vácuo quântico é, neste sentido, mais parecido com uma pausa fisicamente estruturada do que com um nada metafísico. A comparação termina aí, mas ajuda-nos a perceber por que «vazio» pode ser uma palavra enganadora.

A consequência para Ω é clara. Se procuramos uma estrutura mais fundamental, não podemos começar por um vácuo concebido como recipiente onde os campos vivem. Precisamos de perguntar se campos e geometria podem eles próprios emergir de relações mais primitivas. Isso conduz directamente à gravidade, porque a Relatividade Geral transformou espaço-tempo numa entidade dinâmica e nos obriga agora a perguntar se essa dinâmica é fundamental ou também uma manifestação macroscópica de outra organização.

VIII A Gravidade Pode Não Ser Aquilo que Pensamos

Talvez a gravidade não puxe; talvez reorganize as possibilidades de cair.

Deixamos cair uma maçã e ninguém se surpreende. A experiência é tão quotidiana que a palavra «gravidade» parece apenas dar nome ao óbvio: as coisas caem para baixo. Mas cada parte desta frase contém problemas. «Baixo» depende de um campo gravitacional e de uma posição local; no outro lado da Terra, baixo aponta noutra direcção. E a própria ideia de uma força que puxa objectos foi transformada por Einstein numa geometria dinâmica do espaço-tempo.

Newton descreveu a gravitação como uma força universal entre massas. A sua lei explicou órbitas, marés e trajectórias com uma precisão sem precedentes e continua a ser extraordinariamente eficaz em muitos domínios. Einstein não apagou esse sucesso; mostrou que, em regimes mais amplos, a descrição mais profunda podia ser diferente.

Na Relatividade Geral, um corpo em queda livre segue uma geodésica do espaço-tempo. Em vez de imaginar uma força invisível actuando à distância sobre cada objecto, descrevemos como matéria e energia se relacionam com a curvatura da geometria e como essa geometria orienta trajectórias.

Uma esfera movendo-se numa superfície curva oferece uma imagem parcial. Se desenharmos a trajectória mais «recta» possível sobre a superfície de uma esfera, ela não coincide com a linha recta euclidiana que desenharíamos num plano. O caminho natural depende da geometria. No espaço-tempo, a situação é quadridimensional e muito mais complexa, mas a ideia de que movimento livre pode parecer «curvado» porque a geometria não é plana ajuda-nos a abandonar a imagem de uma mão cósmica puxando a maçã.

O teatro volta a servir. Num palco convencional, um actor pode atravessar em linha recta. Se o chão for deformado de maneira que certas trajectórias se tornem mais curtas ou mais longas, a coreografia muda mesmo sem um assistente invisível empurrar os corpos. A Relatividade Geral transforma, em certo sentido, o palco em participante activo.

Esta descrição é uma das maiores conquistas da Física. Explica a precessão do periélio de Mercúrio, a deflexão da luz, a dilatação gravitacional do tempo, buracos negros

e ondas gravitacionais, entre muitos outros fenómenos. As detecções directas de ondas gravitacionais confirmaram que perturbações da geometria podem propagar-se e transportar energia.

Mas precisamente por ser tão poderosa, a teoria levanta uma pergunta radical quando tentamos quantizá-la. Se a geometria do espaço-tempo é dinâmica, o que acontece quando entramos em regimes onde efeitos quânticos não podem ser ignorados? A tentativa de tratar a gravidade como as outras interacções através de métodos perturbativos comuns encontra dificuldades de renormalização, e por isso procuram-se formulações mais profundas.

Uma possibilidade é que a gravidade não seja fundamental no mesmo sentido que imaginamos. Poderá emergir de graus de liberdade mais básicos, da mesma maneira que temperatura emerge do comportamento colectivo de componentes microscópicos. Esta ideia aparece em diferentes programas, mas não existe uma teoria consensual e experimentalmente estabelecida de gravidade emergente.

A comparação com temperatura é poderosa e perigosa. Temperatura não é uma força escondida entre moléculas; é uma propriedade estatística do conjunto. Se gravidade fosse emergente, a curvatura do espaço-tempo poderia ser uma descrição macroscópica de relações mais fundamentais. Mas uma analogia não demonstra que o mecanismo seja o mesmo.

Ted Jacobson mostrou em 1995 que, sob determinadas hipóteses, as equações de Einstein podem ser relacionadas com uma relação termodinâmica aplicada a horizontes locais.[1] O resultado é profundo porque sugere uma ligação entre gravidade, entropia e termodinâmica. Não prova, contudo, que a Relatividade Geral seja simplesmente «calor» nem selecciona por si só uma única microestrutura subjacente.

Erik Verlinde propôs posteriormente uma abordagem em que gravidade seria interpretada como força entrópica emergente de informação associada a graus de liberdade microscópicos. A proposta gerou enorme interesse e controvérsia, e não deve ser apresentada como substituição confirmada da Relatividade Geral ou da matéria escura. É um exemplo de como a pergunta pela emergência gravitacional entrou na física teórica séria sem ter encontrado resposta definitiva.

A holografia oferece outro caminho. Em certas correspondências entre teorias quânticas e teorias gravitacionais, a geometria pode ser reconstruída a partir de informação e entrelaçamento no sistema quântico associado. Os resultados de Ryu e Takayanagi e trabalhos subsequentes sugerem relações profundas entre entropia de entrelaçamento e áreas geométricas.

[1] Ted Jacobson, «Thermodynamics of Spacetime: The Einstein Equation of State», *Physical Review Letters* 75 (1995): 1260–1263. Erik Verlinde, «On the Origin of Gravity and the Laws of Newton», *Journal of High Energy Physics* 2011, 29 (2011), é uma proposta posterior e controversa de gravidade entrópica, não uma substituição experimentalmente estabelecida da Relatividade Geral.

Uma tapeçaria fornece uma imagem. À distância vemos uma superfície contínua com formas e relevos; de perto encontramos fios e relações entre fios. Seria errado dizer que a imagem macroscópica é falsa porque é feita de tecido. Se a gravidade emergisse de uma microestrutura relacional, a curvatura do espaço-tempo poderia ser real do mesmo modo que a forma da tapeçaria é real, embora não constitua o nível mais fundamental da descrição.

> **Hip□tese da Gravidade Relacional**
> Aquilo que descrevemos como gravidade poderá ser uma propriedade emergente da organização das relações fundamentais. A curvatura do espaço-tempo seria, nessa hipótese, uma manifestação macroscópica de alterações na estrutura da Trama e não necessariamente uma propriedade presente no nível mais fundamental de Ω.

Esta hipótese precisa de enfrentar exigências severas. Tem de recuperar as equações de Einstein no domínio em que funcionam, explicar a equivalência entre massa inercial e gravitacional, reproduzir ondas gravitacionais, lentes, órbitas e cosmologia, e ainda apresentar novas previsões que permitam distingui-la de outras propostas.

A palavra Trama ganha aqui uma função possível: se geometria emerge da organização relacional, gravidade poderia corresponder a alterações nessa organização. Mas não devemos dizer simplesmente que «massa deforma a Trama» sem definir matematicamente o que Trama é, porque estaríamos apenas a traduzir «massa curva o espaço-tempo» para uma linguagem mais misteriosa.

Uma boa metáfora científica deve aumentar a exigência, não escondê-la. Se imaginamos uma rede, precisamos de dizer o que são os nós, ligações e pesos, como se obtém uma métrica e por que a dinâmica resultante obedece às observações. Caso contrário, a rede é apenas decoração.

O princípio da equivalência fornece um teste conceptual essencial. Num elevador em queda livre, uma pessoa e os objectos à sua volta parecem temporariamente sem peso porque seguem trajectórias semelhantes no campo gravitacional. Localmente, a gravidade pode ser eliminada por escolha de referencial de queda livre, embora efeitos de maré permaneçam e revelem a curvatura.

Einstein transformou esta experiência mental numa pista para a geometrização da gravidade. Se uma futura teoria disser que gravidade é emergente, terá de explicar por que essa equivalência aparece com a precisão observada. Não basta produzir uma força aproximadamente parecida com a de Newton.

A música oferece uma analogia interessante através da afinação. Um conjunto inteiro pode deslocar-se meio tom e conservar muitas relações internas; localmente, os músicos talvez nem percebam a diferença sem uma referência externa. Mas pequenas diferenças relativas entre vozes continuam detectáveis. Na gravidade, a analogia é apenas estrutural: um referencial em queda livre remove localmente certos efeitos, enquanto diferenças de aceleração entre trajectórias próximas — efeitos de maré — revelam a curvatura real.

Buracos negros tornam estas questões extremas. Na Relatividade Geral clássica, podem conter singularidades onde a teoria deixa de fornecer uma descrição completa. A termodinâmica dos buracos negros, a radiação de Hawking e o problema da informação sugerem uma ligação profunda entre gravidade, teoria quântica e entropia. Não sabemos ainda que estrutura final resolverá todas essas relações.

A ideia de que área de horizonte está ligada a entropia é particularmente surpreendente. Normalmente esperaríamos que a quantidade de informação possível num volume crescesse com o volume; a física dos buracos negros sugere relações em que a área desempenha um papel fundamental. Foi uma das pistas históricas para o princípio holográfico.

Uma biblioteca oferece uma imagem apenas para sentir a surpresa. Imaginemos descobrir que a capacidade máxima de informação de uma sala não depende do número de estantes que cabem no interior, mas da área das paredes. A analogia não explica a física, mas revela por que a relação entre gravidade e informação obrigou os físicos a reconsiderar intuições geométricas aparentemente óbvias.

No nosso percurso, a gravidade ocupa uma posição especial porque liga todas as categorias anteriores. É geometria, portanto toca Trama; relaciona-se com energia e matéria, portanto toca Tensão; define estruturas causais e horizontes, portanto aproxima-se de Nexo. Se Ω pretende servir como hipótese de uma organização mais fundamental, gravidade é o lugar onde a integração desses conceitos terá de mostrar se possui alguma utilidade real.

Talvez o espaço-tempo seja para Ω aquilo que uma imagem projectada é para o sistema de relações que a produz: uma estrutura emergente com propriedades próprias, não uma ilusão. Mas a comparação só se tornará ciência quando pudermos passar de uma formulação relacional concreta às equações e às observações.

A gravidade também nos obriga a abandonar uma oposição demasiado simples entre «fundamental» e «real». Uma onda gravitacional pode ser detectada, deslocar espelhos e transportar energia mesmo que, numa teoria futura, a geometria que a descreve seja emergente. Da mesma maneira, som é real embora dependa de relações entre fonte, medium e ouvinte; a sua realidade não exige que «som» seja um ingrediente elementar do Modelo Padrão.

Depois desta deslocação, surge uma pergunta quase inevitável. Se a própria geometria pode emergir, por que razão o Mundo macroscópico possui precisamente as dimensões que experimentamos? A gravidade vive numa estrutura que chamamos quadridimensional, enquanto certas teorias fundamentais admitem dimensões adicionais ou comportamentos dimensionais diferentes em escalas extremas. O capítulo seguinte pergunta, portanto, quantas dimensões tem realmente o Mundo e se esse número precisa de ser uma propriedade eterna colocada desde o início.

PARTE III

A ARQUITECTURA INVISÍVEL

IX Quantas Dimensões Tem o Mundo?

O Mundo pode ter mais direcções do que o corpo consegue imaginar.

Se perguntarmos quantas dimensões possui uma sala, a resposta parece imediata: três. Podemos deslocar-nos para a esquerda e para a direita, para a frente e para trás, para cima e para baixo. A experiência corporal torna essas três direcções independentes tão familiares que qualquer número diferente parece imediatamente pertencer à ficção científica ou à Matemática pura.

Mas a palavra dimensão possui um significado mais geral. Em Matemática, uma dimensão indica aproximadamente o número de coordenadas independentes necessárias para especificar um ponto dentro de um espaço. Uma linha precisa de uma, uma superfície de duas, o espaço quotidiano de três. Na Relatividade, um acontecimento é descrito por coordenadas espaciais e temporal, formando uma estrutura quadridimensional de espaço-tempo, embora a dimensão temporal não seja fisicamente equivalente às espaciais.

A dança fornece uma maneira simples de sentir a diferença. Um bailarino sobre uma corda esticada possui essencialmente uma direcção de deslocação. Num palco plano, ganha uma segunda direcção independente. Num espaço tridimensional, pode ainda saltar, subir e descer. Cada dimensão adicional abre possibilidades de trajectória que não existiam antes.

Edwin Abbott Abbott explorou esta intuição no século XIX em *Flatland*, imaginando habitantes de um mundo bidimensional incapazes de compreender directamente a terceira dimensão. Para um ser confinado a uma folha, uma esfera que atravessasse o plano apareceria primeiro como um ponto, depois como círculos de tamanho crescente e finalmente decrescente até desaparecer. O objecto tridimensional seria inferido através de secções bidimensionais sucessivas.

O exemplo é literário, mas ensina uma prudência importante: aquilo que conseguimos visualizar depende profundamente da arquitectura sensorial e corporal em que evoluímos. Não existe razão lógica para que a incapacidade de imaginar directamente quatro dimensões espaciais prove que elas sejam impossíveis.

A Física utilizou dimensões adicionais de maneira séria muito antes de a cultura popular as transformar em portais. Na década de 1920, Theodor Kaluza e Oskar

Klein exploraram a possibilidade de acrescentar uma dimensão espacial compacta à Relatividade Geral. Em determinadas condições matemáticas, parte das equações adicionais podia assumir uma forma relacionada com o electromagnetismo.

A ideia era extraordinária: aquilo que para nós aparece como uma força poderia estar ligado à geometria de uma dimensão que não observamos directamente.[1] A proposta original não se tornou uma teoria completa da Natureza, mas abriu um caminho conceptual que reapareceria em teorias posteriores.

Como pode uma dimensão existir sem a vermos? Uma mangueira de jardim oferece a analogia clássica. Vista de muito longe, parece uma linha: podemos descrever posições apenas pela distância ao longo do comprimento. Uma formiga pousada sobre ela descobre uma segunda direcção, podendo caminhar à volta da circunferência. Essa dimensão adicional estava compactada numa escala pequena relativamente à nossa observação distante.

A analogia permite imaginar dimensões espaciais enroladas ou compactificadas. Na teoria das cordas, versões consistentes do formalismo costumam exigir mais dimensões do que as quatro do espaço-tempo observável; as dimensões extra poderiam estar compactificadas em estruturas extremamente pequenas. A teoria é matematicamente rica, mas a existência física dessas dimensões adicionais ainda não foi confirmada experimentalmente.

Uma peça musical pode conter algo semelhante à ideia de dimensões ocultas sem reproduzi-la literalmente. Ouvimos uma melodia simples e, numa análise posterior, descobrimos que cada nota participa simultaneamente de estruturas harmónicas, espectrais, métricas e formais que não eram conscientemente percebidas na primeira audição. A experiência imediata utilizava uma espécie de projecção reduzida de uma organização mais rica. Não devemos concluir que dimensões físicas são «camadas musicais», mas a analogia ajuda a perceber como um sistema pode exigir mais parâmetros para ser completamente descrito do que aqueles que aparecem directamente à percepção.

A dimensionalidade também pode ser tratada como propriedade emergente. Em alguns programas de gravidade quântica, medidas efectivas de dimensão, como a chamada dimensão espectral, podem variar com a escala. Isto significa que uma estrutura pode comportar-se como se possuísse um determinado número de dimensões em grandes escalas e outro número em regimes extremos.

Imaginemos tinta espalhando-se. Num tubo muito fino, a difusão é praticamente unidimensional; numa folha, bidimensional; numa sala, tridimensional. Observando como a tinta se dispersa, poderíamos inferir propriedades da geometria

[1] Theodor Kaluza, «Zum Unitätsproblem der Physik», *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* (1921): 966–972; Oskar Klein, «Quantentheorie und fünfdimensionale Relativitätstheorie», *Zeitschrift für Physik* 37 (1926): 895–906. Dimensões adicionais em teorias de cordas permanecem não confirmadas experimentalmente.

disponível. A dimensão espectral utiliza ideias matemáticas relacionadas com processos de difusão para caracterizar espaços, mesmo quando eles não são variedades geométricas convencionais.

Alguns modelos de gravidade quântica apresentam uma redução efectiva da dimensão espectral em escalas muito pequenas. É um resultado teórico encontrado em contextos específicos, não uma observação de que o Universo real «fica bidimensional» abaixo de uma determinada régua. O ponto importante é que dimensão pode ser uma propriedade derivada da estrutura, e não necessariamente um número absoluto escrito no início da criação.

Esta possibilidade encaixa naturalmente na noção de Trama. Se espaço emerge de uma rede de relações, então o número de dimensões deveria ser consequência da maneira como essas relações se organizam. Uma rede simples pode possuir diferentes propriedades topológicas e métricas conforme a conectividade, e certas classes de redes aproximam geometrias de dimensões distintas.

Uma rede de transportes oferece uma imagem intuitiva. Uma linha ferroviária única comporta-se quase como uma dimensão; uma malha urbana cria inúmeras rotas independentes. Mas a dimensão matemática não é simplesmente o número de ligações disponíveis. Uma teoria de Trama precisaria de definir que propriedades da rede correspondem precisamente à dimensionalidade macroscópica observada.

> **Princípio da Dimensionalidade Emergente**
> Se o espaço não for fundamental, o número de dimensões espaciais observáveis deverá resultar da organização da estrutura relacional e não ser introduzido como pressuposto independente. Qualquer teoria deste tipo terá de explicar por que emergem três grandes dimensões espaciais no regime macroscópico.

A formulação impõe uma tarefa difícil. Não basta mostrar que três dimensões são possíveis; precisamos de compreender por que são estáveis e por que outras dimensões, se existirem, não aparecem à escala quotidiana. A Física conhece argumentos sobre estabilidade de órbitas, propagação de campos e estrutura de leis em diferentes dimensões, mas nenhum argumento simples permite concluir que três dimensões eram inevitáveis em qualquer teoria possível.

A pintura fornece outra maneira de compreender a dependência da representação. A perspectiva renascentista consegue representar profundidade tridimensional numa superfície bidimensional através de regras geométricas. A imagem não contém fisicamente a profundidade que vemos; constrói relações que o sistema visual interpreta como espaço.

O cinema amplia a operação. Uma superfície bidimensional apresenta movimento tridimensional e sequência temporal. O espectador vive uma geometria narrativa mais rica do que a materialidade plana do ecrã. Mais uma vez, a analogia

não sugere que vivamos numa projecção cinematográfica; apenas mostra que dimensionalidade aparente e estrutura subjacente não precisam de coincidir de maneira trivial.

O princípio holográfico leva essa desconexão a um nível físico muito mais profundo. A entropia de um buraco negro cresce com a área do horizonte, e determinadas teorias gravitacionais podem ser equivalentes a teorias quânticas definidas numa fronteira com menos dimensões. A correspondência AdS/CFT é o exemplo mais desenvolvido, relacionando uma teoria gravitacional num espaço de dimensão superior com uma teoria conforme sem gravidade na fronteira.

A palavra «holográfico» pode sugerir que o nosso Universo tridimensional é uma ilusão projectada por uma superfície distante. Essa imagem é demasiado literal. O que existe são equivalências matemáticas em contextos específicos, capazes de codificar informação de uma descrição em outra com dimensionalidade diferente.

A informação regressa aqui de maneira inevitável. Se uma geometria de dimensão superior pode, em certos modelos, ser reconstruída a partir de dados numa dimensão inferior, então talvez a dimensionalidade esteja ligada menos a recipientes e mais à organização da informação física.

Uma partitura orquestral ocupa duas dimensões no papel e pode codificar uma obra temporal para dezenas de instrumentos distribuídos no espaço. Não concluímos que a música «vive realmente» em duas dimensões; reconhecemos uma correspondência entre estruturas. A holografia física é muitíssimo mais rigorosa e não é apenas codificação convencional, mas a analogia ajuda-nos a resistir ao impulso de transformar dimensão em substância.

Há uma tentação filosófica de perguntar qual dimensionalidade é a verdadeira. Talvez a pergunta seja semelhante a perguntar se uma cidade é realmente o mapa rodoviário, o mapa topográfico ou a rede de metro. Diferentes descrições podem destacar estruturas distintas, embora no caso físico esperemos uma teoria capaz de dizer precisamente como se relacionam.

Para Ω, a hipótese mais radical é que dimensionalidade não exista no nível fundamental. Trama não teria inicialmente «três» ou «dez» dimensões; teria relações cuja organização poderia produzir diferentes geometrias emergentes. Se isso for possível, dimensão tornar-se-á uma propriedade semelhante ao número de vozes perceptíveis numa textura musical: real no nível em que aparece, derivada da organização que a sustenta.

Mas, quando retiramos uma geometria fundamental, torna-se ainda mais difícil explicar causalidade. Estamos habituados a dizer que A causa B porque A acontece primeiro e B depois, ou porque alguma influência se propaga de um lugar para outro. Se espaço e tempo forem emergentes, talvez a própria ideia de causa precise de ser desmontada antes de poder ser reconstruída.

X O que Significa uma Causa?

Uma causa talvez seja uma maneira de ler a ordem das marcas.

Uma bola de bilhar bate noutra e a segunda começa a mover-se. Poucos exemplos parecem mais claros de causa e efeito. A primeira bola tinha movimento, houve contacto, a segunda recebeu momento e alterou a trajectória. A nossa linguagem resume a sequência dizendo que a colisão causou o movimento.

Mas a palavra causa desempenha trabalhos muito diferentes. Dizemos que o fogo causou o incêndio, que um vírus causou uma doença, que a falta de chuva causou uma colheita fraca, que uma decisão política causou uma crise ou que uma nota inesperada causou tensão numa música. Em cada caso, a relação entre acontecimentos é diferente e envolve mecanismos, condições e níveis de descrição distintos.

A Física clássica reforçou durante muito tempo uma imagem determinista. Se conhecêssemos exactamente o estado de todas as partículas e as leis que as governam, imaginou Laplace, uma inteligência suficientemente poderosa poderia calcular passado e futuro. Causa parecia então fundir-se com evolução determinista segundo leis.

A Mecânica Quântica tornou essa imagem mais complexa. A teoria fornece probabilidades para resultados e, em muitas interpretações, não atribui a todos os acontecimentos individuais uma causa determinista clássica capaz de fixar antecipadamente o resultado. Isto não significa que o Universo se tornou sem leis; significa que lei, determinação e causa não são sinónimos.

A causalidade na Relatividade está intimamente ligada à estrutura do espaço-tempo. A velocidade da luz define cones causais que separam acontecimentos capazes de estar relacionados por sinais subluminais ou luminosos daqueles que estão espacialmente separados de maneira que nenhuma influência causal convencional pode ligá-los sem violar a estrutura relativista.

Uma instalação de luz ajuda-nos a imaginar o cone causal. Acendemos uma lâmpada e a mudança luminosa propaga-se a uma velocidade finita. Há regiões que ainda não poderiam saber fisicamente que o interruptor foi accionado porque o sinal não teve tempo de chegar. O futuro causal de um acontecimento é o conjunto de regiões que podem ser influenciadas por sinais compatíveis com a teoria.

Se o espaço-tempo for emergente, porém, talvez essa estrutura causal também seja emergente. Programas como os conjuntos causais invertem precisamente a ordem: começam por relações de precedência causal e tentam reconstruir geometria. Nesse quadro, a causalidade não é desenhada dentro do espaço; a estrutura do espaço-tempo é parcialmente inferida da ordem causal.

O problema é que «causal» já parece conter tempo. Se dissermos que A causa B porque A precede B, estamos a usar uma ordem temporal. Mas talvez uma relação fundamental possua uma assimetria capaz de originar simultaneamente a noção de precedência e a de causalidade.

Nexo foi introduzido para explorar essa possibilidade. Uma configuração pode possuir um registo de outra de forma assimétrica. Se B contém informação reconstruível acerca de A e a relação inversa não existe, podemos obter uma orientação sem colocar inicialmente ambos os estados numa linha temporal externa.

Uma pegada na areia oferece a imagem quotidiana. A forma actual da areia permite inferir que um pé esteve ali; o pé que produziu a marca não continha necessariamente informação detalhada sobre a futura pegada. A relação entre evento e registo possui uma assimetria física.

Isto não basta para definir causa. Uma fotografia de uma montanha contém informação acerca da montanha, mas não dizemos que a montanha causou todos os processos posteriores que podem utilizar a fotografia. Causalidade envolve mais do que correlação ou registo; envolve dependências contrafactuais, mecanismos, intervenções ou outras estruturas conforme a teoria filosófica adoptada.

A Filosofia da causalidade oferece numerosas abordagens.[1] Algumas enfatizam regularidades, outras probabilidades, mecanismos, intervenção ou relações contrafactuais. Não existe uma definição única universalmente aceite capaz de resolver todos os contextos científicos e quotidianos.

Uma mesa de som mostra por que a intervenção é útil. Se aumentamos deliberadamente um canal e o volume global muda, podemos testar a dependência. Se dois canais variam juntos porque recebem o mesmo sinal externo, a correlação entre eles não prova que um cause o outro. Intervir permite distinguir algumas relações causais de meras coincidências.

Na ciência, experiências controladas exploram precisamente essa lógica. Alteramos uma variável enquanto tentamos manter outras condições e observamos consequências. Mas nem todos os sistemas permitem intervenção directa: não podemos criar estrelas à vontade para testar cosmologia. Nesses casos, inferimos causas através de modelos, observações, comparação de cenários e estrutura teórica.

[1] Ver, entre outros, James Woodward, *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation* (Oxford University Press, 2003), e Judea Pearl, *Causality*, 2.ª ed. (Cambridge University Press, 2009). A causalidade relativista e as relações contrafactuais/intervencionistas pertencem a níveis teóricos diferentes e não devem ser fundidas sem cuidado.

A palavra «porque» esconde, assim, um enorme trabalho. Dizer que a maçã cai «porque existe gravidade» é útil, mas uma explicação relativista descreve geodésicas e curvatura. Dizer que a curvatura existe «porque há massa-energia» resume as equações de Einstein, mas não explica necessariamente por que essas equações são as leis do Mundo. Cada causa pode abrir outra pergunta.

A música conhece algo semelhante. Um acorde parece «pedir» resolução, mas a sensação depende de convenções harmónicas, história de escuta e relações internas. Podemos dizer que a dominante causa expectativa da tónica, mas esta causalidade musical não é uma força física. O mesmo verbo atravessa níveis diferentes e não deve levar-nos a imaginar um mecanismo universal chamado causa operando da mesma forma em toda a realidade.

Uma montagem cinematográfica explora deliberadamente a inferência causal. Mostramos uma personagem olhar para fora do plano e depois cortamos para uma casa em chamas; o espectador tende a construir uma relação entre os planos. Eisenstein e outros cineastas compreenderam que a sequência pode gerar significado sem que os acontecimentos tenham sido filmados na mesma situação.

A mente humana procura causas porque prever dependências é adaptativamente valioso. Se um ruído precede repetidamente um predador, reconhecer a relação pode salvar um organismo. Mas a facilidade psicológica com que inferimos causas não garante que cada sequência possua uma conexão física correspondente.

A superstição nasce muitas vezes dessa confusão. Um acontecimento segue-se a outro e transformamos sucessão em causalidade. A Ciência tenta impor critérios mais severos: repetição, mecanismo, estatística, intervenção, coerência com teorias bem testadas.

No domínio quântico, as correlações de Bell introduzem outra complexidade. Sistemas entrelaçados podem apresentar correlações que não podem ser explicadas por variáveis ocultas locais clássicas, mas isso não permite controlar uma mensagem mais depressa do que a luz. Correlação quântica não é simplesmente uma influência causal supraluminal utilizável.

É por isso que frases como «uma partícula sabe instantaneamente o que aconteceu à outra» são metáforas perigosas. A teoria descreve estados conjuntos e probabilidades correlacionadas; atribuir conhecimento ou sinais secretos às partículas acrescenta uma narrativa que o formalismo não exige.

Se Ω não possui tempo e espaço fundamentais, talvez a causalidade fundamental tenha de ser formulada sem imaginar sinais percorrendo distâncias ao longo de segundos. Uma relação assimétrica entre configurações poderia fornecer uma base, mas teria de explicar depois por que emerge a causalidade relativista local com cones de luz e proibição de sinalização supraluminal.

Axioma 3 — Nexo, segunda reformulação
O Nexo designa uma estrutura assimétrica de relações em que certas configurações podem condicionar outras e em que algumas conservam vestígios reconstruíveis das relações que as precedem. A ordem causal e a possibilidade de registo seriam manifestações dessa orientação, sem que seja necessário pressupor à partida um relógio universal.

A palavra «precedem» nesta formulação é perigosa e precisa de ser lida em sentido relacional, não como precedência temporal previamente dada. Uma futura formalização terá de substituir esse vocabulário por relações definidas sem circularidade.

Uma partitura gráfica pode servir de ensaio mental. Em vez de marcar segundos, estabelece que determinado gesto só pode ocorrer se outro estiver presente ou deixar um sinal. A rede de dependências organiza uma orientação de execução sem precisar de um relógio central. Ainda existe tempo na performance real, mas a estrutura lógica da dependência pode ser descrita antes da duração concreta.

Talvez causalidade seja semelhante a uma gramática de possibilidades: nem toda a configuração pode relacionar-se com qualquer outra. Algumas transições ou dependências são permitidas, outras proibidas, e dessa assimetria emerge uma ordem física.

Tensão poderia entrar aqui como estrutura de compatibilidade e Nexo como orientação. Trama definiria relações que, num regime emergente, aparecem como proximidade e propagação. A causalidade macroscópica seria então uma propriedade conjunta dessas estruturas, não um quarto ingrediente separado.

Esta integração permanece altamente especulativa. O valor do exercício é revelar aquilo que precisa de ser explicado: causalidade não pode ser simplesmente importada do espaço-tempo se estamos a tentar explicar o próprio espaço-tempo.

Há ainda um aspecto decisivo que nos leva ao próximo capítulo. Para reconhecer causas, sistemas precisam de distinguir estados, conservar registos e reduzir incerteza. Uma causa deixa marcas, uma experiência produz dados e um organismo utiliza diferenças para orientar acção. Tudo isto nos empurra para uma palavra que se tornou omnipresente na Física, Biologia e tecnologia: informação.

XI Informação: Uma Coisa, uma Relação ou uma Medida?

Informação não é uma coisa guardada; é uma diferença que pode ser reconstruída.

Uma partitura pode existir em papel, num ficheiro digital, numa fotografia ou na memória de um músico. O suporte muda radicalmente: tinta, cargas eléctricas, padrões magnéticos, actividade neural. Ainda assim, reconhecemos que alguma estrutura persiste através dessas transformações e chamamos-lhe informação.

A palavra é tão usada que parece explicar tudo. Genes contêm informação, buracos negros têm informação, computadores processam informação, o cérebro utiliza informação e o Universo é por vezes descrito como informação. Quando uma palavra começa a aparecer em todas as salas, convém perguntar se ainda sabemos exactamente o que transporta na mala.

Claude Shannon deu à teoria da informação uma formulação matemática rigorosa ao estudar comunicação.[1] O seu objectivo não era medir significado poético, verdade ou importância humana, mas quantificar incerteza e capacidade de transmissão através de canais. Uma mensagem é informativa, nesse sentido, quando permite distinguir entre possibilidades.

Imaginemos uma moeda equilibrada. Antes de a lançar existem duas possibilidades aproximadamente equiprováveis. Saber que saiu cara reduz a incerteza. Um bit corresponde, no caso ideal mais simples, à distinção entre duas alternativas equiprováveis.

A música mostra imediatamente por que informação de Shannon não é significado. Uma sequência totalmente previsível de mil notas iguais possui baixa surpresa estatística; uma sequência aleatória pode possuir grande imprevisibilidade. Mas ninguém concluiria por isso que o ruído aleatório possui necessariamente mais significado musical do que uma fuga cuidadosamente construída. A teoria mede estrutura probabilística, não valor estético.

Esta distinção é essencial quando dizemos que DNA contém informação. As sequências de nucleótidos participam em relações físicas e químicas que influenciam

[1] Claude E. Shannon, «A Mathematical Theory of Communication», *Bell System Technical Journal* 27 (1948): 379–423 e 623–656; Rolf Landauer, «Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process», *IBM Journal of Research and Development* 5 (1961): 183–191.

a produção de RNA, proteínas e regulação celular. Podemos descrevê-las informacionalmente porque diferentes sequências correspondem a diferenças funcionais e hereditárias. Isto não implica a existência de um escritor consciente que colocou mensagens intencionais dentro das células.

Uma receita oferece uma analogia útil desde que não seja tomada literalmente. A sequência escrita influencia aquilo que pode ser preparado, mas depende de cozinha, ingredientes, ferramentas e contexto. Um gene também não funciona sozinho; depende de maquinaria celular, regulação, ambiente e história do organismo.

A informação parece então inseparável das relações que permitem interpretá-la fisicamente. Um conjunto de marcas só funciona como código se existir uma estrutura que relacione diferenças no suporte com diferenças noutro processo.

Uma pegada contém informação acerca de um animal porque a forma da marca está correlacionada com propriedades do pé e do movimento. Não existe uma substância informacional adicional derramada sobre a areia. A informação está na relação entre configurações e na possibilidade de reconstruir uma a partir da outra.

Esta perspectiva aproxima-se directamente de Nexo. Se B permite distinguir entre diferentes estados possíveis de A, então B funciona como registo de A. Podemos começar a tornar a ideia mais precisa em termos de capacidade de reconstrução e redução de incerteza.

> **Princípio da Informação Relacional**
> Informação não é tratada como uma substância acrescentada às configurações de Ω, mas como uma propriedade das relações que permite distinguir possibilidades e reconstruir, com diferentes graus de precisão, aspectos de uma configuração a partir de outra.

A formulação evita dizer que «tudo é informação». Uma pedra pode conter informação sobre processos geológicos, mas isso não significa que seja feita de bits no mesmo sentido em que um ficheiro informático é codificado. Informação é uma maneira de descrever diferenças e relações; não precisa de substituir matéria, energia ou campos como uma nova substância universal.

Rolf Landauer resumiu uma intuição importante na frase «information is physical». O significado não é que informação seja uma matéria especial, mas que qualquer armazenamento, transmissão ou apagamento real precisa de uma implementação física. Um bit num computador precisa de estados físicos distinguíveis; uma memória cerebral depende de sistemas materiais.

O princípio de Landauer mostra ainda que apagar informação em determinadas condições possui um custo termodinâmico mínimo. Isto liga informação e energia sem as identificar. Um ficheiro não é joules, mas manipular fisicamente estados que representam bits participa das leis termodinâmicas.

Uma melodia oferece a imagem da independência parcial do suporte. Podemos tocá-la num piano, cantar, escrever ou codificar digitalmente. O padrão parece sobreviver à mudança de medium. Mas em cada realização precisa de alguma estrutura física que a instancie; não encontramos melodias flutuando sem qualquer suporte.

A informação pode, portanto, ser abstracta na descrição e física na realização. Esta dupla condição alimenta muitos debates filosóficos, especialmente quando se tenta dizer que o Universo é «fundamentalmente informação».

John Archibald Wheeler popularizou a expressão *it from bit*, sugerindo de maneira provocatória que entidades físicas poderiam estar profundamente ligadas a actos elementares de distinção ou resposta binária. A frase tornou-se influente, mas não constitui um resultado experimental que prove que matéria é literalmente feita de bits.

Podemos tratá-la como heurística: talvez distinção seja mais fundamental do que algumas das coisas que distinguimos. Esta ideia possui afinidade com o nosso Axioma 2, segundo o qual Ω não é completamente indiferenciado.

Uma folha branca com um ponto negro mostra o mínimo necessário para aparecer informação visual: uma diferença. Sem diferença, não há nada que distinguir. Na música, uma pausa só adquire função relativamente a sons, e um intervalo exige pelo menos duas alturas. A informação parece começar quando relações permitem separar possibilidades.

O problema torna-se extremo nos buracos negros. Hawking mostrou que, combinando teoria quântica em espaço-tempo curvo com horizontes de buracos negros, estes podem emitir radiação térmica e evaporar lentamente. Se a radiação fosse completamente térmica e não conservasse informação acerca do estado que formou o buraco negro, pareceria ocorrer uma perda de informação incompatível com a evolução unitária da Mecânica Quântica convencional.

Nasceu assim o paradoxo da informação dos buracos negros. Décadas de investigação produziram argumentos fortes a favor da preservação da informação em uma teoria quântica completa da gravidade, especialmente através da holografia, mas o mecanismo detalhado e a interpretação física continuam a ser áreas de investigação activa.

Uma orquestra triturando uma melodia numa textura extremamente complexa oferece uma imagem. Depois de milhares de transformações, a estrutura original pode parecer perdida, mas talvez permaneça codificada de maneira tão espalhada que seja praticamente impossível reconstruí-la sem conhecer toda a dinâmica. Isto seria *scrambling*, não destruição absoluta.

A analogia ajuda a distinguir informação inacessível de informação inexistente. Um documento encriptado parece ruído para quem não possui a chave, mas continua a conter estrutura recuperável em princípio.

Esta distinção é central para Nexo. Um registo não precisa de ser facilmente legível; precisa de conservar relações que permitam, pelo menos em princípio e com

recursos adequados, distinguir configurações anteriores. Podemos então reformular o conceito com maior rigor conceptual.

> **Axioma 3 — Nexo, terceira reformulação**
> Uma configuração B constitui um registo de A quando as relações presentes em B permitem distinguir entre diferentes configurações possíveis de A melhor do que seria possível sem B. A assimetria dessa capacidade de reconstrução participa na orientação relacional a que chamamos Nexo.

Esta formulação já não depende directamente da palavra «antes», embora ainda seja necessário formalizar aquilo que significa «possíveis configurações» e como a assimetria se relaciona com causalidade e termodinâmica. Gregory Bateson descreveu informação como «a difference that makes a difference». A frase é intelectualmente fértil, mas não deve substituir definições específicas. Em Biologia, Física, informática ou comunicação, o que conta como diferença relevante depende do sistema e da pergunta.

Um termóstato responde a variações de temperatura sem possuir consciência. Uma célula detecta concentrações químicas e altera processos internos. Informação física não exige um sujeito humano que interprete significado.

Ao mesmo tempo, significado semântico acrescenta outro nível. A palavra «fogo» impressa numa página e uma chama real podem possuir relações informacionais, mas o conteúdo linguístico depende de convenções, história e organismos capazes de linguagem.

A palavra informação atravessa, portanto, vários níveis sem que precisemos de reduzi-los a uma definição única. O cuidado consiste em não transformar uma ferramenta matemática poderosa numa substância metafísica que explica tudo por decreto.

Se Ω contém diferenças relacionais, informação poderá ser uma maneira de quantificar algumas dessas diferenças quando existir uma estrutura capaz de distinguir configurações. Mas uma teoria fundamental terá de explicar por que certos padrões são estáveis, quais transformações os preservam e como aparecem as regularidades que chamamos leis.

Esta transição é inevitável. Informação só se torna útil se as relações não forem completamente arbitrárias. Para poder reconstruir algo, precisamos de regularidades: uma fotografia conserva uma cena porque luz e matéria obedecem a padrões físicos consistentes; DNA funciona porque química e biologia possuem estruturas estáveis. A pergunta seguinte é, portanto, de onde vêm essas regularidades e por que chamamos leis à maneira persistente como o Mundo se comporta.

PARTE IV

AS LEIS E O UNIVERSO

XII Quem Disse à Natureza Quais Eram as Suas Leis?

As leis talvez não mandem na Natureza; talvez sejam a forma persistente como ela se relaciona.

Deixamos uma maçã cair e ela acelera. Repetimos a experiência amanhã e esperamos o mesmo resultado. Um electrão possui a mesma carga em Lisboa, no Japão ou numa galáxia distante. A regularidade é tão profunda que aprendemos a falar de «leis da Natureza» como se existisse um código legislativo cósmico.

A metáfora jurídica é antiga e poderosa. Uma lei humana existe antes da acção, é promulgada por uma autoridade e pode ser violada. Quando transferimos a palavra para a Física, começamos involuntariamente a imaginar regras exteriores que dizem à matéria o que deve fazer.

Mas uma pedra não conhece a lei da gravidade e não pode decidir desobedecer. Um electrão não consulta Maxwell antes de interagir. As chamadas leis físicas descrevem regularidades e relações que observamos no comportamento do Mundo. A pergunta filosófica é se essas leis são apenas descrições das regularidades ou se possuem algum tipo de papel governante mais profundo.

Uma partitura oferece as duas imagens. Numa interpretação tradicional, a partitura existe antes da execução e orienta os músicos: a regra precede o acontecimento. Numa improvisação gravada, podemos transcrever depois aquilo que ocorreu e escrever uma partitura descritiva. O mesmo conjunto de notas pode, portanto, ser visto como prescrito antes ou descrito depois.

A filosofia das leis da Natureza possui posições análogas.[1] Algumas concepções tratam as leis como regularidades particularmente gerais; outras atribuem-lhes necessidade, relações entre universais, estruturas modais ou papéis na determinação das possibilidades físicas.

[1] Para um panorama das principais concepções de leis da Natureza — regularidades, necessitação, disposições e abordagens modais — ver a entrada «Laws of Nature» da *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. O capítulo usa estas famílias como mapa filosófico, não como consenso único.

John Stuart Mill está associado historicamente a uma visão regularista: leis resumem padrões do que acontece. David Hume inspirou posições em que não precisamos de postular uma necessidade metafísica escondida por trás da sucessão regular de acontecimentos.

Outras abordagens consideram que a simples regularidade não basta. Se todos os objectos numa sala forem vermelhos por coincidência, não transformamos isso numa lei da Natureza. Leis parecem possuir generalidade, estabilidade e integração com outras relações teóricas.

Um bando de estorninhos oferece uma imagem útil. A forma global parece coordenada como se houvesse um coreógrafo, mas pode emergir de regras locais de interacção entre aves. A regularidade do conjunto não precisa de ser uma ordem exterior enviada a cada indivíduo.

Sistemas físicos apresentam inúmeros exemplos de leis efectivas emergentes. A termodinâmica descreve gases através de pressão, volume, temperatura e entropia, embora moléculas individuais não carreguem pequenas versões dessas grandezas macroscópicas. Regularidades extremamente estáveis aparecem no nível colectivo.

Uma onda do mar obedece a equações que descrevem propagação, embora nenhuma molécula de água viaje necessariamente com a forma da onda. A lei efectiva do padrão não precisa de ser propriedade isolada de cada componente. Talvez algumas leis que consideramos fundamentais também possam emergir de uma organização mais profunda.

A história da Física aconselha prudência acerca da palavra «fundamental». Newton descreveu gravidade através de uma força; Einstein substituiu essa imagem por geometria. As previsões newtonianas continuam válidas como aproximação em grande domínio. A lei não desapareceu simplesmente; encontrou um lugar dentro de uma teoria mais ampla.

Isto mostra que «lei da Natureza» e «equação que utilizamos actualmente» não são sinónimos absolutos. As teorias mudam enquanto regularidades observadas permanecem e são reinterpretadas.

Uma gravação musical pode ser analisada primeiro como sequência de acordes e mais tarde através de espectro, microtempo e acústica. A obra não mudou; mudou o sistema descritivo e o conjunto de regularidades que conseguimos explicitar.

As constantes da Natureza introduzem outra questão. A velocidade da luz, a constante de Planck, a carga do electrão e parâmetros do Modelo Padrão possuem valores específicos. Alguns podem depender da escolha de unidades, por isso são especialmente importantes combinações adimensionais como a constante de estrutura fina.

Por que esses valores e não outros? A teoria actual mede vários parâmetros em vez de os derivar de um princípio mais profundo. É possível que uma teoria futura os explique; também é possível que alguns sejam contingentes dentro de um conjunto mais vasto de possibilidades físicas.

Uma mesa de mistura oferece uma analogia perigosa mas intuitiva. Vemos vários controlos ajustados para valores específicos e perguntamos quem os regulou. A metáfora do «fine tuning» pode sugerir imediatamente um agente que afinou o Universo, mas a existência de valores específicos não prova, por si só, que alguém os tenha escolhido.

Uma receita também contém proporções particulares sem que toda a química do Universo tenha sido escrita por um cozinheiro. Precisamos de distinguir a pergunta física «por que este valor?» da narrativa intencional «quem decidiu este valor?».

A linguagem antropomórfica aparece constantemente: a Natureza «escolhe» o caminho de menor acção, partículas «querem» minimizar energia, evolução «procura» soluções. São atalhos linguísticos úteis e perigosos. Equações variacionais não implicam intenção consciente.

No nosso quadro especulativo, talvez as leis sejam propriedades estáveis da organização relacional de Ω. Em vez de existirem como regras exteriores, poderiam corresponder às simetrias, restrições e possibilidades da própria estrutura.

> **Hipótese das Leis Relacionais**
> Aquilo que descrevemos como leis da Natureza poderá corresponder a regularidades estáveis da estrutura relacional do Mundo. Em vez de serem regras exteriores que comandam Ω, poderão resultar das possibilidades, restrições e simetrias da própria organização de Ω.

Uma dança improvisada ajuda a visualizar esta hipótese. Não existe necessariamente uma sequência escrita previamente, mas a anatomia dos corpos, o chão, a gravidade, o estilo, a memória e as respostas recíprocas restringem fortemente aquilo que pode acontecer. A forma emerge dentro de um espaço de possibilidades estruturado.

Uma língua funciona de modo semelhante. Falantes produzem frases nunca pronunciadas antes, mas não combinam sons e palavras arbitrariamente. A gramática e a história linguística estruturam possibilidades sem precisar de um legislador sentado dentro de cada frase. A analogia não prova que leis físicas sejam gramática, mas revela uma alternativa à imagem de decreto externo: regularidades podem ser imanentes à própria organização.

A questão seguinte surge imediatamente. Se leis são estruturas ou regularidades, poderiam elas próprias ter-se transformado? Talvez as leis que observamos sejam estáveis apenas depois de uma determinada fase do Universo, enquanto a própria organização fundamental se estabeleceu de outra maneira em regimes anteriores.

Dizer que as leis evoluem, contudo, cria um problema lógico. Se uma lei muda, segundo que lei acontece a mudança? Introduzimos uma meta-lei e podemos continuar indefinidamente. É essa dificuldade que o próximo capítulo terá de enfrentar: distinguir mudança de regime, mudança de constantes e verdadeira evolução das próprias leis, sem transformar o Universo numa legislação que reescreve diariamente o código civil da matéria.

XIII As Leis da Natureza Também Evoluem?

Uma lei pode permanecer enquanto o Mundo que ela permite muda de regime.

Imaginemos uma orquestra que começa a tocar com uma formação, um conjunto de instrumentos e uma distribuição de funções e que, ao longo da obra, altera profundamente a textura. As cordas deixam de sustentar harmonia e passam a produzir ruído, a percussão assume o pulso, os sopros entram em uníssono, o piano abandona acordes e trabalha apenas ressonâncias. A música mudou de regime sem que as regras físicas dos instrumentos tivessem sido reescritas a cada compasso.

Esta diferença é essencial quando perguntamos se as leis da Natureza podem evoluir. Um sistema pode mudar radicalmente de comportamento sem que as leis fundamentais que o descrevem mudem. A água líquida congela, um íman perde magnetização acima de determinada temperatura, uma substância muda de fase e um plasma primordial transforma-se à medida que o Universo arrefece. Em todos estes casos, propriedades macroscópicas novas aparecem porque as condições mudam.

> **Princ□pio da Distin□□o entre Lei e Regime**
> Uma alteração profunda das propriedades observáveis de um sistema não implica necessariamente uma alteração das leis fundamentais. As mesmas relações físicas podem produzir regimes muito diferentes quando mudam as condições e a organização do sistema.

A quebra de simetria electroweak fornece um exemplo cosmológico importante.[1] Em energias muito elevadas, a descrição da interacção electromagnética e da interacção fraca envolve uma simetria que, no regime de baixas energias, aparece quebrada através do mecanismo de Higgs. Para a massa observada do bosão de Higgs, a evolução térmica prevista pelo Modelo Padrão é mais precisamente um *crossover* do que uma transição de fase de primeira ordem. A Natureza observável muda, portanto, de regime sem que precisemos de imaginar que o Universo aprovou uma nova legislação durante o arrefecimento.

[1] Para o sector electroweak e o mecanismo de Higgs, ver Particle Data Group, *Review of Particle Physics*, actualização 2025, secções «Electroweak Model and Constraints on New Physics» e «Higgs Boson Physics». Para a variação de constantes, ver Jean-Philippe Uzan, «Varying Constants, Gravitation and Cosmology», *Living Reviews in Relativity* 14, 2 (2011), com actualizações posteriores na literatura.

Um lápis equilibrado sobre a ponta oferece uma imagem simples de quebra espontânea de simetria. Enquanto está perfeitamente vertical, nenhuma direcção horizontal é privilegiada. Quando cai, uma direcção concreta é seleccionada. As leis continuam simétricas relativamente às direcções possíveis, mas o estado realizado já não possui a mesma simetria.

Na pintura podemos imaginar uma superfície perfeitamente homogénea onde qualquer ponto é equivalente. Uma única pincelada quebra a simetria da composição e cria centro, direcção e contraste sem alterar as propriedades físicas da tela. A organização mudou; as regras materiais não tiveram de mudar.

Isto torna perigoso interpretar qualquer diferença entre o Universo primordial e o actual como prova de que as leis evoluíram. Muitas transformações podem resultar de expansão, arrefecimento, transições de fase e emergência de novas escalas.

Outra possibilidade é a variação das chamadas constantes fundamentais. Se uma combinação adimensional como a constante de estrutura fina tivesse valores diferentes em épocas ou regiões distintas, teríamos uma indicação de que aquilo que tratamos como parâmetro fixo não é universalmente constante.

Experiências laboratoriais, relógios atómicos, espectros astrofísicos e outros métodos procuram precisamente sinais desse tipo. Até agora não existe evidência robusta e consensual de variação temporal ou espacial de constantes adimensionais fundamentais nos regimes observados; os limites experimentais tornaram-se muito restritivos.

Mesmo que no futuro descobríssemos uma variação, isso não significaria necessariamente que as leis mais profundas mudaram. O valor observado poderia depender de um campo dinâmico regido por leis ainda mais gerais. Aquilo que parecia constante numa teoria efectiva tornar-se-ia variável numa teoria mais ampla.

Uma guitarra com pedal de expressão oferece uma analogia. O timbre muda continuamente conforme o pedal se desloca, mas a electrónica que relaciona posição e filtragem pode permanecer a mesma. Observar um parâmetro variável não prova que o circuito se esteja a reescrever. A pergunta verdadeira acerca da evolução das leis é mais radical: poderiam as próprias regularidades fundamentais ter sido diferentes e estabilizado depois?

Lee Smolin propôs uma hipótese conhecida como selecção natural cosmológica.[2] Em versões desta ideia, universos poderiam gerar novos universos através de processos ligados a buracos negros, com pequenas variações nos parâmetros físicos, e populações de universos tenderiam a favorecer parâmetros que produzissem mais buracos negros. A analogia com evolução biológica é deliberada.

A proposta é especulativa e não deve ser confundida com resultado estabelecido. Também não significa que a constante da gravidade mude gradualmente numa terça-feira à tarde dentro do nosso Universo. A selecção ocorreria, na hipótese, entre gerações de universos com parâmetros diferentes.

[2] Lee Smolin, *The Life of the Cosmos* (Oxford University Press, 1997). A selecção natural cosmológica é uma hipótese especulativa e não uma consequência estabelecida da cosmologia observacional.

A ideia é intelectualmente interessante porque tenta explicar parâmetros sem recorrer a uma escolha externa, mas enfrenta enormes dificuldades empíricas e conceptuais. Não observamos directamente outras gerações de universos, e qualquer mecanismo de reprodução cosmológica precisa de ser formulado numa teoria física consistente.

Há ainda um problema lógico clássico: se as leis evoluem, segundo que regras acontece essa evolução? Podemos introduzir uma meta-lei que determina como as leis mudam, mas então a pergunta desloca-se para a origem dessa meta-lei. Se também ela evoluir, surge outra camada e o regressus pode continuar.

Uma peça generativa torna o problema visível. Imaginemos um algoritmo que modifica as regras da própria composição enquanto a música acontece. Podemos perguntar qual regra permite modificar as regras. Talvez exista uma meta-regra fixa; talvez o sistema possua uma arquitectura auto-modificável. Em qualquer caso, alguma estrutura precisa de definir o conjunto de transformações possíveis.

No contexto de Ω, podemos explorar uma alternativa. Talvez as regularidades que chamamos leis não existam inicialmente como regras separadas, mas surjam quando determinadas estruturas relacionais se estabilizam. Não seria necessário imaginar uma lei anterior a ordenar a estabilização como um decreto exterior; a própria organização poderia restringir quais configurações persistem e se reproduzem.

> **Hip□tese da Estabiliza□□o Relacional**
> As regularidades que descrevemos como leis fundamentais poderão resultar de estruturas relacionais que se tornam estáveis e universalmente reproduzíveis quando determinadas formas de organização de Ω se estabelecem. A estabilidade posterior das leis não implica necessariamente que essas regularidades tenham existido como regras separadas da própria estrutura desde o nível mais fundamental.

A formulação continua a usar linguagem temporal como «posterior» e «se tornam», porque qualquer narrativa de emergência é difícil de escrever sem verbos. Conceptualmente, contudo, queremos distinguir dependência estrutural de uma sequência cronológica dentro de um tempo já dado.

Um cristal ajuda-nos a imaginar estabilidade sem legislador. Dadas certas condições, moléculas podem organizar-se numa estrutura regular porque as relações físicas favorecem determinados arranjos. Não existe uma autoridade exterior desenhando cada face do cristal; a simetria emerge das interacções.

A música minimalista fornece outra imagem. Um pequeno conjunto de regras de repetição e defasagem pode produzir formas globais complexas. A estrutura observada não precisa de ser escrita compasso por compasso; resulta da persistência de relações simples. Mas, novamente, a analogia só vale como intuição, não como mecanismo cosmológico.

Se leis forem estruturas estabilizadas, uma teoria futura teria de explicar por que são tão universais. A carga do electrão parece a mesma em regiões separadas por enormes distâncias; espectros atómicos de galáxias remotas revelam regularidades que reconhecemos localmente. A estabilidade não é um detalhe, é uma das características mais impressionantes do Universo.

Também teria de explicar por que existem leis suficientemente simples para serem expressas matematicamente. Eugene Wigner falou da «irrazoável eficácia da Matemática» nas ciências naturais; a expressão continua a provocar porque relações matemáticas criadas ou descobertas em contextos abstractos descrevem com enorme precisão fenómenos físicos.

Talvez não seja surpreendente que estruturas relacionais sejam matematicamente descritíveis, se a Matemática é precisamente uma linguagem de relações e invariâncias. Mas esta resposta continua filosófica e não explica por que determinadas estruturas, e não outras, são realizadas fisicamente.

Um tabuleiro de xadrez oferece uma imagem do espaço de possibilidades. As regras permitem um número enorme de partidas, mas nem toda a sequência de movimentos é legal. Se apenas observássemos muitas partidas, poderíamos inferir regularidades e reconstruir parte das regras. Ainda assim, no xadrez as regras foram criadas por humanos; no Universo não conhecemos um legislador exterior.

A hipótese relacional tenta substituir a regra exterior pela própria arquitectura das possibilidades. Certas configurações seriam impossíveis não porque uma lei as proíbe de fora, mas porque a estrutura não contém relações que as realizem.

Este modo de pensar aproxima lei e ontologia. Em vez de haver primeiro coisas e depois regras que lhes dizem como comportar-se, as coisas possíveis e as regularidades poderiam emergir conjuntamente de uma estrutura mais profunda.

Se existirem várias organizações globais estáveis dessa estrutura, surge uma consequência perturbadora: talvez diferentes universos realizem diferentes regimes, constantes ou até categorias físicas. A pergunta pela evolução das leis conduz assim naturalmente à possibilidade de pluralidade cosmológica.

XIV Um Universo ou Muitos?

Um Universo já é difícil de pensar; muitos obrigam-nos a perguntar o que significa possível.

À noite olhamos para o céu e a palavra Universo parece possuir uma simplicidade reconfortante: significa tudo. Se é tudo, parece absurdo colocar um plural. Dois «todos» não caberiam na mesma frase sem que um deles deixasse de ser tudo.

A cosmologia moderna complicou a linguagem. O Universo observável não é necessariamente a totalidade do Universo. Vemos apenas regiões cuja luz ou outras influências tiveram tempo suficiente para nos alcançar desde a história cósmica acessível. Há um horizonte observacional, não uma parede física no fim do espaço.

Uma cidade vista através de nevoeiro oferece uma analogia. O facto de só distinguirmos edifícios até determinada distância não implica que a cidade termine na última fachada visível. O limite pertence à informação disponível, não necessariamente ao território.

O Universo inteiro pode ser muito maior do que a região observável, talvez infinito, dependendo da geometria e da cosmologia global. Só esta distinção já nos obriga a separar «aquilo que conseguimos observar» de «tudo aquilo que existe».

A palavra multiverso acrescenta outra camada e é frequentemente usada como se designasse uma única teoria. Na realidade, reúne hipóteses bastante diferentes que não devem ser misturadas.

Uma primeira família surge da inflação cósmica. A inflação é um período de expansão acelerada muito precoce proposto para explicar propriedades como homogeneidade, planura e origem de perturbações primordiais. Diversos modelos inflacionários fazem previsões compatíveis com observações, embora o mecanismo fundamental exacto permaneça aberto.

Em alguns modelos, a inflação pode tornar-se eterna em certas regiões: enquanto termina localmente e produz universos semelhantes ao nosso, continua noutras regiões, gerando uma estrutura de «bolhas». Cada bolha poderia possuir condições ou estados de vácuo diferentes.

É importante manter a formulação condicional. Nem todo modelo inflacionário implica inflação eterna, e não possuímos observação confirmada de colisões entre bolhas ou de outros universos inflacionários. A ideia é consequência de determinadas classes de modelos, não fotografia de uma paisagem observada.

Um líquido em ebulição fornece uma imagem tentadora: bolhas formam-se numa fase de fundo. Mas a metáfora espacial pode ser enganadora porque estas «bolhas universos» fazem parte de uma geometria cosmológica e não são bolas flutuando dentro de um aquário exterior comum que pudéssemos observar de longe.

Uma segunda família aparece na teoria das cordas através da chamada paisagem de vacúos. Diferentes maneiras de compactificar dimensões adicionais e diferentes estados de campos podem gerar enormes conjuntos de soluções efectivas com propriedades físicas diversas.

Se uma cosmologia inflacionária realizar regiões em diferentes vacúos da paisagem, poderíamos obter universos com constantes, partículas ou dimensões efectivas distintas. Mais uma vez, estamos perante uma construção teórica altamente especulativa e não uma lista observacional de universos catalogados.

Uma terceira ideia, completamente diferente, surge da interpretação de Everett da Mecânica Quântica, conhecida popularmente como Muitos Mundos.[1] Nessa interpretação, a função de onda universal evolui unitariamente sem colapso fundamental, e processos de decoerência produzem ramos efectivamente independentes correspondentes a resultados diferentes.

Estes «mundos» não são bolhas cosmológicas distantes no espaço. São ramos quânticos da descrição. Misturar Everett com inflação eterna apenas porque ambas utilizam a palavra «muitos universos» é como confundir várias salas de cinema com diferentes finais montados a partir do mesmo filme. A decoerência ajuda a explicar por que ramos com estados macroscópicos diferentes deixam de interferir de maneira observável, mas a interpretação de Everett continua uma interpretação da teoria quântica, não uma observação directa de universos paralelos.

Max Tegmark propôs uma taxonomia ainda mais ampla de multiversos, culminando numa hipótese em que todas as estruturas matemáticas consistentes teriam existência física. Esta ideia é radicalmente filosófica e muito mais controversa do que as hipóteses cosmológicas anteriores. Não precisamos de a adoptar para reconhecer que a palavra multiverso cobre níveis de especulação muito distintos.

O argumento antrópico aparece frequentemente neste contexto. Se diferentes regiões ou universos possuem parâmetros distintos, não é surpreendente que observadores existam apenas onde as condições permitem estruturas complexas, química e vida.

Imaginemos uma enorme sala de concertos com milhares de lugares, alguns debaixo de colunas, outros sem visibilidade e alguns numa posição acústica excelente. Um espectador que pergunta por que se encontra num lugar onde consegue ouvir

[1] Hugh Everett III, «"Relative State" Formulation of Quantum Mechanics», *Reviews of Modern Physics* 29 (1957): 454–462. A inflação eterna e o "landscape" de cordas constituem hipóteses de multiverso conceptualmente diferentes; não devem ser confundidas com Everett.

não deve concluir automaticamente que todo o edifício foi desenhado especificamente para aquela cadeira. A própria possibilidade de fazer a pergunta selecciona lugares compatíveis com a presença de um espectador.

A analogia não resolve o chamado ajuste fino. O facto de certas constantes parecerem ocupar intervalos compatíveis com estruturas complexas pode exigir explicação. O princípio antrópico pode funcionar como efeito de selecção dentro de um multiverso, mas só ganha poder explicativo se existir uma teoria bem definida do conjunto de possibilidades e uma medida que permita comparar probabilidades.

Este é precisamente um dos grandes problemas do multiverso inflacionário: o problema da medida. Se existem infinitas regiões realizando diferentes resultados, como definimos probabilidades sem obter ambiguidades dependentes do método de contagem?

Uma biblioteca infinita torna o problema intuitivo. Se contém infinitos livros vermelhos e infinitos azuis, dizer que há «mais» de uma cor pode depender da ordem com que percorremos as estantes. Infinidades exigem uma regra de medida rigorosa.

Há ainda uma questão metodológica decisiva: uma hipótese sobre universos inacessíveis é científica se não pudermos observá-los directamente? A resposta não é simplesmente sim ou não. Muitas entidades científicas foram inferidas antes de observação directa porque faziam parte de teorias que produziam consequências testáveis no nosso domínio.

O problema é saber se a hipótese multiversal acrescenta previsões empiricamente distinguíveis ou se funciona apenas como extensão ontológica de uma teoria já testada. Diferentes versões situam-se em posições diferentes desta escala.

A Física não provou que existam universos paralelos. Mas também seria simplista dizer que multiverso é apenas ficção científica, porque algumas versões surgem naturalmente de programas teóricos sérios. O estatuto correcto é hipótese, com graus distintos de fundamentação e testabilidade. No quadro de Ω, podemos formular uma possibilidade ainda mais geral: se a estrutura fundamental admitir várias organizações relacionais globais estáveis, talvez diferentes realizações produzam diferentes geometrias, partículas, constantes e regularidades.

> **Hip□tese da Pluralidade Relacional**
> Se Ω admitir mais do que uma organização relacional global estável, poderão existir diferentes realizações físicas nas quais espaço, tempo, partículas, constantes e regularidades emergentes assumam formas distintas. A existência efectiva de tais realizações não é pressuposta; constitui uma possibilidade que uma teoria teria de justificar e, quando possível, tornar empiricamente distinguível.

Esta hipótese não obriga a adoptar inflação eterna, cordas ou Everett. É uma pergunta estrutural: uma teoria fundamental possui uma única solução global relevante ou muitas?

Uma composição generativa oferece uma imagem. Um mesmo conjunto de regras pode produzir peças muito diferentes conforme condições iniciais ou escolhas aleatórias. A existência de múltiplas partituras possíveis não significa que todas tenham sido executadas. Possibilidade matemática e existência física são questões distintas.

Esta distinção é crucial. Uma equação pode admitir mil soluções e o Mundo realizar apenas uma. A Matemática descreve possibilidades; a Física precisa de saber quais são realizadas e por quê.

Talvez o multiverso seja verdadeiro, talvez não. Para o percurso do livro, a ideia tem uma função mais profunda: desmonta a tendência de transformar as propriedades do nosso Universo em necessidades lógicas absolutas. Três dimensões, certas massas ou determinadas constantes podem ser universais no nosso domínio sem serem as únicas estruturas concebíveis.

Mas, se existem múltiplos universos ou múltiplas configurações, aparece outra pergunta popular: é necessária uma consciência para «seleccionar» uma realidade? A Mecânica Quântica foi frequentemente interpretada de maneira que transforma observador em criador do Mundo. Precisamos agora de examinar se essa ideia é física ou apenas uma metáfora que cresceu para além da teoria.

XV A Realidade Precisa de um Observador?

Observar não é criar o Mundo, mas deixar que uma relação nele produza um registo.

Deixamos uma câmara fotográfica automática apontada para o céu durante a noite. Ninguém está presente. De manhã, encontramos um rasto luminoso de estrelas no sensor. Houve interacção, registo e transformação física sem uma consciência humana a assistir.

Este exemplo banal é importante porque a palavra «observador» ganhou um peso quase mágico em versões populares da Mecânica Quântica. Diz-se que «a realidade só existe quando é observada» ou que «a consciência colapsa a função de onda». A Física não nos autoriza a apresentar essas frases como conclusões estabelecidas.

Num laboratório, observar significa normalmente produzir uma interacção capaz de deixar um resultado registável. Um detector absorve um fotão, um electrão altera um circuito, uma molécula produz fluorescência. O aparelho não precisa de possuir experiência subjectiva.

Um termómetro observa temperatura num sentido operacional sem saber que existe. Uma câmara regista luz sem contemplar a beleza da paisagem. A linguagem pode confundir medição física com experiência consciente.

O problema da medição quântica é real e profundo. A teoria permite que sistemas evoluam em superposições de possibilidades, enquanto experiências produzem resultados definidos. Como se relaciona a evolução contínua do estado quântico com a ocorrência de resultados específicos?

A antiga família de interpretações associada a Copenhaga utiliza diferentes formulações acerca de medição e colapso. Não existe uma única doutrina de Copenhaga perfeitamente uniforme. Em muitas abordagens pragmáticas, o formalismo fornece probabilidades e a medição produz resultados clássicos, sem que seja necessário atribuir um papel fundamental à consciência.

John von Neumann analisou a cadeia de medição: sistema interage com aparelho, aparelho com outro sistema e assim por diante.[1] Em princípio, podemos deslocar a fronteira entre sistema quântico e aparelho. Eugene Wigner explorou historicamente a hipótese de consciência desempenhar um papel especial, mas essa ideia não constitui conclusão obrigatória da teoria e foi abandonada ou rejeitada por muitos físicos.

A experiência mental do «amigo de Wigner» torna a questão mais subtil. Um observador dentro de um laboratório mede um sistema e obtém um resultado, enquanto um observador exterior pode, idealmente, descrever o laboratório inteiro como sistema quântico. A tensão entre descrições levanta perguntas sobre factos, observadores e consistência, mas não demonstra que mentes humanas criem partículas.

A decoerência fornece uma parte fundamental da explicação moderna. Um sistema quântico interage continuamente com o ambiente, e as relações de fase entre componentes de uma superposição tornam-se dispersas em enormes graus de liberdade. Certas superposições deixam então de produzir interferência observável a nível macroscópico.

Uma orquestra oferece uma imagem. Dois sons perfeitamente coerentes podem interferir de maneira precisa; se espalharmos fases através de milhares de instrumentos e reflexões num espaço enorme, reconstruir a relação inicial torna-se praticamente impossível. A informação de fase não precisa de desaparecer metafisicamente; tornou-se distribuída pelo ambiente.

Uma gota de tinta na água fornece outra imagem: a cor espalha-se até ser praticamente impossível recolher as moléculas na configuração inicial. Decoerência não é exactamente difusão, mas a analogia ajuda a imaginar informação espalhada em correlações ambientais.

A decoerência explica por que determinadas bases se tornam estáveis e por que o mundo macroscópico perde rapidamente interferências quânticas observáveis. Contudo, muitos filósofos e físicos consideram que, sozinha, não resolve completamente a pergunta por que ocorre um único resultado experimentado em vez de uma superposição global.

É aqui que interpretações divergem. Everett mantém a evolução unitária e trata resultados diferentes como ramos. Teorias de colapso objectivo modificam a dinâmica para produzir colapsos físicos reais. A mecânica de de Broglie-Bohm introduz variáveis adicionais e trajectórias guiadas pela função de onda. Interpretações relacionais ou informacionais reformulam o significado do estado quântico e dos factos.

[1] John von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (1932; trad. inglesa, Princeton University Press, 1955); Wojciech H. Zurek, «Decoherence, Einselection, and the Quantum Origins of the Classical», *Reviews of Modern Physics* 75 (2003): 715–775. Decoerência é crucial para explicar a supressão de interferência macroscópica, mas não é consensualmente uma solução completa do problema da medição.

Nenhuma destas opções foi consensualmente confirmada como interpretação definitiva. Algumas versões podem vir a ser distinguidas por experiências, especialmente teorias de colapso que prevêem desvios da Mecânica Quântica padrão. Outras permanecem empiricamente equivalentes nos regimes testados.

O ponto importante para o nosso percurso é que «observador» não significa automaticamente «consciência». Um registo físico pode existir muito antes de qualquer ser vivo.

Uma supernova explodiu há milhões de anos e a luz atravessou o espaço antes de existir qualquer telescópio capaz de a detectar na Terra. Rochas conservam marcas geológicas anteriores à vida consciente. O Universo está cheio de registos sem testemunhas humanas.

> **Princípio do Registo sem Observador**
> Uma relação física pode produzir um registo estável de outra configuração sem exigir a presença de uma consciência. A observação consciente constitui um caso particular, muito mais complexo, de processos físicos capazes de seleccionar, conservar e utilizar diferenças.

Esta formulação encaixa directamente em Nexo. Se um estado deixa marcas noutro, a relação informacional existe fisicamente independentemente de alguém a interpretar. A consciência pode posteriormente ler o registo, mas não é necessária para que a correlação se forme.

Isto não elimina o papel do observador em ciência. Toda medição concreta depende de aparelho, perspectiva e procedimento. A Relatividade mostra que algumas grandezas dependem do estado de movimento do observador, mas as transformações entre perspectivas são objectivas.

Dois microfones colocados em posições diferentes numa sala registam sinais diferentes. Não concluímos que cada microfone criou uma música diferente do nada. A diferença resulta da relação entre fonte, espaço e posição. Conhecer essa relação permite reconstruir propriedades da situação.

Carlo Rovelli desenvolveu uma interpretação relacional da Mecânica Quântica em que estados e valores de propriedades são relativos a sistemas físicos que interagem. A palavra «relacional» aqui tem um significado técnico específico e não implica subjectivismo psicológico. Um electrão pode ser «observador» no sentido de sistema físico em relação a outro, sem consciência.

Esta ideia possui afinidade conceptual com o nosso programa, mas não deve ser confundida com Ω. A interpretação relacional de Rovelli trabalha dentro da Mecânica Quântica e possui formulação própria. Nexo, Trama e Tensão são hipóteses especulativas deste livro e ainda carecem de formalização.

Há uma tentação humana muito antiga de colocar a consciência no centro do Cosmos. Depois de Copérnico retirar a Terra do centro e Darwin inserir a nossa espécie numa história evolutiva, certas leituras populares da Física Quântica parecem

oferecer uma vingança metafísica: talvez o Universo inteiro precise afinal de nós para existir.

A evidência não sustenta essa conclusão. A matéria formou estrelas, galáxias e planetas durante milhares de milhões de anos antes de qualquer cérebro humano. Mesmo se a consciência tiver um papel ainda não compreendido na medição — hipótese sem prova — seria necessário explicar como funcionou toda a história cosmológica anterior.

O observador humano não está fora do Universo. É um organismo físico dentro dele, construído por processos evolutivos, equipado com sentidos limitados e instrumentos que estendem esses sentidos.

Esta mudança prepara a próxima parte do livro. Se observação não cria simplesmente o Mundo, a percepção também não o reproduz integralmente. Cada organismo selecciona apenas uma pequena parte das diferenças físicas disponíveis. Para compreender o lugar do observador, precisamos de abandonar finalmente a velha lista dos cinco sentidos e perguntar quantos mundos perceptivos cabem dentro do mesmo Mundo físico.

PARTE V

MUNDOS DENTRO DO MUNDO

XVI Quantos Sentidos Temos?

Cada sentido abre uma janela e fecha milhares de outras.

Fechemos os olhos e estendamos um braço. Mesmo sem vê-lo, sabemos aproximadamente onde está. Conseguimos tocar o nariz, levar a mão ao joelho ou ajustar a posição dos dedos. Nenhum dos cinco sentidos tradicionais parece explicar sozinho esta informação.

Chamamos propriocepção à capacidade de perceber posição e movimento do corpo através de sinais provenientes de músculos, tendões, articulações e outras estruturas. É tão fundamental que raramente a notamos, até um movimento falhar ou tentarmos executar um gesto de olhos fechados.

Um músico conhece a propriocepção intimamente. Um guitarrista não precisa de olhar para cada traste durante uma passagem rápida, um pianista pode saltar entre regiões do teclado sem medir distâncias visualmente e um baterista organiza quatro membros em padrões diferentes sem construir conscientemente um mapa geométrico a cada golpe.

A famosa lista de visão, audição, olfacto, gosto e tacto é historicamente importante, mas biologicamente demasiado simples. O tacto, por exemplo, reúne modalidades distintas: pressão, vibração, temperatura, dor, comichão e outras formas de sinalização corporal.

O sistema vestibular, no ouvido interno, informa sobre aceleração e orientação da cabeça. Sem ele, equilíbrio e estabilização do olhar tornam-se profundamente difíceis. A interocepção fornece sinais acerca de estados internos como batimento cardíaco, respiração, distensão visceral e necessidades fisiológicas.

Não existe um número único universalmente aceite de sentidos porque a contagem depende do critério utilizado. Podemos agrupar modalidades ou dividi-las em sistemas especializados. A pergunta «temos cinco, nove ou vinte sentidos?» é menos útil do que perguntar que tipos de diferenças físicas o organismo consegue detectar e integrar.

> **Princípio da Selecção Sensorial**
> Nenhum sistema sensorial reproduz a totalidade do ambiente. Cada organismo torna acessível apenas uma parte das diferenças físicas existentes, segundo as capacidades e relações que o seu corpo consegue estabelecer com o Mundo.

Jakob von Uexküll utilizou a palavra *Umwelt* para descrever o mundo perceptivo próprio de um organismo.[1] Uma carraça, um cão, uma abelha e uma pessoa vivem no mesmo ambiente físico geral, mas tornam relevantes conjuntos de sinais profundamente diferentes.

As abelhas detectam luz ultravioleta, revelando padrões nas flores invisíveis à visão humana. Um jardim que nos parece possuir determinada distribuição de cores apresenta outro mapa perceptivo para um insecto equipado com fotoreceptores diferentes.

Uma pintura com pigmentos fluorescentes oferece uma analogia. Sob luz visível vemos uma composição; sob ultravioleta surgem marcas escondidas. A tela não se transformou noutra realidade, mas diferentes modos de interacção revelaram propriedades distintas.

O olfacto canino abre uma diferença ainda mais radical. Um cão pode detectar concentrações químicas muito abaixo dos nossos limiares e discriminar odores que para nós se fundem. Uma rua não é apenas uma paisagem visual; contém rastos químicos de indivíduos, alimentos, humidade, território e acontecimentos recentes.

Podemos imaginar uma cidade escrita em tinta invisível. Nós vemos apenas edifícios e movimento; o cão recebe camadas adicionais de informação distribuídas pelo chão e pelo ar. Não devemos traduzir automaticamente essa experiência como uma «imagem olfactiva» humana, porque não sabemos como é subjectivamente ser cão. Podemos descrever capacidades sem inventar qualia.

Morcegos utilizam ecolocalização em muitas espécies. Emitem sons ultrassónicos e analisam ecos para obter informação sobre distância, forma, movimento e textura. Um objecto invisível à noite pode ser extremamente «visível» acusticamente para o sistema do morcego.

Uma instalação sonora interactiva torna a ideia intuitiva: enviamos um impulso e a resposta do espaço revela paredes, distâncias e superfícies. Mas a ecolocalização biológica é integrada com movimento e percepção de forma muito mais complexa do que um simples sonar humano.

Algumas serpentes detectam radiação infravermelha através de órgãos especializados, permitindo localizar fontes quentes. Aves e outros animais apresentam capacidades de magnetorrecepção associadas à orientação pelo campo magnético terrestre, embora mecanismos exactos variem e continuem sob investigação em diferentes grupos. A lista poderia continuar: electrorecepção em peixes, detecção de polarização da luz em artrópodes, sensibilidade a vibrações de substrato, pressão da água e inúmeras modalidades que tornam pobre qualquer antropocentrismo sensorial. O Mundo físico possui mais diferenças do que qualquer organismo consegue tornar presentes.

[1] Jakob von Uexküll, *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen* (1934). A classificação do número de sentidos humanos depende dos critérios adoptados; propriocepção, vestibularidade e interocepção são exemplos de modalidades que excedem a lista escolar dos cinco sentidos.

Isto não significa que cada espécie viva num universo completamente separado. A flor ultravioleta é a mesma flor que tocamos; a parede que devolve um eco ao morcego é a parede que vemos; o campo magnético detectado por uma ave pode ser medido por instrumentos humanos.

Os diferentes Umwelt sobrepõem-se parcialmente porque existem relações com uma realidade comum. O que muda é a janela corporal através da qual cada sistema a torna acessível.

A percepção também não é puramente passiva. Quando tocamos um objecto, movemos dedos e mão, variamos pressão e posição e produzimos activamente sinais sensoriais. A visão envolve movimentos oculares, cabeça e corpo. A audição depende de orientação e contexto.

Uma escultura táctil torna isto claro: conhecer a forma exige percorrer a superfície. A informação aparece através da relação entre movimento e resistência.

Os instrumentos científicos funcionam como próteses perceptivas. Telescópios tornam visível luz distante, microscópios ampliam escalas, radiotelescópios convertem ondas de rádio em dados que podemos representar, detectores de partículas transformam interacções invisíveis em sinais. A Ciência não nos liberta de mediação; constrói mediações controladas.

Uma câmara térmica não oferece «a visão verdadeira» que os olhos falharam em obter. Converte infravermelho numa representação visual interpretável. Cada instrumento selecciona, transforma e mede um domínio específico. A objectividade surge da possibilidade de calibrar, repetir e relacionar medições, não de possuir um sentido neutro que veja tudo.

Esta conclusão altera a imagem do observador. Não somos pequenas consciências olhando através de cinco janelas para um Mundo pronto. Somos organismos cujos corpos estabelecem relações específicas com uma fracção da estrutura física.

Uma orquestra ouvida de diferentes lugares fornece uma imagem simples. Perto dos contrabaixos, algumas frequências dominam; junto aos sopros, outras articulações tornam-se claras; numa gravação multicanal, podemos reconstruir perspectivas distintas. Nenhum lugar contém sozinho toda a obra.

O mesmo organismo contém, aliás, múltiplos mundos. O sistema imunitário responde a diferenças químicas que a consciência não percebe; células detectam gradientes; bactérias do microbioma reagem a condições locais; órgãos mantêm equilíbrios sem qualquer experiência consciente.

A pergunta seguinte torna-se, por isso, inevitável. Se o corpo não é apenas aquilo que a consciência sente, quantos sistemas e histórias coexistem dentro daquilo que chamamos um organismo?

XVII Quantos Mundos Cabem num Corpo?

Um corpo é uma fronteira que só consegue existir porque troca.

Olhemos para uma mão. A pele parece fornecer uma fronteira clara: deste lado estamos nós, do outro começa o Mundo. Ao microscópio, porém, a simplicidade desaparece. A superfície contém células humanas, microrganismos, moléculas, secreções, ar, água e partículas em troca contínua.

O corpo humano não é um recipiente esterilizado. Pele, boca, intestino e outras regiões abrigam comunidades microbianas complexas. O número de células bacterianas associado a um corpo humano está, em estimativas actuais, aproximadamente na mesma ordem de grandeza que o número de células humanas, embora a proporção varie segundo indivíduo, idade, método e região corporal.[1]

A velha frase segundo a qual temos dez bactérias por cada célula humana tornou-se um exemplo de como números memoráveis sobrevivem mais facilmente do que revisões científicas.[2] A realidade continua impressionante sem precisar de exagero.

O microbioma participa em digestão, metabolismo, desenvolvimento imunitário e inúmeras interacções com o organismo. Isto não significa que todas as bactérias sejam «boas» nem que exista uma harmonia universal; há cooperação, competição, oportunismo e conflito.

Uma cidade oferece uma analogia. Milhões de habitantes, instituições e fluxos coexistem sem formar uma consciência única ou um equilíbrio perfeito. Algumas relações sustentam o sistema, outras produzem tensão, e a identidade global da cidade persiste apesar da substituição contínua de pessoas e materiais.

O conceito de holobionte foi utilizado para pensar o organismo hospedeiro em associação com os seus microrganismos. Em alguns contextos é biologicamente útil,

[1] Ron Sender, Shai Fuchs e Ron Milo, «Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body», *PLoS Biology* 14 (2016): e1002533. A estimativa de ordem 1:1 substituiu a popular regra 10:1, sem implicar uma proporção fixa para cada pessoa.

[2] Sobre holobiontes e as controvérsias do conceito, ver a série temática «The Holobiont/Hologenome Concept», *mBio* 7 (2016). O termo é útil em alguns contextos ecológicos e evolutivos, mas não implica que todo organismo e microbioma formem necessariamente uma única unidade de selecção.

especialmente para estudar interacções ecológicas e evolutivas. Torná-lo automaticamente um «superorganismo» perfeitamente integrado seria, contudo, excessivo; o estatuto da unidade de selecção e a estabilidade das associações variam muito.

Uma orquestra fornece uma imagem prudente. O conjunto pode produzir uma unidade musical sem que os músicos percam individualidade ou interesses próprios. A existência do ensemble não implica que cada participante seja apenas uma célula obediente de um corpo maior.

A identidade corporal já era problemática antes do microbioma. A matéria que constitui um organismo muda continuamente. Respiramos, comemos, bebemos, excretamos, renovamos moléculas e substituímos muitas células.

Uma chama conserva forma enquanto combustível e gases atravessam o processo. Não é um organismo, mas ajuda a compreender estabilidade dinâmica: persistir não exige conservar exactamente as mesmas moléculas.

Uma melodia tocada por instrumentos diferentes mantém relações reconhecíveis apesar da mudança de suporte. O corpo vivo possui uma continuidade material muito mais forte do que a melodia, mas a comparação mostra que identidade pode depender de organização e história, não de inventário imutável de componentes.

A própria célula eucariótica contém uma história de integração. As mitocôndrias descendem de bactérias que, numa antiga relação endossimbiótica, se tornaram componentes essenciais das células de animais, plantas, fungos e outros eucariotas.

Aquilo que hoje consideramos «interior» do organismo contém vestígios de uma antiga relação entre linhagens distintas. A fronteira entre próprio e outro mudou ao longo da evolução.

O sistema imunitário torna esta distinção ainda mais complexa. A imagem escolar de uma polícia que reconhece «self» e destrói «non-self» é demasiado simples. O sistema tolera inúmeros microrganismos e moléculas externas, responde a sinais de dano e contexto e precisa de equilibrar reacção e tolerância. Um passaporte não basta para explicar imunologia.

Podemos pensar numa fronteira política onde não interessa apenas quem vem de fora, mas o que transporta, que relações possui, se representa perigo e em que contexto entra. A analogia é limitada, mas evita a ideia de um corpo definido por pureza absoluta.

> **Princípio da Fronteira Biológica**
> A fronteira de um organismo não é apenas uma linha geométrica que separa interior e exterior. É também uma estrutura dinâmica de trocas, selecções, tolerâncias e relações através das quais o organismo mantém a sua organização enquanto permanece aberto ao ambiente.

A pele continua real. Não estamos a dizer que corpo e mundo são indistinguíveis. Uma ferida na minha pele e uma fissura numa parede não pertencem ao mesmo sistema biológico. A fronteira anatómica possui importância enorme, mas não esgota todas as fronteiras funcionais.

O corpo também contém muitos níveis de organização. Células formam tecidos, tecidos órgãos, órgãos sistemas; mas as fronteiras não se encaixam como caixas perfeitas. Hormonas circulam, neurónios atravessam regiões, vasos ligam tecidos e moléculas produzidas num órgão alteram outros. Um atlas anatómico desenha linhas úteis, mas o organismo real funciona como rede.

O cinema oferece uma imagem de escala. Um grande plano mostra a célula, o plano médio um órgão, o plano geral o corpo, e um plano ainda mais aberto coloca o organismo num ecossistema. Nenhum enquadramento anula os restantes; cada escala revela relações que desaparecem nas outras.

A evolução também opera em níveis múltiplos. Genes são fundamentais para hereditariedade, mas organismos, populações e interacções ecológicas participam da selecção. Evitar uma visão exclusivamente gene-cêntrica não significa negar o papel central dos genes; significa reconhecer que causas evolutivas podem distribuir-se por diferentes níveis.

Cooperação e conflito coexistem. Células de um organismo partilham uma história e mecanismos de regulação, mas o cancro mostra que linhagens celulares podem escapar parcialmente ao controlo e proliferar em detrimento do conjunto.

Uma improvisação colectiva oferece uma imagem menos romântica do que uma orquestra perfeitamente disciplinada. O ensemble existe porque os músicos se escutam e regulam, mas podem também interromper, competir por espaço sonoro ou transformar radicalmente a direcção da peça. Unidade não exige ausência de conflito.

> **Princípio da Unidade Relacional do Organismo**
> A unidade de um organismo não exige que todas as suas componentes tenham a mesma origem nem que permaneçam materialmente inalteradas. Pode residir na continuidade de uma organização capaz de integrar diferenças, regular trocas e conservar determinadas relações através da mudança.

Esta unidade possui ritmo. Coração, respiração, actividade neural, ciclos hormonais e metabolismo produzem temporalidades diferentes que se coordenam sem um metrónomo central único.

Uma composição polirrítmica aproxima-nos da imagem: vários pulsos coexistem e formam uma obra sem precisar de coincidir em cada batimento. O corpo é menos um relógio e mais uma organização de ritmos acoplados.

A conclusão altera a pergunta acerca de outros organismos. Se a nossa própria unidade é distribuída, talvez estejamos demasiado habituados a procurar cérebro, olhos ou músculos humanos antes de reconhecer percepção noutros seres.

As plantas não possuem sistema nervoso como o nosso, mas vivem, detectam diferenças, integram sinais e alteram crescimento e comportamento. O próximo capítulo pergunta até onde podemos chamar sensação a essas capacidades sem projectar nelas uma pequena versão de nós próprios.

XVIII As Plantas Sentem?

Uma planta não precisa de se parecer connosco para estar ocupada a perceber o Mundo.

Uma planta parece imóvel se a observamos durante cinco segundos. A mesma planta filmada em *time-lapse* transforma-se numa coreografia: folhas orientam-se, caules curvam-se, gavinhas procuram suporte, flores abrem e raízes exploram o solo.

A primeira lição é uma diferença de escala temporal. O facto de um movimento ser demasiado lento para a nossa percepção quotidiana não significa que o organismo seja passivo.

Mas a pergunta «as plantas sentem?» contém uma ambiguidade enorme. Sentir pode significar detectar e responder a estímulos, ou pode significar possuir uma experiência subjectiva — haver alguma coisa que é ser aquela planta. A Ciência possui evidência robusta para a primeira afirmação e não possui consenso ou evidência comparável para a segunda.[1]

As plantas detectam luz através de vários fotorreceptores.[2] Respondem à direcção, intensidade, duração e qualidade espectral da luz, regulando crescimento, floração e ritmos biológicos.

O fototropismo é o exemplo escolar: um caule pode crescer em direcção à luz através de processos hormonais que alteram crescimento diferencial. Isto não exige que a planta «veja» uma janela como nós vemos.

As raízes respondem à gravidade, água, nutrientes, obstáculos e sinais químicos. Gravitropismo envolve estruturas celulares capazes de contribuir para detectar orientação relativamente ao campo gravitacional.

Uma dança lenta ajuda a imaginar a diferença. O bailarino humano reorganiza imediatamente o corpo; a planta redistribui crescimento durante horas ou dias. Em

[1] Lincoln Taiz et al., «Plants Neither Possess nor Require Consciousness», *Trends in Plant Science* 24 (2019): 677–687, e «Debunking a Myth: Plant Consciousness», *Protoplasma* 257 (2020): 975–984, defendem que não existe suporte empírico sólido para consciência vegetal. Existem autores que propõem o contrário; o texto adopta deliberadamente uma formulação prudente e não fecha a questão por simples analogia com animais.

[2] A fisiologia sensorial vegetal e a sinalização eléctrica são bem documentadas. Ver Rainer Hedrich e Erwin Neher, «Venus Flytrap: How an Excitable, Carnivorous Plant Works», *Trends in Plant Science* 23 (2018): 220–234, e Rainer Hedrich e Ines Kreuzer, «Demystifying the Venus Flytrap Action Potential», *New Phytologist* 239 (2023): 2108–2112. A expressão «neurobiologia vegetal» permanece controversa e não implica neurónios ou sinapses animais.

ambos os casos existe relação com o ambiente, mas os mecanismos e experiências, se existirem, são radicalmente distintos.

Plantas também respondem ao toque. Gavinhas de trepadeiras alteram crescimento quando encontram suporte. *Mimosa pudica* fecha folhas rapidamente em resposta a estímulos mecânicos. A dioneia, ou planta carnívora conhecida como Vénus papa-moscas, utiliza sinais eléctricos e mecanismos rápidos para fechar a armadilha quando pêlos sensoriais são estimulados segundo determinados padrões.

É comum dizer que a dioneia «conta» toques. A expressão é útil como atalho: a planta integra eventos mecânicos ao longo de um intervalo e diferentes números de estímulos podem desencadear respostas distintas. Não significa que realize aritmética consciente ou possua um pequeno contador mental. Sinais eléctricos existem em plantas. Potenciais de acção, variações de membrana, ondas de cálcio e redes químicas participam na comunicação entre tecidos.

A semelhança superficial com sinais eléctricos neuronais levou alguns investigadores a utilizar a expressão «neurobiologia vegetal». O termo é controverso porque plantas não possuem neurónios nem sistema nervoso, e críticos consideram que a linguagem pode sugerir homologia ou funções não demonstradas. Podemos descrever comunicação eléctrica vegetal sem transformar floema em cérebro.

Uma instalação electrónica distribuída fornece uma analogia. Sensores colocados em vários pontos podem alterar luz e som sem existir um computador central único. A coordenação pode emergir de circuitos distribuídos. Uma planta organiza respostas por redes químicas, hidráulicas e eléctricas sem precisar de um centro nervoso comparável ao cérebro animal. A ausência de centro não significa ausência de organização.

Algumas plantas conservam efeitos de experiências anteriores. Vernalização, por exemplo, permite que determinadas espécies respondam a um período prolongado de frio e alterem posteriormente a competência para florescer através de mecanismos moleculares e epigenéticos.

Chamar a isto «memória» é aceitável num sentido biológico de conservação de estado, desde que não confundamos com memória autobiográfica. A planta não precisa de recordar uma manhã de Janeiro; o sistema molecular conserva um registo funcional de condições anteriores. Aqui Nexo reaparece de forma concreta. Uma configuração actual contém informação acerca de um estado passado e utiliza-a na resposta futura.

Experiências sobre habituação e aprendizagem em plantas, especialmente com *Mimosa pudica*, geraram grande interesse e controvérsia. Alguns estudos interpretaram mudanças de resposta a estímulos repetidos como aprendizagem não associativa; replicações e críticas metodológicas mostraram que a conclusão precisa de prudência. A ciência ganha pouco ao transformar resultados disputados em slogans sobre «plantas inteligentes».

Comunicação química oferece outro campo rico. Plantas libertam compostos voláteis quando danificadas, atraem polinizadores, afectam herbívoros e podem alterar respostas de plantas próximas. Raízes e fungos micorrízicos também participam em redes de troca e sinalização.

A palavra «comunicação» não deve implicar necessariamente intenção. Um organismo pode produzir um sinal que outro utiliza, e este pode ainda aproveitar pistas que não evoluíram como mensagens deliberadas. Uma conversa humana exige intenção semântica; um cheiro libertado por tecido danificado pode funcionar como informação ecológica sem qualquer intenção consciente.

A questão da dor é ainda mais delicada. Em animais, dor envolve experiência subjectiva associada a sistemas nervosos e mecanismos de nocicepção. Plantas respondem a dano e activam defesa, mas resposta a dano não demonstra por si só experiência dolorosa.

Um detector de fumo responde ao incêndio sem sentir medo. Uma célula imunitária reage a dano sem possuir, por isso, uma experiência consciente de sofrimento.

Isto não prova logicamente que consciência vegetal seja impossível, mas estabelece o ónus da evidência. Não basta mostrar complexidade, electricidade ou adaptação; precisamos de critérios que distingam processamento sofisticado de experiência subjectiva.

> **Princípio da Prudência Perceptiva**
> Detectar diferenças, integrar sinais, conservar registos e modificar o comportamento não implica por si só experiência consciente. Ao mesmo tempo, ausência de um sistema nervoso semelhante ao nosso não autoriza a reduzir um organismo à passividade: as capacidades perceptivas devem ser descritas segundo a organização própria de cada forma de vida.

Esta posição evita dois antropomorfismos opostos. O primeiro imagina a planta como pequeno humano silencioso, com desejos e pensamentos semelhantes aos nossos. O segundo considera que tudo o que não possui cérebro humano é mero mecanismo passivo. Talvez seja mais interessante deixar a planta ser estranha. Uma árvore não precisa de ter «emoções verdes» para responder à luz, conservar estados, regular água, reconhecer relações químicas e construir um corpo durante décadas.

A Arte pode ajudar precisamente porque está habituada a respeitar diferenças de medium. Não pedimos a uma escultura que conte uma história da mesma maneira que um romance, nem a uma pintura que tenha ritmo como uma bateria. Cada forma organiza possibilidades próprias. Talvez a biologia precise do mesmo cuidado: compreender uma planta segundo aquilo que ela consegue fazer, não segundo a distância que a separa de um animal.

Esta conclusão conduz-nos de volta à fronteira corporal. Uma planta distribui crescimento pelo ambiente, raízes atravessam solo, fungos associados prolongam redes de troca e folhas dependem de luz, ar e água. Onde termina, afinal, um corpo

vivo quando as suas relações funcionais atravessam continuamente aquilo que chamamos exterior?

PARTE VI

VIDA, CORPO E CONSCIÊNCIA

XIX Onde Acaba um Corpo?

A pele termina num lugar; a acção nem sempre.

Calçamos uma luva e tocamos numa parede. A superfície de contacto anatómico é a pele dentro da luva, mas a sensação e a acção parecem prolongar-se até ao tecido que encontra a parede. Seguramos depois uma vara e tocamos no chão; rapidamente deixamos de prestar atenção à madeira e sentimos resistência na extremidade distante.

O corpo anatómico continua a terminar na pele. A vara não se transforma biologicamente em braço. Mas o sistema perceptivo e motor pode incorporar ferramentas de maneira que a fronteira funcional da acção se desloca. Esta distinção obriga-nos a perguntar que fronteira estamos a medir. Anatomia, fisiologia, percepção, acção e ecologia podem desenhar limites diferentes.

A pele e as mucosas são fronteiras materiais importantes, mas não paredes herméticas. Respiramos, bebemos, comemos, transpiramos, libertamos calor e trocamos microrganismos. A vida depende precisamente de controlar fluxos através da fronteira.

Uma fronteira viva parece mais um país com alfândegas do que uma fortaleza sem portas. A organização persiste através de selecção e regulação, não através de isolamento absoluto.

O corpo também altera matéria continuamente. Moléculas entram e saem, células são substituídas e tecidos remodelam-se. A identidade não pode depender de conservar cada componente.

Uma chama ajuda a perceber estabilidade por fluxo, embora não seja viva. Mantém forma reconhecível enquanto combustível e gases se transformam. Um organismo acrescenta regulação, reparação, hereditariedade e organização muito mais complexa.

Uma guitarra numa sala seca e a mesma guitarra numa igreja mostram outro tipo de fronteira. O instrumento material termina na madeira, mas o acontecimento sonoro depende do ar e da acústica do espaço. Dizer que a igreja faz parte da guitarra seria absurdo; dizer que a música produzida é independente da sala seria igualmente errado. O corpo pode possuir relações funcionais semelhantes com ferramentas e espaço próximo.

A Neurociência utiliza o conceito de espaço peripessoal para descrever regiões em torno do corpo representadas de maneira especial por sistemas multisensoriais relacionados com acção e defesa.[1] Esta representação é plástica e pode alterar-se com utilização de ferramentas.

Experiências mostram que treinar com uma ferramenta pode modificar a maneira como o cérebro representa alcance e relações próximas. O efeito não transforma a ferramenta em tecido, mas demonstra que o corpo funcional é parcialmente flexível.

Um guitarrista experiente não calcula conscientemente a distância de cada traste. O instrumento torna-se parte de um circuito sensorimotor. Um violinista pode sentir propriedades do contacto no ponto onde arco e corda se encontram, mesmo que receptores tácteis estejam na mão.

O bastão de uma pessoa cega oferece um exemplo ainda mais claro. A informação relevante não é a pressão na palma, mas a textura, distância e obstáculo detectados na ponta. O sistema aprende a utilizar o objecto como extensão perceptiva.

Cadeiras de rodas, raquetes, próteses e exoesqueletos podem igualmente integrar-se em diferentes graus na representação corporal. Estudos sobre embodiment distinguem dimensões como sensação de propriedade, agência e localização, e não existe uma única medida de «tornar-se corpo».

O teatro oferece uma imagem. Um actor usando uma capa enorme aprende rapidamente a mover-se considerando o tecido para não colidir com cenário ou colegas. A capa continua adereço, mas entra no cálculo do corpo em acção.

Quando uma ferramenta funciona perfeitamente, tende a desaparecer da atenção. Um martelo torna-se quase transparente e a consciência concentra-se no prego. Quando o cabo parte, o objecto regressa imediatamente à experiência como coisa separada. Esta transparência funcional mostra que fronteiras perceptivas não coincidem sempre com fronteiras anatómicas.

Uma aranha leva a questão para fora da tecnologia humana. A teia é produzida pelo organismo, permanece exterior ao corpo e funciona como estrutura sensorial. Vibrações transportam informação sobre presas, parceiros, predadores e condições ambientais.

A geometria, tensão e propriedades da seda influenciam como vibrações se propagam. A aranha pode ajustar a teia, quase como alguém afinando um instrumento.

A metáfora musical torna-se aqui surpreendentemente literal: a teia funciona como uma estrutura vibratória cuja «afinação» altera informação disponível. Não é um instrumento artístico para a aranha, mas uma extensão física do sistema sensorial. Biólogos podem tratar teias, ninhos, diques e outras estruturas como fenótipos

[1] Angelo Maravita e Atsushi Iriki, «Tools for the Body (Schema)», *Trends in Cognitive Sciences* 8 (2004): 79–86; Nicholas P. Holmes, «Does Tool Use Extend Peripersonal Space? A Review and Re-analysis», *Experimental Brain Research* 218 (2012): 273–282. A literatura mostra plasticidade do esquema corporal e do espaço peripessoal, mas não autoriza a dizer literalmente que uma ferramenta se torna parte anatómica do corpo.

estendidos quando genes e comportamento do organismo contribuem para construir características externas com consequências adaptativas.

O conceito de fenótipo estendido, associado a Richard Dawkins, não significa que tudo o que um organismo toca seja parte do corpo. Significa que efeitos de genes podem estender-se para estruturas fora da anatomia.

A construção de nicho destaca outra relação: organismos modificam ambientes e essas modificações alteram pressões selectivas para si e para outros. Castores constroem diques; minhocas transformam solo; plantas alteram química e humidade locais.

Fenótipo estendido e construção de nicho sobrepõem-se em alguns exemplos, mas não são conceitos idênticos. Um concentra-se em efeitos fenotípicos dos organismos; o outro enfatiza feedback evolutivo entre organismos e ambiente modificado.

Uma cenografia teatral oferece uma imagem. Os actores movem objectos e alteram o palco; as novas posições condicionam movimentos seguintes. O ambiente torna-se registo material das acções anteriores. Nexo aparece novamente: o espaço modificado contém vestígios que orientam futuros acontecimentos.

A filosofia da mente estendeu esta discussão à cognição. A hipótese da mente estendida, associada a Andy Clark e David Chalmers, pergunta se cadernos, dispositivos ou elementos ambientais podem participar constitutivamente de processos cognitivos quando estão integrados de maneira adequada.

O exemplo clássico imagina uma pessoa que utiliza regularmente um caderno para armazenar informação da maneira que outra utiliza memória biológica. A discussão é filosófica e controversa; não existe consenso de que qualquer recurso externo seja literalmente parte da mente. Mas é evidente que seres humanos distribuem trabalho cognitivo por papéis, mapas, computadores, instrumentos e outras pessoas.

Um compositor escreve uma ideia numa partitura para não depender apenas da memória. Um pintor pensa com a tela, respondendo a marcas já produzidas. Um improvisador utiliza feedback do instrumento e do espaço para decidir o gesto seguinte. A cognição situada no mundo não precisa de caber integralmente numa representação interna prévia. Podemos, portanto, distinguir pelo menos quatro fronteiras: a anatómica, onde terminam tecidos; a fisiológica, definida por trocas reguladas; a sensorimotora, que pode incorporar ferramentas e espaço de acção; e a ecológica, formada por relações de dependência e transformação ambiental.

Princípio das Fronteiras Múltiplas do Corpo
Um organismo pode possuir diferentes fronteiras consoante a propriedade considerada. A fronteira anatómica dos tecidos, a fronteira fisiológica das trocas reguladas, a fronteira perceptivo-motora da acção e a fronteira ecológica das relações não precisam de coincidir exactamente.

Esta pluralidade não significa que tudo seja corpo. A atmosfera fornece oxigénio e é indispensável à vida humana, mas não se torna por isso anatomia. A palavra fronteira deve conservar poder de distinção.

A pergunta adequada depende do fenómeno. Para cirurgia, a fronteira anatómica é decisiva; para alcançar uma chávena com uma pinça, a fronteira sensorimotora torna-se relevante; para estudar dieta e microbioma, precisamos de trocas fisiológicas; para ecologia, relações com ambiente podem dominar.

Um violoncelo possui madeira, cordas e caixa; o som estende-se pela sala; a música depende ainda de ouvinte, repertório e história. Confundir todos esses níveis destruiria a análise, mas separá-los completamente também perderia o fenómeno.

A identidade individual torna-se então menos parecida com uma ilha. Um organismo continua distinguível, mas a distinção é mantida através de relações com aquilo que não é ele.

Uma orquestra volta a ser uma boa imagem desde que não procuremos nela uma equivalência perfeita. A orquestra é uma unidade reconhecível e, ao mesmo tempo, composta por indivíduos, secções, instrumentos, repertório, sala e práticas partilhadas. Retirar um músico pode não destruir a unidade; retirar todos os músicos torna a palavra orquestra problemática, embora partituras, instrumentos e história possam permanecer. A identidade vive, assim, entre permanência e transformação, e no corpo ocorre algo semelhante: há componentes que podem ser substituídos sem que deixemos de reconhecer o organismo, enquanto certas alterações destroem precisamente a organização que procurávamos conservar.

Saber onde se encontra essa diferença conduz-nos a uma pergunta ainda mais profunda do que saber onde termina a pele: o que faz com que esta organização esteja viva? Uma pedra possui fronteiras, uma chama mantém uma forma através de fluxos de matéria e energia, um cristal cresce, um furacão conserva durante algum tempo uma estrutura dinâmica, um vírus reproduz-se apenas utilizando uma célula hospedeira e uma semente pode permanecer aparentemente inactiva durante anos antes de regressar ao crescimento. Nenhuma fronteira geométrica nos diz sozinha quais destas estruturas devemos chamar vivas.

Podemos imaginar um palco depois de o espectáculo terminar. A cenografia permanece, os instrumentos continuam pousados e a partitura está aberta sobre uma estante. Quase todas as estruturas materiais da representação ainda estão ali, mas alguma coisa decisiva deixou de acontecer. O capítulo seguinte pergunta precisamente que tipo de organização distingue um sistema vivo de outros processos complexos.

XX O que Significa Estar Vivo?

Talvez a vida seja matéria que aprendeu a manter uma história em andamento.

Uma semente permanece durante meses dentro de uma gaveta. Não se move, não cresce, não procura luz, não come e não oferece qualquer sinal evidente de actividade; ao lado colocamos uma pedra aproximadamente do mesmo tamanho e, durante esse período, as duas parecem comportar-se de maneira semelhante. Depois pousamos a semente sobre terra húmida, damos-lhe água e esperamos: surge uma raiz, depois um caule, aparecem folhas e aquilo que parecia quase inerte começa a construir um corpo a partir de materiais retirados do ambiente, enquanto a pedra continua onde estava.

A diferença parece tão evidente que somos tentados a dizer simplesmente que uma estava viva e a outra não. Mas, se tentarmos explicar exactamente aquilo que significa estar vivo, a segurança desaparece: crescer não basta, porque os cristais também podem crescer; mover-se não basta, porque existem organismos fixos; reproduzir-se também não resolve tudo, porque um indivíduo estéril não deixa por isso de estar vivo, e até o metabolismo pode reduzir-se extraordinariamente em sementes dormentes, esporos ou organismos em criptobiose.

Não existe uma definição de vida universalmente aceite. Sabemos reconhecer com enorme segurança uma árvore, uma bactéria ou um cão como seres vivos, mas os casos situados junto da fronteira obrigam-nos a discutir aquilo que julgávamos compreender, e a astrobiologia tornou o problema ainda mais urgente: se encontrarmos noutro planeta uma organização desconhecida, precisamos de decidir que sinais nos autorizariam a falar em vida e não apenas em química muito complexa.

Talvez possamos começar pelo erro mais intuitivo: procurar uma substância chamada vida. Quando um organismo morre, a matéria não desaparece imediatamente; átomos, moléculas e estruturas permanecem durante algum tempo, portanto não havia uma matéria especial chamada «vida» misturada entre o carbono, o oxigénio e a água que tivesse abandonado o corpo no último instante.

Uma orquestra depois de terminar um concerto oferece uma aproximação melhor. Os violinos continuam no palco, as partituras não desapareceram e o piano conserva todas as teclas, mas aquilo que chamávamos concerto deixou de acontecer; nenhum objecto material específico era o concerto, embora ele não pudesse existir sem músicos, instrumentos e relações temporais entre as acções.

Talvez a vida tenha alguma afinidade com esta diferença entre possuir componentes e manter uma organização activa. Uma célula é feita de moléculas que, isoladamente, obedecem às mesmas leis da Química que moléculas semelhantes existentes fora dela, e aquilo que a distingue não é a descoberta de uma nova matéria, mas a maneira extraordinariamente organizada como essas moléculas participam numa rede de reacções que mantém a própria organização celular.

A palavra *metabolismo* designa uma parte fundamental dessa rede. Um organismo retira matéria e energia do ambiente, transforma substâncias, constrói algumas moléculas, degrada outras, elimina produtos e utiliza continuamente esses processos para manter a sua estrutura; comer é apenas uma versão muito visível de um fenómeno muito mais vasto.

Uma cozinha ajuda-nos a aproximar a ideia sem a simplificar demasiado. Numa cozinha em funcionamento entram ingredientes, água e energia, alguns materiais são transformados, outros armazenados e outros eliminados; mas uma célula possui uma diferença decisiva, porque grande parte da maquinaria que executa essas transformações é também construída, reparada e substituída pelo próprio sistema.

Imaginemos uma cozinha em que os fornos, as bancadas e parte dos utensílios se desgastassem continuamente e em que as próprias receitas incluíssem instruções para reconstruir os fornos, reparar as bancadas e fabricar novos utensílios enquanto as refeições continuam a ser preparadas. Estaríamos ainda muito longe de uma célula, mas começaríamos a perceber por que um organismo não é simplesmente uma máquina que recebe combustível: a sua actividade participa constantemente na manutenção da própria estrutura que torna essa actividade possível.

Esta circularidade inspirou o conceito de *autopoiese*, desenvolvido por Humberto Maturana e Francisco Varela.[1] O termo designa, de forma aproximada, a produção e manutenção de uma organização por uma rede de processos que produz componentes capazes de manter a própria rede e a sua fronteira; a ideia tornou-se influente na Biologia teórica e na filosofia, embora não constitua uma definição universalmente aceite de vida.

Uma chama parece aproximar-se perigosamente deste modelo, porque precisa de combustível, troca energia com o ambiente, conserva uma forma durante algum tempo e pode propagar-se. A semelhança diminui, porém, quando perguntamos pela organização: uma chama não constrói uma maquinaria molecular capaz de manter, copiar e modificar uma estrutura herdada ao longo de gerações, e o padrão da combustão pode propagar-se sem possuir um sistema de informação hereditária equivalente ao que encontramos nos organismos conhecidos.

[1] Humberto R. Maturana e Francisco J. Varela, *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living* (D. Reidel, 1980). Para a discussão contemporânea das definições de vida, ver «Life», *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, revisão de 2026.

Um cristal cria outra armadilha. Colocado numa solução adequada, pode aumentar de tamanho e reproduzir a sua estrutura geométrica à medida que novas moléculas se acrescentam à superfície; temos crescimento e repetição organizada sem termos aquilo a que normalmente chamamos vida, o que mostra por que uma lista demasiado curta de características produz facilmente falsos vivos.

A informação genética constitui uma parte central da combinação que caracteriza a vida terrestre. Uma célula possui moléculas capazes de conservar informação hereditária e essa informação participa na produção de componentes e na regulação do organismo; o ADN desempenha esse papel na enorme maioria dos organismos, enquanto alguns vírus utilizam ARN como material genético.

A partitura regressa aqui de forma útil, desde que não tratemos o ADN como um «programa» completo do organismo. Genes funcionam dentro de células, dependem de proteínas, sinais, condições químicas, história do desenvolvimento e ambiente; o ADN não constrói sozinho um organismo, da mesma maneira que uma partitura deixada sobre uma mesa não produz sozinha uma sinfonia.

Talvez seja melhor imaginar uma partitura utilizada por uma orquestra que modifica continuamente a maneira como determinadas páginas são lidas conforme o que já aconteceu na execução, a acústica da sala, os sinais recebidos dos restantes músicos e o estado dos instrumentos. A escrita possui um papel crucial, mas aquilo que acontece depende da rede inteira.

Existe, contudo, uma característica da informação hereditária que transforma radicalmente a matéria viva: ela pode variar e essas variações podem passar a gerações seguintes. Quando algumas variações afectam sobrevivência e reprodução, populações podem mudar ao longo das gerações através de evolução darwiniana, e a vida adquire assim uma história acumulativa que uma pedra, embora também possua história geológica, não utiliza para produzir descendentes modificados.

É quase como se cada execução de uma peça pudesse deixar pequenas modificações na partitura utilizada pela execução seguinte. Algumas alterações tornariam a peça impossível de tocar e desapareceriam, outras seriam conservadas e outras permitiriam novos caminhos; ao fim de milhares de gerações já não estaríamos perante simples repetição, mas perante uma história inscrita nas futuras execuções.

Uma definição de trabalho frequentemente utilizada pela NASA em astrobiologia descreve a vida como «um sistema químico auto-sustentado capaz de evolução darwiniana»; a própria NASA apresenta-a como uma ferramenta de trabalho, não como definição final.[2] A expressão é útil, mas não resolve todos os problemas, porque «auto-sustentado» não pode significar independente do ambiente — nenhuma

[2]NASA Astrobiology, «How Can We Tell If Something Is Alive or Not?» e «Life on Other Planets: What Is Life and What Does It Need?». A formulação nasceu de um grupo de trabalho de exobiologia nos anos 1990 e é explicitamente apresentada como definição operacional e revisável; vírus permanecem um caso-limite importante.

forma de vida conhecida o é — e casos como os vírus continuam a desafiar qualquer fronteira simples.

Os seres vivos são autónomos precisamente através de relações. Mantêm uma organização própria porque conseguem trocar continuamente matéria, energia e informação com um ambiente que não controlam completamente, e a fronteira celular tornou-se por isso um acontecimento decisivo na história da vida: separa parcialmente um interior do exterior, mas não funciona como parede hermética; regula trocas e ajuda a manter condições internas diferentes das do ambiente.

Podemos imaginar novamente um teatro. Sem qualquer separação entre palco, bastidores, plateia e rua, seria muito difícil manter as condições que permitem a representação; mas, se construíssemos muros completamente fechados e impedíssemos a entrada de pessoas, ar, electricidade e materiais, o teatro também deixaria de funcionar, tal como a vida parece existir numa região intermédia entre isolamento e dissolução.

Uma célula precisa de preservar diferenças. Concentra determinadas moléculas, expulsa outras, mantém gradientes eléctricos e químicos e utiliza energia para impedir que tudo se aproxime simplesmente do equilíbrio com o ambiente; quando deixa irreversivelmente de conseguir manter essas diferenças, aproxima-se da morte.

A Termodinâmica torna esta ideia mais precisa. Os seres vivos conseguem manter durante muito tempo uma organização afastada do equilíbrio porque não são sistemas isolados: recebem energia e matéria e libertam calor e resíduos, sem violar a segunda lei da Termodinâmica; uma planta pode construir folhas altamente organizadas enquanto participa num processo total em que a entropia continua a aumentar.

Uma escultura de gelo dentro de uma sala quente fornece uma comparação incompleta mas útil. Para impedir que derreta, precisamos de retirar continuamente calor; num organismo, porém, aquilo que se mantém não é uma forma imóvel, porque o próprio sistema muda, substitui componentes e altera estruturas enquanto conserva determinadas relações essenciais.

Uma música talvez seja, por isso, melhor do que uma escultura. Uma peça existe enquanto acontecimentos continuam a relacionar-se ao longo do tempo; parar todas as notas não preserva a música, termina-a, e a identidade da obra durante a execução depende precisamente de haver transformação organizada. A estabilidade viva é igualmente dinâmica: uma célula substitui moléculas, uma árvore perde folhas e produz outras e o corpo reorganiza continuamente estados internos sem deixar de conservar uma continuidade reconhecível.

Esta perspectiva ajuda também a compreender por que um cadáver pode conservar durante algum tempo uma aparência muito semelhante à do organismo vivo e ser, ainda assim, profundamente diferente. Muitas estruturas permanecem, mas as redes de regulação deixam progressivamente de manter gradientes, reparar componentes, responder coordenadamente e conservar a organização global.

Os estados de dormência complicam ainda mais qualquer definição instantânea. Sementes, esporos e determinados organismos conseguem reduzir drasticamente processos metabólicos e regressar à actividade quando as condições voltam a ser favoráveis; se definíssemos vida apenas como metabolismo intenso neste instante, seríamos obrigados a declarar esses organismos mortos durante a dormência e ressuscitados depois.

Uma partitura guardada durante cinquenta anos não está a ser executada, mas conserva uma organização capaz de permitir futura execução. Uma semente não é uma partitura, porque mantém processos materiais próprios mesmo durante dormência, mas a comparação ajuda a distinguir actividade momentânea de capacidade organizada de retomar processos vivos.

Os vírus colocam-nos numa fronteira particularmente difícil. Possuem material genético, evoluem por selecção natural e formam populações extremamente diversas, mas fora de células hospedeiras não possuem metabolismo autónomo nem maquinaria própria suficiente para se reproduzirem; um vírus isolado pode comportar-se quase como uma estrutura química inerte até encontrar uma célula adequada e utilizar componentes celulares para copiar o material genético e produzir novas partículas virais.

A pergunta «está vivo?» não possui aqui uma resposta universalmente aceite, e talvez isso mostre que procuramos frequentemente decidir se uma coisa está viva quando a vida pode residir em sistemas que atravessam fronteiras entre coisas. Ainda assim, precisamos de conservar distinções: se tudo aquilo de que um organismo depende passar a ser chamado vivo, acabaremos a declarar vivos o Sol, a água e o planeta inteiro simplesmente porque a vida depende deles.

Podemos então pensar a vida como uma organização de propriedades: compartimentação, metabolismo, manutenção activa, informação hereditária, reprodução em algum nível, capacidade de evolução e relações contínuas com o ambiente. Nem todos os indivíduos realizam pessoalmente todas essas funções a cada instante, mas a linhagem ou o sistema vivo a que pertencem possui essa arquitectura geral.

As células ocupam aqui uma posição especial porque são os sistemas organizados mais simples acerca dos quais existe pouca dúvida de que estejam vivos. Mantêm activamente condições internas, realizam metabolismo, conservam informação genética e pertencem a uma linhagem de divisão celular que remonta a milhares de milhões de anos; uma célula pode assim ser imaginada, poeticamente mas sem abandonar a Física, como uma pequena história que aprendeu a continuar a escrever-se.

Nessa história, o passado não é apenas arquivo. A informação hereditária participa activamente na produção de futuras configurações, fazendo com que determinados registos possam trabalhar sobre possibilidades seguintes; uma partitura dentro de uma tradição musical não se limita a testemunhar aquilo que foi tocado, porque continua a influenciar aquilo que poderá ser tocado amanhã.

A evolução darwiniana transforma esse mecanismo numa potência extraordinária. Não existe um arquitecto que planeie previamente asa, olho ou raiz; pequenas variações herdáveis aparecem em populações, algumas influenciam sobrevivência e reprodução em determinados ambientes e, ao longo de muitas gerações, a estrutura das populações muda.

Uma tradição musical sem compositor central ajuda-nos a visualizar a acumulação. Cada geração recebe melodias anteriores, introduz pequenas modificações e transmite algumas delas; certas versões desaparecem, outras tornam-se dominantes e outras combinam-se com novas formas. A evolução biológica não funciona por preferência estética nem por escolha consciente, mas a analogia mostra como complexidade organizada pode acumular-se sem projecto prévio.

É por isso que a expressão «sobrevivência do mais forte» pode enganar. O que conta como vantagem depende do ambiente, das relações ecológicas e das propriedades em causa; cooperação pode ser vantajosa, um corpo pequeno pode ser melhor do que um grande e permanecer imóvel pode ser melhor do que correr. A evolução não conduz a um modelo final de excelência, e uma baleia, uma bactéria, um líquen e uma árvore não são tentativas mais ou menos bem sucedidas de chegar à mesma forma.

A vida também combina continuidade de linhagens com desaparecimento contínuo de indivíduos. Uma interpretação teatral oferece uma imagem clara: os actores de *Hamlet* mudaram milhares de vezes, cenários, pronúncias e teatros mudaram, e nenhuma molécula da primeira representação precisa de estar presente hoje; apesar disso, existe uma continuidade histórica que permite reconhecer a obra. A vida é muito mais do que uma tradição cultural, mas possui igualmente capacidade de conservar identidade através da substituição dos seus realizadores materiais.

> **Princípio da Continuidade Viva**
> Um sistema vivo mantém uma organização própria através de fluxos contínuos de matéria, energia e informação e pertence a uma história em que partes dessa organização podem ser conservadas, modificadas e transmitidas. A vida não é, nesta hipótese, uma substância acrescentada à matéria, mas um modo particular de organização dinâmica da matéria.

Esta formulação continua deliberadamente incompleta. Não pretendemos resolver por decreto uma questão que Biologia e filosofia ainda discutem, mas destacar aquilo que o percurso tornou visível: fronteira, fluxo, auto-manutenção, informação e história parecem mais importantes do que procurar uma matéria vital escondida dentro das células.

Uma experiência mental torna isso ainda mais claro. Se encontrássemos em Marte uma estrutura feita de moléculas diferentes das terrestres, mas com membrana, metabolismo, regulação, reprodução, variação e evolução, provavelmente chamar-lhe-íamos vida mesmo sem ADN ou proteínas; isto mostra que procuramos sobretudo uma organização de processos, não uma substância específica.

Como só conhecemos uma origem de vida, toda ela terrestre e aparentada, corremos o risco de confundir características particulares da nossa linhagem com características necessárias de qualquer vida possível. Seria como tentar definir música tendo ouvido apenas uma tradição desde o nascimento e concluir que determinada escala ou afinação é essencial porque nunca encontrámos alternativa.

A origem da vida terá atravessado sistemas químicos intermédios, e talvez não exista um segundo privilegiado em que a matéria não-viva tenha recebido uma propriedade especial. Um amanhecer oferece uma imagem melhor: a luminosidade aumenta gradualmente e, embora não exista um instante metafísico único em que a noite recebe ordem de se transformar em dia, a distinção entre noite e dia continua útil.

Uma improvisação permite imaginar essa passagem. Antes do concerto existe ruído da sala, instrumentos a serem afinados e gestos sem relação definida; pouco a pouco, certos sons começam a responder uns aos outros, surge repetição, um músico reconhece-a, outro transforma-a e, sem um instante absolutamente nítido, percebemos que já estamos dentro da música. Não apareceu uma nova matéria no palco quando a improvisação começou; apareceu uma organização de relações capaz de se sustentar e transformar.

Talvez a origem da vida tenha alguma afinidade com este tipo de passagem. Moléculas obedecendo à Química terão formado, em determinadas condições, redes capazes de conservar diferenças, utilizar energia, construir fronteiras, reproduzir estruturas e acumular história, e a matéria adquiriu maneiras de fazer com que o passado participasse activamente na construção do futuro.

Nexo regressa sob uma forma concreta e macroscópica. No início do livro, era uma tentativa especulativa de compreender como configurações poderiam conter vestígios assimétricos de outras sem pressupor um tempo fundamental; na vida encontramos sistemas materiais em que registos do passado participam na produção de estados futuros, embora genes, estados celulares, estruturas herdadas e ambientes modificados façam isso através de mecanismos e escalas muito diferentes.

Um ser vivo é, deste ponto de vista, um arquivo que não se limita a guardar documentos. Lê alguns, modifica-os, produz novas páginas e transmite parte do arquivo a sistemas capazes de continuar a história; por isso a morte não é apenas destruição de um objecto, mas interrupção de uma organização que utilizava continuamente matéria, energia e informação para conservar a possibilidade de continuar.

Esta distinção aproxima-nos de um problema ainda mais difícil. Uma bactéria está viva e não temos fundamento sólido para lhe atribuir uma experiência consciente semelhante à nossa; uma planta está viva e a consciência vegetal permanece uma questão controversa sem demonstração estabelecida; nós estamos vivos e, além disso, existe aparentemente alguma coisa que é ser nós, porque cores aparecem, sons são ouvidos, há dor, memória, desejo e experiência.

A vida, portanto, não basta para explicar consciência. Um coração pode regular ritmo sem pensar, uma célula detectar sinais sem possuir uma imagem consciente do ambiente e uma planta responder à luz sem que tenhamos demonstrado uma experiência de luminosidade; em algum ponto da história evolutiva, sistemas nervosos começaram a produzir formas de integração às quais, pelo menos em determinados animais, associamos experiência subjectiva.

A intuição oferece imediatamente um lugar para essa experiência: o cérebro. Mas o cérebro não contém uma pequena sala central onde imagens chegam para serem vistas e sons chegam para serem ouvidos por um espectador interior; aquilo que encontramos são enormes redes de actividade distribuída, continuamente ligadas ao corpo e ao ambiente. É essa possibilidade que abre o próximo capítulo: **Consciência sem um Centro**.

XXI Consciência sem um Centro

Não há um pequeno espectador no cérebro; há, contudo, experiência.

Imaginemos por alguns instantes que dentro da nossa cabeça existe uma pequena sala de cinema. Os olhos enviam imagens para um ecrã, os ouvidos acrescentam a banda sonora, o corpo transmite sensações e, sentado numa cadeira minúscula, existe alguém que vê tudo, ouve tudo e decide aquilo que devemos fazer; a imagem é irresistível porque corresponde à maneira como a experiência parece organizar-se, mas o problema aparece quando perguntamos quem está sentado nessa cadeira.

Se for uma pequena versão de nós próprios, terá também olhos, cérebro e consciência e teremos de imaginar dentro da sua cabeça outra sala de cinema com outro espectador. A explicação começa assim a repetir-se indefinidamente sem explicar nada, e a crítica ao chamado *Teatro Cartesiano* aponta precisamente para esse erro: a Neurociência não encontrou um palco final onde toda a informação seja apresentada a um observador interior.

Quando abrimos os olhos diante de uma sala, a experiência parece chegar inteira: mesa, janela, cores, profundidade, movimento e objectos aparecem conjuntamente. No cérebro, porém, o tratamento visual envolve numerosas áreas e vias sensíveis a contornos, movimento, cor, posição, formas e outros aspectos, e não existe uma pequena fotografia completa viajando intacta desde os olhos até uma parede interior onde finalmente seria vista.

O cinema fornece uma analogia particularmente útil. Um plano de poucos segundos parece uma unidade com actores, espaço, movimento, luz, cor e som, embora durante a produção esses elementos possam ter sido captados e construídos separadamente; o espectador recebe uma unidade que não existiu necessariamente como unidade em nenhum dos dispositivos que participaram na produção.

No cérebro existe uma dificuldade ainda maior porque não encontramos depois uma sala de montagem separada. A integração parece fazer parte das próprias relações entre redes de processamento, e o problema científico consiste precisamente em compreender como actividades distribuídas conseguem produzir uma experiência que não sentimos como uma colecção dispersa de fragmentos.

A música oferece uma versão próxima. Quando ouvimos um acorde, não ouvimos primeiro cada frequência parcial, depois cada nota isolada e finalmente uma voz interior que decide juntá-las; o acorde aparece como unidade perceptiva, embora a

análise acústica revele vibrações, harmónicos, ataques e relações que podem ser estudados separadamente.

Isto aproxima-nos do problema da integração, frequentemente chamado *binding problem*: como características tratadas por sistemas distintos — cor, forma, movimento, localização — acabam por ser experimentadas como propriedades de um mesmo objecto? Uma bailarina de vestido vermelho atravessando o palco não aparece como mancha vermelha, forma humana e vector de movimento que um executivo cerebral cola posteriormente; aparece como uma bailarina de vestido vermelho a mover-se, e é essa unidade aparentemente imediata que a explicação neurobiológica precisa de compreender.

Também precisamos de distinguir diferentes usos da palavra consciência. Podemos perguntar se alguém está consciente no sentido de estar acordado e disponível para responder ao ambiente, ou perguntar de que essa pessoa está consciente neste instante; nível de consciência e conteúdo consciente são problemas relacionados, mas não idênticos.

Durante anestesia geral profunda, certos tipos de experiência consciente podem desaparecer e regressar depois; durante o sono, a relação com o ambiente altera-se profundamente e, ainda assim, podemos sonhar. Consciência não se reduz, portanto, a olhos abertos, movimento ou resposta exterior.

A investigação procura condições neurais associadas tanto ao nível de consciência como a conteúdos específicos. Estruturas do tronco cerebral, tálamo e redes corticais desempenham papéis diferentes e interdependentes, sem que exista um único «centro da consciência» comparável a uma lâmpada que se liga num ponto exacto.

Uma sala de espectáculos pode ajudar a distinguir funções. A electricidade e a ventilação mantêm o teatro operacional, enquanto a peça concretamente representada naquela noite constitui outro nível; a central eléctrica não contém *Hamlet* e *Hamlet* não explica por que as portas estão abertas, embora ambos participem na possibilidade daquele acontecimento.

A Neurociência procura também correlatos neurais da consciência, isto é, padrões ou mecanismos que acompanham sistematicamente determinadas experiências. Encontrar um correlato, contudo, não significa explicar completamente a experiência, da mesma maneira que descobrir exactamente quais cordas vibram durante um acorde não explica por si só aquilo que é ouvi-lo.

A diferença entre correlação e explicação tornou-se central na filosofia contemporânea. David Chalmers chamou *problema difícil da consciência* à questão de por que processos físicos e funcionais são acompanhados por experiência subjectiva; podemos explicar discriminação, integração, memória e resposta e continuar a perguntar por que há alguma coisa que é sentir vermelho ou dor a partir de dentro.

Uma partitura aproxima-nos da diferença sem a resolver. Podemos analisar cada nota, ritmo, dinâmica e relação harmónica, explicar como os instrumentos produzem sons e medir fisicamente vibrações da sala, mas aquilo que é ouvir a música não

aparece simplesmente como mais um número escrito na partitura; isso não demonstra uma substância não física, apenas mostra que descrição funcional e explicação fenomenal podem não ser exactamente a mesma tarefa.

As teorias contemporâneas da consciência tentam identificar aquilo que transforma determinada actividade cerebral em actividade consciente, e nenhuma é actualmente aceite como solução definitiva. Algumas fazem previsões diferentes e começam a ser comparadas experimentalmente, o que é uma mudança importante num tema durante muito tempo dominado por formulações difíceis de testar.

A Teoria do Espaço de Trabalho Neuronal Global propõe, de modo simplificado, que muita informação é processada localmente sem se tornar consciente, enquanto alguns conteúdos alcançam disponibilidade ampla para memória, atenção, avaliação e planeamento. Uma estação de rádio fornece uma imagem: milhares de conversas permanecem privadas, mas algumas chegam ao emissor e tornam-se acessíveis a uma rede muito mais extensa.

A orquestra oferece outra versão. Durante um ensaio, um violinista pode corrigir discretamente a afinação sem alterar o comportamento de todo o conjunto; noutro momento, uma indicação do maestro modifica simultaneamente a interpretação de várias secções. A metáfora não implica um centro cerebral equivalente ao maestro, porque o «espaço de trabalho» é concebido como uma dinâmica distribuída de comunicação, não como um ecrã localizado.

A Teoria da Informação Integrada parte de uma pergunta diferente: que organização física permite que um sistema constitua uma unidade de experiência que não possa simplesmente ser decomposta em experiências independentes das partes? Um acorde volta a ajudar, desde que não confundamos analogia com teoria: três notas tocadas em salas isoladas são três acontecimentos separados, enquanto uma estrutura conjunta pode possuir relações que desaparecem se tratarmos cada elemento como totalmente independente.

A IIT tenta formalizar propriedades de integração causal do sistema e relacioná-las com consciência. É uma proposta ambiciosa e controversa, e as suas afirmações mais fortes continuam a ser discutidas tanto empiricamente como filosoficamente.

Outra família de teorias atribui importância ao processamento recorrente. A actividade sensorial não viaja simplesmente numa direcção dos receptores para uma caixa final; existem circuitos de ida e volta entre níveis e regiões, e determinadas propostas sugerem que formas específicas dessa recorrência podem ser suficientes para certos conteúdos conscientes.

O teatro permite imaginar a diferença. Numa cadeia mecânica, uma deixa activa uma luz, a luz activa um som e a sequência termina; numa representação interactiva, o gesto de uma actriz altera a luz, essa alteração modifica a resposta de outro actor e a resposta transforma o gesto seguinte da primeira actriz. A informação circula em vez de atravessar apenas uma fila.

Existem ainda teorias de ordem superior, segundo as quais um estado mental se torna consciente quando o sistema possui algum tipo de representação acerca desse próprio estado. A diferença quotidiana entre ouvir uma nota e perceber explicitamente que estamos a ouvir aquela nota oferece apenas uma aproximação, mas ajuda a tornar visível a ideia de um nível que representa outro.

Não precisamos de transformar o capítulo num catálogo de teorias. O ponto é reconhecer que propostas diferentes identificam mecanismos diferentes como fundamentais e fazem afirmações distintas acerca de onde procurar actividade relevante, que tipo de processamento é necessário e o que deveria acontecer quando determinados mecanismos são perturbados.

Em 2025, uma colaboração adversarial publicada na *Nature* comparou directamente previsões da Teoria do Espaço de Trabalho Neuronal Global e da Teoria da Informação Integrada em 256 participantes, utilizando ressonância magnética funcional, magnetoencefalografia e, em alguns casos, registos intracranianos.[1] Os resultados não produziram uma vencedora simples: algumas previsões encontraram apoio e outras enfrentaram dificuldades, confirmando que a investigação da consciência chegou a um estágio em que teorias sofisticadas podem ser submetidas a testes adversariais sem que o problema esteja encerrado.

Esta situação é saudável. Uma competição científica não funciona como concurso onde alguém recebe imediatamente um troféu; resultados desfavoráveis podem obrigar uma teoria a reformular mecanismos, reduzir ambições ou abandonar previsões, e isso transforma mistério filosófico em investigação progressivamente mais discriminante.

Dizer *consciência sem um centro* não significa afirmar que todas as regiões do cérebro participam igualmente em toda a experiência. Existem estruturas com funções muito específicas e danos locais podem alterar profundamente vigília, percepção, memória, linguagem ou agência; aquilo que parece faltar é o pequeno lugar final onde tudo termina para ser apresentado a um espectador interior.

Podemos imaginar uma peça musical sem maestro. Um grupo de improvisação pode produzir forma coerente através de escuta recíproca, memória, antecipação, ajuste de dinâmica e resposta aos gestos dos restantes músicos; nenhum participante contém sozinho a peça e não existe um ponto secreto onde a música inteira é montada antes de regressar aos instrumentistas.

Isso não significa que todos desempenhem a mesma função. Contrabaixo, bateria ou sopro podem organizar aspectos diferentes e transformar o conjunto, e a unidade aparece através de relações diferenciadas, não através da ausência de estrutura. Talvez consciência seja, num nível biológico incomparavelmente mais complexo, uma propriedade de determinadas formas de organização distribuída.

[1] Cogitate Consortium et al., «Adversarial Testing of Global Neuronal Workspace and Integrated Information Theories of Consciousness», *Nature* (2025), doi:10.1038/s41586-025-08888-1. Os resultados desafiaram previsões centrais de ambas as teorias e não estabeleceram uma vencedora definitiva.

A frase exige cautela porque dizer «propriedade da organização» ainda não explica por que essa organização é acompanhada por experiência. Podemos construir uma descrição cada vez mais completa das relações neurais e continuar a enfrentar a pergunta acerca daquilo que faz com que exista alguma coisa que seja sentir essas relações a partir de dentro.

O corpo também não pode ser retirado desta discussão. O cérebro recebe continuamente sinais do coração, pulmões, intestino, músculos, pele e sistemas hormonais ao mesmo tempo que regula esses processos, e aquilo que experimentamos como emoção, esforço, tranquilidade, fome ou medo envolve relações entre actividade cerebral, estado corporal e ambiente.

A interocepção regressa aqui porque consciência não parece ser apenas um filme visual e auditivo projectado na cabeça. Parte da experiência é constituída pela maneira como o corpo se apresenta continuamente ao próprio sistema nervoso, e os sistemas nervosos evoluíram dentro de organismos que precisam de respirar, alimentar-se, fugir, procurar e regular estados internos.

A percepção do Mundo está igualmente misturada com acção. Vemos uma chávena como algo agarrável, ouvimos um som súbito e o corpo orienta-se, sentimos dor e reorganizamos movimento; o sistema consciente faz parte de um organismo situado, não de uma máquina de cinema isolada dentro do crânio.

Uma instalação interactiva permite aproximar-nos desta relação. A obra altera sons e imagens conforme o visitante se desloca e aquilo que aparece depende tanto da programação como da história recente dos movimentos; experiência e acção constroem conjuntamente a sequência disponível sem que isso implique que a realidade exterior seja fabricada pela consciência.

Convém, por isso, desconfiar da expressão «o cérebro cria a realidade». O cérebro não cria estrelas, montanhas ou moléculas exteriores; participa, com corpo e sentidos, na construção de uma experiência organizada dessas realidades a partir dos sinais que a relação com elas torna disponíveis.

Uma pintura oferece outra maneira de dizer isto. A luz reflectida pela tela participa na experiência, mas aquilo que vemos como profundidade, figura e contraste depende também do sistema visual; profundidade pode ser percebida numa tela plana sem que o cérebro tenha criado a tela ou inventado os pigmentos.

Princípio da Consciência Distribuída
A consciência não é aqui tratada como uma entidade localizada num ponto central do cérebro, mas como uma propriedade que poderá depender da organização dinâmica de relações entre múltiplos sistemas neurais, corporais e perceptivos. Qual dessas relações é necessária ou suficiente para produzir experiência consciente continua a ser uma questão científica aberta.

A prudência da última frase é indispensável. Se escrevêssemos simplesmente que consciência é integração ou informação global, estaríamos a escolher antecipadamente uma das teorias que a investigação ainda testa.

Também não sabemos exactamente até onde se estende consciência no reino animal. Em humanos combinamos comportamento, relatos verbais e actividade cerebral; noutros animais dependemos mais de comportamento, anatomia, fisiologia e comparação evolutiva, e existem boas razões para atribuir experiência consciente a muitos animais sem que isso nos forneça uma fronteira exacta.

É possível que diferentes componentes — integração sensorial, memória, valência, representação corporal, atenção e capacidade de modelar o ambiente — tenham evoluído através de histórias parcialmente independentes e depois se combinado de formas diferentes em várias linhagens. Uma composição pode crescer de maneira semelhante: pulsação, relações de alturas, memória e transformação aparecem em camadas que reorganizam o conjunto sem exigir um único compasso em que «a música inteira» surgiu de uma vez.

A ausência de centro torna-se especialmente estranha quando pensamos na unidade da experiência. Neste instante podemos ver palavras, ouvir sons, sentir o corpo e recordar acontecimentos, mas normalmente não experimentamos quatro consciências independentes; tudo parece pertencer a um mesmo campo e talvez seja precisamente essa unidade que nos leva a imaginar um centro.

Uma orquestra pode produzir uma única obra sem que exista um instrumento onde a obra esteja localizada, e um filme possuir unidade sem que nenhum fotograma contenha o filme inteiro. Talvez a unidade da consciência também possa ser uma propriedade global de relações distribuídas.

Esta hipótese toca então numa coisa ainda mais íntima. Não sentimos apenas que existe experiência unificada; sentimos que essa experiência é nossa, e há uma diferença aparentemente imediata entre uma dor e a minha dor, uma memória e a minha memória, uma mão e a minha mão.

A resposta intuitiva seria imaginar que, mesmo sem pequeno espectador, deve existir pelo menos um Eu central ao qual todas as experiências pertencem. Mas o corpo já tornou essa imagem difícil: matéria, microbioma, memórias, percepção e organização cerebral mudam continuamente e, apesar disso, amanhã provavelmente utilizaremos o mesmo pronome que hoje.

Uma peça de teatro pode conservar o nome da personagem mesmo quando diferentes actores a interpretam durante séculos, uma melodia continuar reconhecível em instrumentos diferentes e uma cidade manter o nome enquanto edifícios e habitantes se transformam. Talvez o Eu possua alguma afinidade com essas continuidades, e é essa hipótese que abre o próximo capítulo: **Existe Realmente um Eu?**

XXII Existe Realmente um Eu?

O Eu talvez permaneça precisamente porque nunca permanece igual.

Quando acordamos de manhã não precisamos de verificar quem acordou. Podemos não saber imediatamente que horas são, onde deixámos os óculos ou aquilo que sonhámos, mas existe normalmente uma continuidade silenciosa que parece anteceder todas essas perguntas: sou eu que estou aqui; o corpo pode estar mais cansado do que ontem, algumas memórias desapareceram durante a noite e milhões de processos celulares terão mudado, mas a sensação de identidade regressa quase sem esforço.

Talvez seja precisamente essa facilidade que torne o Eu tão difícil de investigar. Uma cadeira pode ser observada à distância, um coração estudado com aparelhos e uma estrela fotografada; o Eu, pelo contrário, parece ser simultaneamente aquilo que queremos observar e o lugar a partir do qual observamos, como uma câmara que tentasse filmar integralmente o dispositivo que produz a própria imagem.

Olhemos para uma mão e pensemos «esta é a minha mão». A frase contém duas coisas diferentes: existe uma mão e existe uma sensação de pertença que a liga a alguém; normalmente a ligação é tão imediata que parece natural, mas experiências neurológicas e laboratoriais mostram que a sensação de propriedade corporal é construída através de relações entre visão, tacto, propriocepção e outros sinais.

A chamada *ilusão da mão de borracha* tornou isso especialmente visível.[1] Quando uma mão artificial é colocada diante de uma pessoa enquanto a verdadeira fica escondida e ambas são estimuladas de maneira sincronizada, muitas pessoas começam a experimentar uma sensação parcial de pertença relativamente à mão artificial; a experiência não transforma borracha em tecido humano, mas mostra que «esta mão é minha» depende de integração activa de sinais e não de uma etiqueta metafísica permanentemente colada ao corpo.

Um adereço de teatro ajuda-nos a imaginar a plasticidade. Um actor coloca uma máscara, uma prótese cénica ou uma capa e aprende a orientar movimentos considerando a nova forma; o objecto continua exterior ao organismo, mas entra parcialmente na organização da acção. A ilusão da mão de borracha vai mais longe porque o

[1] Matthew Botvinick e Jonathan Cohen, «Rubber Hands 'Feel' Touch That Eyes See», *Nature* 391 (1998): 756. Para enquadramentos filosóficos muito diferentes do Eu, ver também William James, *The Principles of Psychology* (1890), David Hume, *A Treatise of Human Nature* (1739–1740), e Thomas Metzinger, *Being No One* (MIT Press, 2003).

sistema perceptivo começa a atribuir pertença corporal a algo que intelectualmente sabemos não fazer parte da anatomia.

Podemos distinguir aqui uma primeira camada do Eu: o **Eu corporal**. Antes de escrevermos autobiografias ou pensarmos no nosso nome, existe normalmente a experiência de que este corpo é aquele a partir do qual vemos, tocamos, sentimos dor e agimos; uma criança muito pequena possui formas desta organização corporal muito antes de construir uma narrativa verbal acerca de si própria.

Mesmo esta camada não é única. Sensação de pertença, localização espacial, perspectiva em primeira pessoa e agência costumam coincidir, mas podem separar-se em condições neurológicas ou experimentais; aquilo que quotidianamente comprimimos numa única palavra resulta de processos parcialmente diferentes que normalmente cooperam de maneira extraordinariamente estável.

A agência oferece um exemplo particularmente interessante. Levantamos voluntariamente um copo e sentimos que fomos nós que produzimos o movimento; alguém empurra o nosso braço e a deslocação acontece sem a mesma sensação de autoria. O sistema nervoso parece comparar continuamente intenções, comandos motores, previsões e consequências sensoriais para distinguir, de maneira aproximada, acontecimentos produzidos pela própria acção daqueles que chegam do exterior.

Um músico conhece esta diferença quase fisicamente. Ao tocar guitarra, antecipa parcialmente a resposta antes de ouvir completamente o som; se uma corda estiver desafinada, se um efeito introduzir atraso inesperado ou se outro músico tocar simultaneamente uma nota semelhante, a relação entre gesto e resultado torna-se ambígua. A experiência de autoria nasce da correspondência entre aquilo que fazemos, aquilo que esperamos e aquilo que regressa aos sentidos.

Podemos acrescentar uma segunda dimensão: o **Eu perceptivo**, aquilo que faz com que o Mundo pareça organizar-se a partir daqui. Quando entramos numa sala, a mesa está à nossa frente, a porta atrás e um som chega da esquerda, porque a percepção acontece a partir de um organismo situado; não precisamos de imaginar um pequeno observador dentro da cabeça para explicar essa perspectiva.

Uma câmara de cinema possui igualmente um ponto de vista sem que exista qualquer personagem atrás da lente. A posição do dispositivo organiza aquilo que aparece à direita, à esquerda, perto ou longe, e o ponto de vista pertence à relação entre câmara e cena; talvez a perspectiva em primeira pessoa possua uma geometria corporal semelhante.

A nossa identidade contém, contudo, muito mais do que corpo e perspectiva. Sabemos o nosso nome, recordamos episódios da infância, reconhecemos pessoas, possuímos projectos e conseguimos dizer «eu já não penso da mesma maneira que há vinte anos»; para produzir esta frase precisamos de construir uma ligação entre versões extremamente diferentes de nós próprios.

A memória participa profundamente nessa continuidade. Pensemos numa fotografia de infância: a criança possui outro tamanho, outro rosto, outros interesses e

um cérebro que entretanto sofreu inúmeras transformações, e ainda assim apontamos para a imagem e dizemos sem hesitar «sou eu».

Essa relação não pode ser simples igualdade material, porque o corpo mudou, nem identidade psicológica completa, porque opiniões, desejos, medos e conhecimentos foram transformados. A continuidade parece pertencer a uma cadeia histórica em que cada estado emerge de estados anteriores sem precisar de permanecer igual a eles.

Uma melodia fornece uma analogia simples. Tocamos primeiro um tema lentamente, depois mudamos tonalidade, fragmentamos ritmo e entregamos algumas notas a outros instrumentos; ao fim de vários minutos, quase nenhum acontecimento sonoro é idêntico ao início e, no entanto, reconhecemos continuidade temática. A identidade não exigiu repetição perfeita, mas uma história de transformação.

O Eu biográfico pode possuir algo semelhante. A pessoa de hoje não é cópia da pessoa de ontem, mas existe uma cadeia de relações corporais, causais, mnésicas e sociais que liga essas versões; interromper todas essas relações produziria um problema muito mais profundo de identidade do que substituir uma célula ou esquecer uma tarde particular.

A memória também não funciona como arquivo cinematográfico perfeito. Recordar é reconstruir, reactivar fragmentos, associações e conhecimentos posteriores, e cada evocação pode modificar aquilo que volta a ser guardado; a autobiografia interior é, por isso, mais semelhante a uma montagem continuamente revista do que a uma película intacta escondida num cofre.

William James distinguiu diferentes sentidos de *self* e observou que identidade pessoal envolve continuidade dentro de um fluxo mental em constante mudança. David Hume levou a dúvida mais longe ao notar que, na introspecção, encontramos percepções, sentimentos e pensamentos particulares, mas não uma entidade separada chamada Eu que apareça como mais um conteúdo da experiência.

A conclusão de Hume era filosófica, não neurobiológica, mas a pergunta permanece poderosa. Se retirarmos sucessivamente sensações, memórias, desejos, pensamentos, emoções e corpo, o que resta que possamos apontar como sendo o Eu? Talvez a própria pergunta contenha uma armadilha semelhante à de retirar Dó, Mi e Sol e depois procurar uma quarta coisa escondida entre eles chamada acorde.

Isto não significa que o Eu seja ilusório no sentido vulgar de não existir. Uma melodia não deixa de existir porque não conseguimos encontrá-la dentro de uma nota isolada, uma cidade não deixa de ser real porque habitantes e edifícios mudam e uma tempestade não desaparece porque nenhuma molécula de ar específica é «a tempestade»; existem realidades cuja identidade pertence a padrões, processos e organizações.

Podemos perguntar então se o Eu pertence a esta categoria. Em vez de procurar uma pequena entidade permanente, talvez devamos procurar uma organização capaz

de manter continuidade corporal, memória, perspectiva, agência, relações sociais e modelos de si própria através da mudança.

Thomas Metzinger desenvolveu, entre outras propostas, a noção de *self-model*: o organismo constrói uma representação integrada de si próprio e, normalmente, não experiencia essa representação como uma representação, mas simplesmente como «ser alguém». A teoria é uma proposta filosófica influente, não uma explicação consensual definitiva, mas ajuda a deslocar a pergunta do proprietário escondido para os mecanismos que produzem uma experiência de pertença e perspectiva.

Uma pintura em perspectiva pode aproximar-nos dessa ideia. A profundidade representada não é uma cavidade física aberta dentro da tela; linhas, contraste e escala produzem uma organização visual experimentada como espaço, e saber intelectualmente que o suporte é plano não elimina a profundidade percebida.

A palavra *modelo* deve, contudo, ser usada com prudência, porque pode sugerir uma pequena maquete dentro da cabeça que precisaria novamente de alguém para a observar. Aqui, modelo significa um conjunto distribuído de relações e previsões que permite ao sistema distinguir corpo, acção, memória e ambiente.

O organismo precisa continuamente de se acompanhar. Para agarrar um copo precisa de informação acerca da posição da mão, para atravessar uma porta estima dimensões do corpo, para localizar dor utiliza mapas corporais e para planear acção prevê consequências; talvez o Eu tenha raízes evolutivas muito anteriores à autobiografia, como maneira de organizar a diferença entre aquilo que pertence ao organismo e aquilo que acontece à sua volta.

Depois surgiram sistemas nervosos capazes de memória mais complexa, aprendizagem social, reconhecimento e antecipação. Em algumas linhagens essas capacidades tornaram-se suficientemente sofisticadas para que um organismo pudesse construir não apenas uma representação do corpo presente, mas também uma história de si mesmo, e a linguagem transformou radicalmente essa possibilidade.

Quando uma criança aprende a dizer «eu», recebe uma ferramenta capaz de comprimir milhares de estados diferentes numa única personagem gramatical. «Eu caí», «eu quero», «eu fui» e «eu serei» ligam passado, presente e futuro através do mesmo pronome, mesmo quando aquilo a que o pronome se refere está continuamente a mudar.

A gramática cria facilmente aparência de substância. Um substantivo parece pedir uma coisa correspondente e o pronome «eu» parece pedir um proprietário estável por detrás de todos os verbos; mas dizemos «o vento sopra» como se houvesse primeiro uma coisa chamada vento e depois uma actividade chamada soprar, quando o vento é precisamente movimento de ar. Talvez, em alguns contextos, «eu penso» nos faça imaginar primeiro uma entidade chamada Eu e depois uma actividade chamada pensamento, embora parte do Eu possa ser inseparável dos próprios processos de pensar, sentir e agir.

Isto não significa que a linguagem tenha inventado integralmente o Eu. Animais sem linguagem humana exibem comportamentos que pressupõem distinções entre corpo e ambiente, agência, memória e relações sociais; aquilo que a linguagem acrescenta é uma poderosa camada narrativa capaz de organizar essas dimensões numa personagem relativamente estável.

Podemos chamar-lhe **Eu narrativo**. É aquilo que permite dizer que nascemos num lugar, escolhemos uma profissão, abandonámos uma ideia e desejamos fazer alguma coisa no próximo ano, transformando enorme quantidade de acontecimentos numa história suficientemente coerente para orientar decisões e relações sociais.

Um romance torna visível a sua força. Uma personagem existe através de centenas de páginas e pode mudar radicalmente entre o primeiro e o último capítulo sem precisar de uma frase invariável repetida em todas as páginas; a continuidade nasce das relações entre acontecimentos.

Há, no entanto, uma diferença decisiva: uma personagem literária foi organizada por um autor, enquanto a nossa narrativa autobiográfica é continuamente construída por um sistema que se encontra dentro da própria história. Somos simultaneamente personagem, narrador parcial e matéria narrativa, como um filme cuja montagem continuasse enquanto está a ser rodado e utilizasse cenas anteriores para decidir aquilo que será filmado a seguir.

Esta circularidade dá ao Eu narrativo efeitos físicos reais. A história que contamos acerca de nós influencia decisões, relações, hábitos e expectativas, e uma interpretação do passado torna-se parte das condições que participam no futuro. Nexo reaparece aqui de modo concreto, porque estados presentes utilizam registos anteriores para reconstruir continuidade e orientar acções.

A ligação deve, ainda assim, permanecer conceptual. Não podemos transformar Nexo numa palavra capaz de explicar tudo; o conceito só terá valor teórico se vier a distinguir relações específicas e permitir formalização que produza consequências verificáveis.

Os casos de amnésia mostram por que o Eu não é simplesmente igual à memória. Uma pessoa pode perder grandes regiões da memória autobiográfica e continuar a possuir percepção corporal, linguagem, hábitos e traços de personalidade; por outro lado, alterações profundas da memória podem transformar radicalmente a experiência de continuidade pessoal.

Uma biblioteca oferece uma imagem imperfeita mas útil. Podemos perder vários volumes e continuar a reconhecer a colecção, perder o catálogo e tornar grandes partes difíceis de recuperar ou perder quase todos os livros e alterar profundamente a continuidade histórica; nenhuma página isolada era «a biblioteca» e, ainda assim, a organização pode ser destruída.

Os estudos de cérebro dividido também complicaram a ideia de unidade. Em alguns doentes com secção do corpo caloso, certas informações apresentadas a um hemisfério podem não ficar disponíveis da mesma forma ao outro, permitindo respostas parcialmente dissociadas; isso não significa simplesmente que apareçam «duas pessoas completas» dentro da cabeça, mas mostra que a unidade depende de mecanismos de comunicação entre sistemas que podem ser parcialmente separados.

Uma composição para dois grupos instrumentais oferece uma analogia. Enquanto ambos ouvem e respondem um ao outro, a peça funciona como unidade; se cada grupo for colocado numa sala isolada mas conservar algumas ligações, podem aparecer organizações parcialmente independentes sem que seja trivial decidir onde termina uma obra e começa outra.

Outras condições neurológicas dissociam componentes do Eu. Na síndrome da mão alienígena, uma mão pode realizar movimentos que a pessoa não experiencia da maneira habitual como voluntariamente controlados; em certas formas de anosognosia, alguém pode não reconhecer adequadamente uma incapacidade corporal evidente. Propriedade, agência e conhecimento do corpo não são, portanto, uma única propriedade indivisível.

A palavra *coligação* pode ser útil desde que não sugira pequenos agentes conscientes dentro do cérebro. Memória, representação corporal, agência, perspectiva, emoção, linguagem e relação social podem contribuir para aquilo que quotidianamente comprimimos numa única palavra, e a unidade resultante pode ser robusta sem exigir um núcleo material adicional.

O paradoxo do navio de Teseu oferece uma versão clássica do problema. Se tábuas de um navio são substituídas uma a uma até nenhuma original permanecer, continua a ser o mesmo navio? O corpo humano torna o paradoxo menos abstracto porque matéria e organização mudam continuamente e, ainda assim, preservamos identidade.

Talvez continuidade dependa de uma cadeia sem interrupção relevante de transformações. Um rio permanece identificável porque conserva curso, relações geográficas e história, embora a água esteja sempre a mudar; uma improvisação conserva identidade porque cada som modifica a situação seguinte e mantém activo o passado da execução.

É útil distinguir, portanto, pelo menos três dimensões sem fingir que são caixas isoladas: um **Eu corporal**, relacionado com propriedade, perspectiva e regulação; um **Eu agente**, relacionado com autoria e acção; e um **Eu narrativo**, relacionado com memória, linguagem e história pessoal. Estas dimensões interagem continuamente e nenhuma precisa de constituir uma substância definitiva.

> **Princ□pio da Continuidade Relacional do Eu**
> Aquilo a que chamamos Eu poderá corresponder a uma organização dinâmica que integra

> corpo, perspectiva, agência, memória e narrativa através do tempo. A sua realidade não exige a existência de um núcleo imutável separado desses processos; pode residir precisamente na continuidade das relações que os mantêm ligados através da mudança.

Esta hipótese permite responder à pergunta do título sem escolher entre dois extremos. Se por Eu entendermos uma entidade simples, permanente, indivisível e localizada algures atrás da experiência, a Ciência não encontrou essa entidade; se entendermos uma organização real capaz de manter um corpo, construir perspectiva, agir, recordar, antecipar e relacionar diferentes momentos numa história, há boas razões para dizer que o Eu existe como processo.

Uma tempestade também existe como processo. Podemos dar-lhe nome, acompanhar trajectória, medir intensidade e prever aproximadamente aquilo que fará, embora as moléculas que a constituem entrem e saiam; uma sinfonia existe como organização temporal, uma cidade apesar de substituir edifícios e habitantes e uma língua apesar de nenhum falante possuir todas as palavras.

Talvez tenhamos confundido durante demasiado tempo realidade com substância. Compreender uma pessoa como história relacional não torna sofrimento, responsabilidade, amizade ou morte ilusões, da mesma maneira que uma música não perde valor quando percebemos que não existe uma entidade chamada «música» escondida entre as notas.

O Eu também não precisa de ser completamente autónomo. Parte daquilo que somos foi construída através de outras pessoas: linguagem, gestos, memórias partilhadas, nomes, valores e categorias através das quais nos compreendemos, e uma criança não constrói uma identidade humana isolada do contacto social.

Um músico oferece novamente uma imagem clara. Um improvisador possui estilo próprio, memória, técnica e escolhas reconhecíveis, mas parte desse estilo foi formada por milhares de escutas e encontros; aquilo que parece profundamente pessoal contém vestígios de outros sem deixar por isso de pertencer àquele intérprete.

A memória social reforça ainda mais esta ideia. Outras pessoas recordam acontecimentos que esquecemos, fotografias conservam versões do nosso corpo, documentos registam decisões e objectos mantêm vestígios de acções passadas; uma parte da continuidade biográfica encontra-se distribuída pelo ambiente e pelas relações.

Depois da morte de alguém, fotografias, gravações, cartas, obras, memórias de outras pessoas e consequências de decisões podem permanecer. A pessoa já não existe como organismo consciente, mas relações que produziu continuam a alterar configurações posteriores; uma gravação musical torna isso particularmente evidente porque um gesto produzido por alguém pode continuar a afectar corpos décadas depois sem que o músico tenha regressado.

Esta compreensão não resolve questões metafísicas acerca de alma ou sobrevivência depois da morte. A Ciência investiga relações entre cérebro, corpo, memória e experiência, mas não possui um instrumento capaz de demonstrar ou refutar todas

as concepções metafísicas concebíveis; para o percurso deste livro basta uma conclusão mais restrita: não precisamos de uma substância pessoal imutável para explicar grande parte daquilo que empiricamente reconhecemos como identidade.

A conclusão abre agora um problema quase perigoso. Se um Eu pode ser real sem ser uma coisa simples, talvez o mesmo aconteça com muitas das coisas que povoaram o livro: árvore, montanha, chama, organismo e partícula quântica podem conservar realidade sem corresponder à imagem de pequenas substâncias permanentes.

Uma mesa parece o exemplo mais seguro. Podemos tocá-la, deslocá-la e apontar para os limites, mas ela é feita de átomos, os átomos são estruturas quânticas e a fronteira que parece sólida é mantida por interacções; talvez «coisa» seja menos uma categoria fundamental da realidade do que uma maneira extremamente útil de estabilizar padrões.

Depois de retirarmos um centro fixo ao Eu, chegou o momento de fazer o mesmo teste ao restante Mundo. O próximo capítulo começa por uma pergunta simples que pode desmontar quase tudo aquilo que reconstruímos até aqui: **As Coisas Existem?**

XXIII As Coisas Existem?

Uma coisa pode ser real sem ser fundamental, imóvel ou perfeitamente separada.

Há uma chávena sobre a mesa. Podemos pegá-la, enchê-la de água, deixá-la cair e ouvir o som desagradavelmente definitivo de uma chávena a partir-se no chão; poucas coisas parecem mais seguras do que isto, porque chávena, mesa e mão apresentam-se espontaneamente como unidades diferentes com fronteiras, propriedades e nomes.

A linguagem reforça essa arquitectura. Aprendemos cedo a apontar para uma cadeira, um cão, uma árvore ou uma pedra e a perceber que cada palavra corresponde aproximadamente a uma unidade relativamente estável; seria difícil atravessar um dia normal se tivéssemos de descrever cada cadeira como uma configuração temporária de campos, átomos, moléculas, relações mecânicas e história industrial antes de nos podermos sentar.

A categoria de coisa funciona extraordinariamente bem. A pergunta deste capítulo não é se devemos deixar de acreditar em chávenas e tentar atravessar paredes por considerá-las apenas relações; a parede terá uma maneira bastante convincente de responder à experiência. O problema é saber se, ao dizer que uma chávena existe como coisa, descobrimos uma divisão fundamental da realidade ou utilizamos uma escala e uma maneira de organizar aquilo que encontramos.

Olhemos para a chávena aproximando imaginariamente a câmara. À distância vemos superfície lisa; com lupa surgem defeitos e irregularidades; numa escala microscópica aparecem grãos, poros e estruturas que já não se parecem com aquilo que a mão experimenta, e continuando a aproximação entramos no território molecular e atómico, onde a imagem quotidiana de objecto compacto deixa de servir.

A chávena não desapareceu; «chávena» é uma descrição adequada numa determinada escala e inadequada para muitas perguntas noutras escalas. O cinema oferece uma analogia imediata: no ecrã vemos o rosto contínuo de uma actriz, aproximamo-nos e descobrimos pixels, depois a estrutura física do ecrã e os mecanismos electrónicos; nenhuma dessas descobertas demonstra que o rosto não aparecia no filme.

A Física estatística utiliza frequentemente descrições por grão mais grosso, ou *coarse-graining*, para agrupar enormes quantidades de informação microscópica em propriedades macroscópicas como temperatura, pressão ou densidade. Um quadro oferece versão visual semelhante: à distância vemos rosto, de perto pinceladas e ainda

mais perto pigmentos e irregularidades da tela, sem que uma única distância tenha direito exclusivo à verdade.

A pergunta decide frequentemente a escala relevante. Um conservador interessado numa fissura precisa de pigmento e suporte; quem pergunta quem está representado no retrato talvez não precise da química da tinta. A mesma realidade suporta diferentes unidades de descrição, e talvez uma coisa seja, em parte, uma unidade que permanece suficientemente estável para ser tratada como conjunto numa determinada escala.

Uma nuvem torna a hipótese evidente. Conseguimos apontar para «aquela nuvem» durante minutos, embora gotículas evaporem, outras se formem, o vento altere a forma e a fronteira nunca seja perfeitamente definida; ainda assim, seria estranho concluir que nuvens não existem apenas porque não possuem uma parede molecular exacta.

Uma montanha coloca questão semelhante. Onde começa exactamente a Serra da Estrela? Podemos traçar limites geológicos, administrativos ou topográficos sem encontrar na rocha uma linha onde esteja escrito «a montanha começa aqui», e a ausência dessa linha não torna a montanha arbitrária.

Poderíamos declarar que uma pequena pedra e metade de uma nuvem formam conjuntamente um objecto chamado *x*, mas inventar um nome não dá a essa combinação a mesma coerência causal ou estabilidade que encontramos numa árvore, num coração ou num planeta. A divisão do Mundo em coisas parece, portanto, não estar completamente determinada por nós nem completamente inscrita em fronteiras absolutas; existem estruturas que favorecem determinadas unidades e organismos que seleccionam escalas e critérios relevantes.

Uma sinfonia torna esta pluralidade natural. Podemos tratá-la como obra, dividi-la em andamentos, secções, frases, notas e componentes acústicas sem exigir que apenas uma dessas unidades seja «a verdadeira coisa musical»; nota, frase e obra podem ser reais em níveis diferentes de organização.

O mesmo acontece com uma floresta. Podemos estudar uma árvore, população, comunidade microbiana do solo ou ecossistema inteiro, e talvez o erro esteja em imaginar que realidade precisa de escolher uma única escala ontológica e declarar as outras meras aparências.

A Física moderna tornou o problema inevitável. Uma mesa parece sólida e contínua, mas a descrição microscópica envolve átomos, electrões, núcleos e campos quânticos; aquilo a que chamamos contacto entre mão e mesa resulta de interacções electromagnéticas e princípios quânticos que impedem a matéria de simplesmente atravessar outra matéria nas condições quotidianas.

Não existe, ao nível microscópico, uma pequena superfície rígida da mão a tocar numa superfície igualmente rígida como duas peças macroscópicas em miniatura. A sensação de solidez emerge de enorme organização de interacções que, à nossa escala,

produz resistência extremamente estável, da mesma maneira que um acorde sustentado pode parecer massa sonora contínua embora resulte de muitos instrumentos e vibrações complexas.

A frase popular «a matéria é quase toda espaço vazio» deve ser tratada com cuidado. A imagem histórica ajuda a perceber a diferença de escala entre núcleos e distribuição electrónica, mas pode sugerir uma caixa vazia com bolinhas dispersas; a descrição quântica não corresponde a esse modelo e o chamado espaço entre componentes não é simplesmente um nada físico.

Descobrir estrutura microscópica não torna a mesa menos mesa; impede apenas que confundamos a experiência macroscópica com fotografia literal do nível fundamental. Uma árvore existe de maneira suficientemente robusta para cair sobre uma casa e crescer em direcção à luz enquanto é também organização de células, tecidos, água, carbono, microrganismos associados e fluxos metabólicos.

A ideia de *emergência* lida precisamente com situações deste género. Uma propriedade emergente aparece num nível de organização e não pertence da mesma maneira a cada componente isolado; temperatura de um gás é propriedade estatística colectiva e melodia existe através da organização temporal entre notas, sem que uma nota isolada contenha a melodia inteira.

Uma tentação reducionista aparece facilmente: se uma árvore é constituída por células, talvez apenas as células existam realmente; se as células são moléculas, apenas moléculas; se moléculas são átomos, descemos novamente até chegar ao nível considerado mais fundamental. Mas ainda não sabemos qual é o nível fundamental definitivo e, mesmo se o descobríssemos, isso não demonstraria que todos os níveis superiores são irreais.

Conhecer as letras de um romance não torna personagens ilusórias enquanto estruturas narrativas, e conhecer a química da tinta de *Dom Quixote* não substitui aquilo que acontece entre Dom Quixote e Sancho Pança. A realidade pode admitir organização sem reservar direito de cidadania ontológica apenas ao nível mais pequeno.

Há, naturalmente, diferenças entre modos de existência. Dom Quixote existe como personagem num sistema simbólico e cultural; uma árvore possui existência física independente da leitura de qualquer romance. Reconhecer pluralidade não significa dissolver todas as formas de existência numa palavra vaga, mas distinguir existência fundamental, emergente, funcional e representacional quando essas categorias ajudam.

Uma onda do mar torna o problema especialmente claro. A onda desloca-se em direcção à praia, mas as mesmas moléculas de água não viajam necessariamente com ela desde o horizonte até à areia; o padrão de movimento propaga-se através de matéria que entra e sai continuamente da estrutura, e ainda assim medimos altura, velocidade e energia da onda e conseguimos prever aproximadamente onde rebentará.

Talvez seja melhor chamar-lhe processo, mas isso não obriga a separar rigidamente coisa e processo. Uma árvore é uma coisa e simultaneamente processo metabólico e histórico, uma pessoa é organismo e continuidade de transformações e uma chama conserva forma reconhecível sem conservar as mesmas moléculas.

A escala temporal também modifica aquilo que nos parece objecto. Uma montanha parece imutável porque uma vida humana é curta comparada com determinados processos geológicos; filmada durante milhões de anos, apareceria tão transitória como uma nuvem, crescendo, erodindo e desaparecendo. O *time-lapse* que transforma plantas imóveis em coreografias pode ser aplicado mentalmente à matéria inteira.

Tradições filosóficas de processo deram prioridade ontológica a acontecimentos, transformações ou relações em vez de substâncias permanentes. Não precisamos de escolher aqui uma escola específica; basta reconhecer que a alternativa «ou existem coisas ou tudo é fluxo» pode ser demasiado rígida, porque uma coisa pode ser precisamente um fluxo suficientemente estável para conservar identidade relevante durante algum intervalo.

> **Princípio da Estabilidade Relacional**
> Aquilo que chamamos uma coisa poderá corresponder a uma organização relativamente estável de relações que conserva continuidade suficiente para funcionar como unidade numa determinada escala. Isso não transforma os objectos em meras ficções: significa apenas que a sua identidade pode residir na organização e na persistência das relações, e não numa substância imutável escondida por baixo de todas as mudanças.

Esta formulação aproxima-se do princípio utilizado para o Eu. Uma pessoa e uma chávena são sistemas radicalmente diferentes, mas ambas podem conservar identidade através de algumas mudanças; uma chávena pode perder moléculas e ganhar pequena fissura, enquanto uma pilha de pó cerâmico já não é normalmente tratada como a mesma chávena.

Um instrumento musical oferece a versão clássica do problema. Substituímos uma corda, depois outra, trastes, captadores e talvez parte da madeira e começamos a perguntar se continua a ser o mesmo instrumento; a resposta envolve matéria, continuidade histórica, forma, função e convenções, e não um átomo secreto encarregado da identidade.

Nem todas as coisas possuem o mesmo grau de coesão. Uma pedra possui forças internas que mantêm a estrutura, uma nuvem é difusa, um rebanho pode ser unidade comportamental sem membrana comum e uma nação é unidade social sustentada por instituições, território e convenções; talvez «coisa» seja uma categoria muito geral para conjuntos de relações suficientemente estáveis ou relevantes.

A percepção participa desta divisão. O sistema visual agrupa contornos, movimentos e superfícies em objectos, e os princípios estudados pela psicologia da Gestalt mostram como proximidade, continuidade e semelhança contribuem para organizar

a cena; o cérebro não inventa arbitrariamente os objectos, mas participa na segmentação do ambiente.

Uma pintura explora há séculos a instabilidade entre figura e fundo. Duas regiões de tinta podem ser interpretadas como objectos diferentes conforme o contorno e a organização, e isso lembra-nos que há pelo menos duas perguntas: que estruturas possuem coesão física e de que maneira um organismo as divide em unidades perceptivas.

Uma sombra possui forma e movimento sem ser objecto material independente, e um arco-íris parece ocupar uma região do céu embora dependa da relação geométrica entre luz, gotas de água e observador. Se «existir» significar ser um corpo material colorido colocado naquela posição independentemente das condições, o arco-íris não existe dessa maneira; se significar ser um fenómeno físico real produzido por refracção, reflexão e dispersão que gera experiências visuais em posições específicas, existe perfeitamente.

A pergunta muda porque o tipo de entidade mudou. Nem tudo o que vemos como unidade precisa de ser uma substância delimitada, e esta conclusão prepara uma dificuldade quântica: o electrão, na teoria quântica de campos, não é uma pequena esfera clássica, mas pode ser real sem possuir a objectualidade de uma maçã.

Uma nota musical oferece novamente aproximação. Podemos localizar tecla, corda e martelo, mas perguntar «em que ponto exacto da sala está a nota?» exige compreender um padrão de vibração distribuído no espaço e no tempo; a nota não se torna irreal por não caber na imagem de um objecto compacto.

O nosso vocabulário quotidiano foi construído para pedras, animais, frutos e ferramentas, não para estados quânticos. As mãos foram seleccionadas para agarrar coisas de tamanho intermédio e os olhos para detectar certas escalas e frequências; não é surpreendente que a Física microscópica viole parte da intuição ontológica construída nesse ambiente.

Aqui surge uma alternativa filosófica importante: talvez relações sejam mais fundamentais do que objectos. Vimos várias versões desta possibilidade ao longo do livro — distância entre entidades, geometria emergindo de relações, entrelaçamento quântico, acordes, organismos — e o realismo estrutural explora, em diferentes formas, a hipótese de que estrutura e relações possam ter prioridade sobre uma imagem de objectos independentes com propriedades intrínsecas completas.

Uma dança oferece a analogia mais clara. Temos bailarinos reais, mas uma diagonal, uma formação circular ou uma relação de espelho não pertence isoladamente a nenhum corpo; a forma aparece na organização entre eles. Se a própria identidade de cada posição só pudesse ser definida por relações com as outras, a coreografia começaria a preceder conceptualmente a localização isolada dos bailarinos.

Ω foi introduzido para explorar algo deste género sem o declarar como facto. Se espaço, tempo e energia não forem categorias fundamentais, não podemos começar com pequenas coisas já colocadas dentro de uma caixa espacial e esperar que Nexo,

Trama e Tensão apareçam depois; talvez sejam as próprias relações que permitam que unidades estáveis se diferenciem.

> **Hip□tese da Objectualidade Emergente**
> Em Ω, a distinção entre coisas separadas poderá não ser fundamental. Aquilo que numa descrição física posterior aparece como objecto poderá emergir quando determinadas estruturas relacionais adquirem estabilidade, distinguibilidade e capacidade de conservar relações próprias através de outras transformações.

A palavra *distinguibilidade* é importante porque uma coisa precisa, de algum modo, de poder ser distinguida daquilo que a rodeia, mesmo que a fronteira não seja absolutamente nítida; *estabilidade* também importa, porque objectualidade costuma exigir alguma persistência, e a expressão *relações próprias* procura impedir que qualquer combinação arbitrária de elementos seja elevada a objecto integrado. Uma orquestra torna a distinção clara. Podemos formar uma lista com o terceiro violinista, metade da partitura da trompa e uma cadeira da segunda fila; a lista é legítima, mas não constitui por isso uma unidade musicalmente integrada. Certas estruturas possuem coesão e poder explicativo muito maiores do que outras.

A Física de partículas oferece um exemplo curioso. Um protão possui organização estável de quarks e gluões, mas esses constituintes não se comportam como três bolas fechadas dentro de um saco; a identidade do protão depende da dinâmica colectiva da interacção forte, e o todo não é simplesmente recipiente com peças.

Isto leva à pergunta de quem decide onde termina uma unidade e começa outra. Não precisamos de responder «o observador», porque uma estrela se mantém como sistema gravitacional sem astrónomos, uma célula regula membrana sem biólogos e uma galáxia possui organização muito antes de alguém a fotografar; o observador reconhece unidades e selecciona descrições, não precisa de fabricar a estrutura física do nada.

Ao mesmo tempo, classificações dependem de interesses e teorias. Uma floresta pode ser tratada como ecossistema, conjunto de árvores, reserva de carbono ou paisagem estética; nenhuma descrição cria a matéria, mas cada uma selecciona relações diferentes, e a Ciência faz continuamente esse trabalho de modelização.

Um mapa ferroviário é a imagem mais simples. Uma estação real possui edifícios, escadas, lojas, temperatura, ruído e milhares de propriedades, mas o mapa conserva aquilo que importa para navegar na rede; não é falso por omitir a cor das paredes, e o perigo começa apenas quando confundimos o que o mapa omitiu com aquilo que não existe.

A filosofia da mereologia estuda relações entre partes e todos. Dois átomos ligados podem formar molécula, muitas moléculas uma gota e muitas gotas uma nuvem; mas colocar uma chávena sobre um livro não cria necessariamente uma unidade profunda chamada «chávena-livro». Graus de integração podem, em alguns casos, ser mais úteis do que uma alternativa binária entre coisa e não-coisa.

A linguagem comprime toda essa variedade na mesma gramática: uma pedra, uma tempestade, uma floresta, uma orquestra. Substantivos transformam processos em coisas com enorme facilidade, e dizemos chuva, vento, vida, consciência, tempo e energia como se cada palavra exigisse uma entidade correspondente; em alguns casos, um verbo seria metaforicamente mais adequado, embora não possamos falar assim o tempo todo sem destruir a linguagem.

A arte conhece bem a diferença entre objecto e acontecimento. Uma pintura pode permanecer fisicamente durante séculos, uma performance existe através de uma sequência de acções, uma instalação depende do espaço e uma obra sonora pode existir em múltiplas realizações; seria estranho declarar que apenas a pintura é real porque pode ser guardada numa caixa.

Daniel Dennett utilizou a expressão *real patterns* para defender que um padrão pode ser considerado real quando permite compressão e previsão melhores do que uma descrição que o ignore.[1] Sem adoptar toda a filosofia associada à expressão, podemos conservar a intuição: ver um furacão como furacão permite prever trajectória e efeitos de maneira que acompanhar moléculas individuais de ar seria praticamente impossível.

Tratar algo como objecto pode ser precisamente uma maneira de preservar certas diferenças enquanto ignoramos muitas outras. Quando dizemos «esta árvore», comprimimos milhões de detalhes num padrão estável suficientemente útil para reconhecer continuidade, prever comportamento e estabelecer relações, e fazemos algo semelhante connosco quando dizemos «eu».

Nexo, Trama e Tensão aproximam-se novamente. Nexo permite pensar continuidade e registos, Trama a organização relacional dentro da qual proximidade e estrutura aparecem e Tensão diferenças de compatibilidade entre configurações; talvez uma coisa seja uma região relativamente estável dessa organização, embora esta hipótese só se torne Física se explicar quantitativamente por que aparecem precisamente as entidades conhecidas.

Não basta dizer «tudo é relação», porque uma palavra não substitui uma teoria. Qualquer proposta fundamental precisa de regressar ao Mundo que sabemos medir: se disser que a chávena não existe, terá de explicar por que cai, parte, contém líquido e conserva forma, e se disser que o electrão não é uma coisa clássica, terá de reproduzir todas as propriedades experimentais dos electrões.

[1] Daniel C. Dennett, «Real Patterns», *The Journal of Philosophy* 88 (1991): 27–51. Para realismo estrutural e emergência, ver James Ladyman, «Structural Realism», *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, revisão de 2023.

Princípio da Pluralidade Ontológica
A realidade poderá admitir unidades, processos e relações com diferentes formas de estabilidade e em diferentes escalas. Reconhecer que uma coisa é emergente, relacional ou dependente de escala não equivale a negar a sua existência; significa esclarecer o modo específico como essa existência se organiza.

Esta formulação impede também um relativismo fácil. Não podemos decidir por conveniência que qualquer coisa existe da maneira que desejarmos, porque as estruturas resistem às nossas descrições: podemos chamar cadeira a uma nuvem, mas ela continuará sem nos sustentar, e uma pedra pode ser símbolo de liberdade enquanto conserva massa, composição e propriedades mecânicas independentes dessa interpretação.

A resistência talvez seja uma das melhores pistas de que não estamos simplesmente a inventar a realidade. Uma partitura permite interpretações diferentes, mas nem qualquer sequência de sons continua a ser execução daquela obra; uma pintura suporta leituras distintas, mas a tela possui determinadas marcas e não outras. Interpretação possui liberdade dentro de constrangimentos, e a Ciência procura precisamente esses constrangimentos.

Chegamos assim à dificuldade final. Ao longo de vinte e três capítulos utilizámos palavras, modelos, analogias, equações, teorias e imagens para tentar compreender o Mundo, mas nunca tocámos na realidade sem alguma descrição; quando dizemos electrão, árvore, espaço, tempo, causa, vida ou Eu, já transportamos categorias.

Uma fotografia mostra uma montanha mas não é a montanha, um mapa representa uma cidade mas não contém ruas onde caminhar e uma partitura descreve relações musicais sem ser o som de uma execução. A dificuldade começa quando percebemos que todo o acesso ao Mundo acontece através de alguma relação, medição, percepção ou linguagem e que não possuímos uma janela exterior à realidade a partir da qual possamos comparar directamente «o Mundo em si» com «a nossa representação do Mundo».

Somos uma parte do próprio território tentando desenhar o mapa. Depois de desconfiarmos de espaço, tempo, energia, partículas, causalidade, leis, percepção, corpo, Eu e coisas, precisamos finalmente de desconfiar também da ferramenta com que fizemos todas essas perguntas: **O Mundo ou a Descrição do Mundo?**

XXIV O Mundo ou a Descrição do Mundo?

O mapa pertence ao território, mas nunca é o território inteiro.

Abrimos um mapa de Lisboa e encontramos o Tejo, avenidas, jardins, estações, ruas e praças. O mapa pode ser extraordinariamente preciso, permitir-nos atravessar a cidade sem nos perdermos e indicar distâncias com erro de poucos metros, mas ninguém tentaria mergulhar no azul que representa o rio ou sentar-se sobre o pequeno rectângulo verde que representa um jardim; ele funciona precisamente porque não é a cidade e selecciona algumas relações enquanto ignora quase tudo o resto.

Podemos fazer mapas muito diferentes do mesmo lugar. Um mapa rodoviário mostra estradas, um geológico tipos de rocha, um meteorológico pressão e temperatura, um político introduz fronteiras e um mapa do metro quase destrói a geometria real para conservar apenas relações necessárias entre estações; perguntar qual deles é o único mapa verdadeiro sem dizer primeiro o que queremos saber seria uma pergunta mal formulada.

A Ciência realiza operação semelhante numa escala incomparavelmente mais sofisticada. Constrói representações que seleccionam propriedades do Mundo, transformam-nas em grandezas, estabelecem relações matemáticas e permitem explicar ou prever acontecimentos; uma teoria pode, nesse sentido, ser extraordinariamente verdadeira acerca daquilo que descreve sem constituir uma cópia integral da realidade.

Uma equação de Einstein descreve relações do espaço-tempo com precisão espectacular, mas não possui quatro dimensões físicas nem curva a folha onde está escrita. Uma equação não é o fenómeno e, ainda assim, pode captar uma estrutura suficientemente profunda para prever trajectórias, dilatação temporal ou propagação de ondas gravitacionais.

Ao longo deste livro utilizámos continuamente representações desse género. Dissemos que um electrão pode ser descrito como excitação de um campo, que gravidade pode ser entendida como geometria do espaço-tempo, que um gás possui temperatura e que informação pode ser tratada relacionalmente; em nenhum caso deveríamos confundir palavra, equação ou diagrama com aquilo que existe fisicamente.

Uma partitura fornece talvez a analogia mais próxima. Pode indicar alturas, ritmos, articulações, dinâmicas e relações estruturais com enorme precisão, mas não contém timbre real, ar em movimento, reverberação, respiração ou experiência auditiva; mesmo assim, não é um desenho arbitrário, porque preserva relações suficientes para que músicos produzam execuções reconhecivelmente ligadas à obra.

Podemos alterar a notação sem alterar necessariamente a música. Uma mesma altura pode ser escrita em sistemas diferentes, uma peça transcrita para outra formação e uma gravação digital representar som por números inteiramente diferentes das manchas negras de uma pauta; aquilo que atravessa as representações são algumas relações estruturais, não a aparência material da inscrição.

Talvez as teorias científicas funcionem parcialmente dessa maneira. Diferentes formalismos podem representar aspectos semelhantes da mesma realidade e uma mudança de linguagem matemática não implica automaticamente mudança do Mundo; a história da Física oferece casos em que descrições distintas se mostram equivalentes dentro de determinados domínios.

Isto introduz uma pergunta desconfortável: quando uma teoria funciona extraordinariamente bem, estamos a descobrir estrutura do Mundo ou apenas uma maneira eficiente de organizar observações? Uma resposta instrumentalista consideraria as teorias sobretudo ferramentas de previsão e trataria com cautela perguntas acerca da existência literal de entidades não observáveis, enquanto diferentes formas de realismo científico sustentam que o enorme sucesso das melhores teorias oferece razões para acreditar que captam, pelo menos aproximadamente, aspectos reais de um Mundo independente de nós.[1]

A palavra *aproximadamente* é decisiva. Newton está errado se interpretado como descrição final da gravidade em todas as condições, mas continua extraordinariamente certo num vasto domínio; pontes não caem porque apareceu Einstein e sondas não abandonam a mecânica clássica sempre que corrigimos os seus movimentos.

Uma pintura em perspectiva oferece uma imagem útil. Um desenho pode representar correctamente relações espaciais suficientes para reconhecermos uma praça sem possuir a tridimensionalidade real da praça; a representação é simultaneamente incompleta e informativa.

O problema torna-se mais difícil quando diferentes teorias explicam os mesmos dados de maneiras conceptualmente distintas. Na Mecânica Quântica, interpretações diferentes podem concordar nas previsões experimentais disponíveis e discordar

[1] Bas C. van Fraassen, *The Scientific Image* (Oxford University Press, 1980), formula uma alternativa empirista influente ao realismo; John Worrall, «Structural Realism: The Best of Both Worlds?», *Dialectica* 43 (1989): 99–124, propõe uma defesa clássica do realismo estrutural. Nenhuma destas posições é tratada aqui como consenso obrigatório.

acerca daquilo que existe ou do que acontece durante uma medição; os dados impõem constrangimentos fortes, mas podem não escolher imediatamente uma única ontologia.

É como receber uma gravação feita atrás de uma parede e tentar reconstruir os instrumentos que a produziram. Determinados espectros e ataques excluem muitas hipóteses, mas formações diferentes podem produzir sinais semelhantes para os microfones disponíveis; melhorar a medição pode resolver a dúvida ou mostrar que a distinção entre descrições não tinha consequências observáveis naquele domínio.

A filosofia da ciência chama *subdeterminação* a situações em que a evidência disponível pode não ser suficiente para escolher entre descrições teoricamente diferentes. Isso não significa que qualquer teoria seja tão boa como qualquer outra, porque coerência, poder explicativo, simplicidade, compatibilidade com outras áreas e capacidade de gerar novas previsões continuam a impor critérios exigentes.

Uma pintura volta a ajudar. Duas interpretações podem discordar acerca do significado de uma figura ao fundo, mas nenhuma interpretação séria pode decidir que o quadro não possui a figura quando a tela a mostra claramente; abertura interpretativa existe dentro de resistências materiais.

A realidade parece possuir precisamente essa capacidade de resistir. Podemos desejar que uma pedra não caia quando a largamos, mas o desejo não altera a aceleração; podemos construir uma teoria elegante que contradiga observações e a Natureza não mostrará delicadeza perante a nossa elegância.

A surpresa experimental mostra uma assimetria entre descrição e realidade. Podemos modificar o modelo quando ele falha, mas não conseguimos exigir que o Mundo modifique o resultado para preservar o modelo, e essa resistência constitui uma das melhores razões para continuar a falar de uma realidade independente das descrições.

Ao mesmo tempo, nunca encontramos esse Mundo através de uma percepção completamente nua. Um telescópio selecciona frequências, um microscópio transforma escalas, um detector converte interacções invisíveis em sinais eléctricos e os nossos olhos respondem apenas a uma pequena região do espectro; a observação científica não elimina mediações, mas torna-as controláveis, comparáveis e explicitáveis.

Um estúdio de gravação fornece uma imagem clara. Microfones de fita, condensador e dinâmico diante do mesmo instrumento não produzem exactamente o mesmo sinal; cada dispositivo responde de maneira diferente a frequências, transientes e direcções, mas isso não significa que não tenha existido uma guitarra independente dos microfones. Conhecendo a resposta dos dispositivos e comparando registos podemos reconstruir propriedades da fonte que nenhum microfone individual oferece de forma absolutamente neutra.

A objectividade científica pode ser compreendida precisamente assim. Não exige um observador sem corpo, instrumentos ou posição; exige métodos através dos quais

perspectivas diferentes possam ser relacionadas, corrigidas e submetidas a testes comuns.

A Relatividade fornece um exemplo poderoso. Observadores em movimento relativo podem medir durações diferentes sem que um deles esteja simplesmente errado, e as transformações entre medições revelam uma estrutura comum que não pertence exclusivamente a nenhuma perspectiva particular; objectividade pode significar compreensão das relações entre perspectivas em vez de ausência de perspectiva.

Uma composição multicanal oferece uma analogia. Um ouvinte junto de uma coluna escuta mistura diferente daquele que está no centro da sala; se conhecermos disposição dos altifalantes e acústica, compreendemos por que as experiências diferem sem concluir que a obra é apenas uma invenção subjectiva de cada ouvinte.

É precisamente a estrutura que organiza diferenças entre descrições que versões do **realismo estrutural** procuram conservar. Mesmo quando imagens ontológicas mudam, algumas relações matemáticas atravessam revoluções científicas, e essa intuição encaixa naturalmente no percurso deste livro sem constituir prova de Ω, Nexo, Trama ou Tensão.

A afinidade é apenas conceptual. Se a Ciência consegue conservar relações quando a imagem das entidades muda, talvez uma teoria fundamental deva preocupar-se menos com a descoberta da última «coisa» e mais com a estrutura que permite que coisas, espaço, tempo e causalidade apareçam.

A história do éter luminífero mostra como ontologias podem desaparecer enquanto parte da estrutura teórica sobrevive transformada. Durante o século XIX, muitos cientistas imaginavam ondas electromagnéticas propagando-se num meio material análogo ao ar do som; a Relatividade Especial tornou desnecessário esse éter na forma clássica em que era concebido, e aquilo que parecia mobiliário inevitável do Mundo saiu de cena.

Talvez uma parte da história da Ciência seja precisamente a história da destruição progressiva das metáforas que confundimos com a realidade. Tempo universal, espaço absoluto, partículas como pequenas esferas e outras imagens funcionaram extraordinariamente bem até encontrarmos regimes onde deixaram de funcionar literalmente.

Isso não significa que devamos abandonar metáforas. Este livro utilizou maçãs, salas, partituras, filmes, pinturas, danças, guitarras, cozinhas e mapas para tornar ideias difíceis acessíveis; o problema começa apenas quando esquecemos que atravessámos uma ponte e passamos a confundi-la com o lugar onde chegámos.

A folha de borracha utilizada para explicar curvatura do espaço-tempo é um bom exemplo. Ajuda a imaginar geometria curva, mas parece exigir uma gravidade exterior que faz a bola afundar o tecido e representa duas dimensões mergulhadas num espaço tridimensional; a analogia ensina enquanto sabemos onde falha.

Uma teoria científica é muito mais do que uma analogia, porque possui Matemática, previsões e testes, mas nenhuma teoria deve ser automaticamente transformada

numa fotografia literal de tudo aquilo que existe. A própria linguagem experimental recorda que fazemos perguntas através de relações concretas entre sistema, aparelho e procedimento.

Isto não concede à consciência poder de decidir arbitrariamente o resultado. A escolha experimental determina que relação investigamos e que tipos de resultado podem ser obtidos, mas as regularidades físicas não passam a obedecer aos nossos desejos; o cientista escolhe a pergunta, não a resposta da Natureza.

Talvez esta seja uma maneira simples de escapar à oposição entre realismo ingénuo e relativismo. Não recebemos uma fotografia neutra do Mundo pronta em todas as suas propriedades, mas também não fabricamos livremente aquilo que encontramos; existe uma negociação assimétrica entre pergunta e resistência.

Uma improvisação musical torna a ideia intuitiva. Um guitarrista escolhe uma nota e esse gesto modifica a situação do conjunto, convidando respostas possíveis, mas não determina completamente aquilo que outro músico fará; uma experiência científica é evidentemente diferente porque os fenómenos não são músicos conscientes, mas a analogia preserva a ideia de que interagir com um sistema pode ser condição para obter informação sem transformar o sistema numa invenção do investigador.

A percepção animal reforça esta visão. A abelha detecta ultravioleta, o morcego utiliza ecos e o cão acede a uma paisagem química quase invisível para nós, mas os mundos perceptivos sobrepõem-se porque dependem de uma realidade comum; a flor que reflecte ultravioleta e luz visível é a mesma estrutura física participando em relações diferentes.

Podemos imaginar uma mesma partitura executada por formações radicalmente diferentes. Quarteto de cordas, ensemble electrónico e coro revelam propriedades distintas do material, mas certas relações permanecem reconhecíveis; nenhuma execução é a partitura inteira e nenhuma precisa, por isso, de ser falsa.

Talvez a nossa Ciência seja outra forma de instrumentação do Mundo. Cada teoria selecciona grandezas, relações e escalas, cada instrumento converte acontecimentos em sinais e cada linguagem matemática torna algumas estruturas extraordinariamente claras deixando outras no fundo; algumas teorias, contudo, desafinam tão profundamente perante a experiência que precisam de ser abandonadas.

Podemos agora regressar a Ω. Desde o primeiro capítulo tratámo-lo como nome provisório para uma estrutura fundamental desconhecida, tentando imaginar aquilo que poderia existir sem pressupor espaço, tempo e energia; mas até a letra grega contém um risco, porque ao dar um nome desenhamos imediatamente uma pequena coisa mental.

Ω pode começar a parecer um lugar anterior ao Universo, uma camada colocada por baixo da Física ou uma substância misteriosa. Nada disso foi demonstrado e algumas dessas imagens contradizem precisamente o que pretendíamos evitar; o símbolo deve permanecer menos como resposta e mais como marca daquilo que ainda não sabemos descrever.

Princípio da Provisoriedade de Ω
Ω não designa uma substância, lugar ou entidade cuja existência tenha sido estabelecida. É um símbolo provisório para o domínio ainda desconhecido a partir do qual este livro explora a possibilidade de emergirem categorias como espaço, tempo, energia, objectos e leis; qualquer teoria futura capaz de explicar melhor essas relações poderá reformular ou eliminar o próprio conceito.

Nexo, Trama e Tensão precisam da mesma disciplina. São ferramentas conceptuais para separar orientação relacional, organização geométrica e compatibilidade entre configurações sem pressupor imediatamente tempo, espaço e energia; podem revelar-se úteis, necessitar de reformulação ou estar simplesmente erradas.

A beleza conceptual possui capacidade perigosa de sedução. Uma estrutura simétrica, uma equação curta ou uma ideia que liga problemas diferentes produz prazer intelectual semelhante ao de um acorde inesperado que reorganiza retrospectivamente uma composição; mas a Natureza não possui obrigação estética para connosco e beleza continua a ser guia, não prova.

Um compositor pode apaixonar-se por uma passagem que simplesmente não funciona dentro da obra, e a decisão difícil é reconhecer que beleza local não justifica a estrutura inteira. A Ciência possui disciplina semelhante: até a hipótese mais elegante deve poder ser abandonada, e isso inclui os conceitos propostos neste livro.

Se uma experiência futura mostrar que espaço ou tempo possuem estrutura fundamental incompatível com aquilo que explorámos, a experiência deve vencer. Se uma teoria melhor demonstrar que as nossas hipóteses relacionais estão mal formuladas, elas terão de desaparecer; uma nova visão do Mundo só merece o nome se aceitar ser corrigida pelo Mundo.

Princípio da Realidade Resistente
As descrições científicas são construções humanas, históricas e revisáveis, mas não são livres para produzir qualquer resultado: devem responder a uma realidade capaz de contrariar expectativas e seleccionar entre modelos. Conhecer não significa possuir uma cópia absoluta do Mundo, mas construir descrições progressivamente mais adequadas às relações que o próprio Mundo permite observar, medir e transformar.

Esta posição não oferece o conforto de um acesso absoluto à realidade, mas também não nos abandona num relativismo onde tudo depende apenas do ponto de vista. Um mapa pode ser incompleto e levar-nos exactamente ao destino, uma partitura omitir milhares de propriedades acústicas e conservar relações essenciais e uma teoria ser aproximada e prever um eclipse com extraordinária precisão.

A imperfeição da representação não elimina a possibilidade de verdade. Talvez devamos apenas tornar a palavra menos semelhante a uma fotografia perfeita e mais semelhante a uma relação cada vez mais resistente entre descrição e Mundo.

Uma fotografia oferece um último paradoxo. Aumentamos a resolução e, em vez de chegar simplesmente a uma imagem final, encontramos novos níveis de estrutura: poros, moléculas, átomos, campos; cada aumento pode exigir uma linguagem diferente e talvez a realidade não possua uma resolução final concebível nos termos das nossas categorias actuais.

Mesmo que exista um nível fundamental, não sabemos se se parecerá com alguma imagem que o cérebro humano consiga visualizar. A Matemática pode permitir acesso onde a imaginação espacial falha, e compreender não precisa de significar visualizar.

Esta conclusão liga-se ao primeiro capítulo. Ali tentámos imaginar um domínio sem espaço, tempo e energia e descobrimos imediatamente que palavras como «antes», «onde» e «mudança» introduziam aquilo que queríamos suspender; vinte e três capítulos depois, a dificuldade regressa de maneira mais profunda.

Talvez as categorias fundamentais do Mundo sejam tão diferentes das nossas que qualquer descrição inicial precise de começar por metáforas imperfeitas. Mas estar preso à linguagem não significa ser incapaz de conhecer, porque inventamos Matemática, experiências, instrumentos e conceitos que ultrapassam progressivamente a intuição que os criou.

Os olhos não vêem ondas gravitacionais, mas construímos detectores que as registam; a imaginação não representa facilmente espaços de muitas dimensões, mas a Matemática trabalha com eles de maneira precisa. Uma parte do Universo produziu organismos capazes de construir instrumentos que revelam aspectos do Universo inacessíveis aos próprios sentidos desses organismos.

Não estamos fora do Mundo tentando conhecê-lo. Somos matéria organizada dentro dele, utilizando relações físicas para descobrir outras relações físicas: um telescópio é matéria interagindo com luz, um cérebro é matéria construindo modelos e uma equação escrita em papel é uma configuração física produzida por um organismo que tenta conservar relações encontradas noutras configurações.

A separação entre observador e Mundo torna-se assim menos absoluta sem que descrição e descrito se confundam. O mapa continua diferente do território, mas o mapa também pertence ao território; uma folha com o mapa de Lisboa encontra-se fisicamente em algum lugar do Universo e os símbolos não flutuam fora da realidade.

A situação torna-se ainda mais estranha quando percebemos que o Mundo contém mapas de si próprio. Alguns são genes, cicatrizes, fósseis e ondas de luz que conservam informação sem consciência; outros são cérebros, teorias, fotografias, partituras e equações produzidas por organismos capazes de reconhecer que estão a construir representações.

Nexo adquire aqui uma última forma concreta. Registos permitem que algumas regiões do Mundo contenham informação reconstruível acerca de outras, e a Ciência transforma esse mecanismo numa prática deliberada ao construir detectores para que o Universo deixe marcas que depois conseguimos interpretar.

Um interferómetro regista a passagem de uma onda gravitacional, um espectroscópio conserva informação acerca da composição de uma estrela e uma fotografia regista luz reflectida por um rosto. O conhecimento não precisa de sair da realidade porque é uma das coisas que a realidade começou a fazer através de determinados organismos.

Isto altera discretamente a oposição do título. Talvez não tenhamos de escolher entre **o Mundo** e **a descri□□o do Mundo** como dois reinos separados; a descrição é produzida dentro do próprio Mundo e, ao mesmo tempo, nunca esgota aquilo que descreve.

Uma música pode conter uma citação de si própria sem que essa citação seja a obra inteira, e um filme pode mostrar uma câmara sem que a imagem contenha todos os mecanismos que a produziram. O conhecimento humano possui algo dessa recursividade: uma pequena configuração da realidade constrói representações parciais da totalidade à qual pertence.

Não precisamos de transformar esta imagem em misticismo. Tudo o que ela exige é matéria organizada, percepção, memória, linguagem, instrumentos e relações causais suficientes para que determinados estados conservem informação acerca de outros; a estranheza já é suficientemente grande sem acrescentarmos magia.

Chegamos assim ao limite natural da viagem. Começámos por retirar espaço, depois desconfiámos de tempo e energia; desmontámos partículas, vazio e gravidade; interrogámos dimensões, causalidade e informação; perguntámos de onde vêm as leis e se poderia existir mais do que um Universo; retiramos ao observador o privilégio de criar realidade; multiplicámos sentidos, abrimos corpos a outros organismos, procurámos vida, consciência e Eu e acabámos por questionar aquilo a que chamávamos uma coisa.

Depois de tudo isso, não ficámos sem Mundo. Ficámos sem a certeza de que o Mundo tenha de coincidir com as categorias através das quais aprendemos primeiro a imaginá-lo, e essa diferença talvez seja o verdadeiro resultado do livro.

Não demonstrámos Ω, Nexo, Trama ou Tensão. Utilizámo-los como experiências conceptuais destinadas a testar se conseguimos pensar uma realidade em que algumas categorias fundamentais possam emergir de uma estrutura ainda desconhecida; talvez sobrevivam, talvez desapareçam, e se desaparecerem porque encontrámos uma descrição melhor terão cumprido uma função legítima.

Uma escada não precisa de permanecer no edifício depois de permitir alcançar outro piso, e uma hipótese não precisa de ser eterna para ter sido intelectualmente fértil. Depois de passarmos o livro a retirar apoios — espaço absoluto, tempo universal, matéria sólida, leis exteriores, observador central, corpo fechado, Eu imutável e coisas absolutamente independentes — resta perguntar se ainda existe chão.

Talvez exista, mas não seja uma plataforma imóvel. Talvez o chão seja precisamente a rede de relações que permanece quando deixamos de exigir que a realidade

seja feita de pequenas entidades independentes pousadas dentro de um espaço pronto, ou talvez até essa imagem ainda seja demasiado nossa.

O Epílogo não reconstruirá rapidamente todas as certezas desmontadas. Será antes uma tentativa de olhar para aquilo que resta quando já não exigimos que o Mundo corresponda à arquitectura intuitiva com que começámos: **Depois de Retirarmos o Ch□o**.

Epílogo · Depois de Retirarmos o Chão

Talvez estivéssemos, desde o princípio, sustentados por relações.

Chegámos ao fim depois de passar quase todo o livro a retirar coisas. Retirámos o espaço como recipiente absoluto, o tempo como relógio universal, a energia como substância, a partícula como pequena bola, o vazio como nada, a gravidade como simples puxão, as leis como decretos, o observador como criador do Mundo, os cinco sentidos como inventário completo, a pele como fronteira suficiente, a consciência como sala central e o Eu como pequeno proprietário imóvel escondido dentro de nós. Seria compreensível que, depois desta demolição, procurássemos rapidamente outro chão. Ω poderia transformar-se nessa nova plataforma, Nexo, Trama e Tensão poderiam ocupar os lugares deixados vazios e o livro acabaria com uma teoria suficientemente elegante para que pudéssemos voltar a dormir descansados, mas isso repetiria precisamente o erro que tentámos reconhecer.

Ω não foi introduzido para substituir uma substância antiga por outra nova. Nexo não deve tornar-se tempo com outro nome, Trama não pode ser espaço vestido de linguagem relacional e Tensão não ganha valor se for apenas energia recitada de maneira mais misteriosa; talvez estas palavras sobrevivam a uma formalização futura ou talvez funcionem apenas como andaimes conceptuais que terão de ser desmontados quando alguma coisa melhor estiver construída.

Uma partitura provisória pode conduzir a uma música que já não precisa dela, e um desenho preparatório desaparecer sob as camadas da pintura continuando, apesar disso, a ter participado na obra. O que permanece depois de retirarmos o chão talvez não seja uma nova substância, mas uma mudança de hábito.

Aprendemos a desconfiar da exigência de que o real tenha de ser uma coisa. Uma relação pode ser real, um processo pode ser real, uma organização pode ser real e uma propriedade emergente não perde realidade por não existir da mesma maneira em todas as escalas; temperatura não precisa de estar escondida dentro de uma molécula para nos queimar, uma onda não precisa de transportar as mesmas moléculas de água para derrubar um barco e uma música não necessita de existir dentro de uma nota para alterar quem a escuta.

Também aprendemos que emergir não significa tornar-se ilusório. Se espaço, tempo, corpo ou Eu forem emergentes, continuam a fazer parte da realidade que

precisamos de explicar, e talvez uma das tarefas mais difíceis de qualquer teoria seja compreender por que essas estruturas se tornam tão extraordinariamente estáveis que podemos viver dentro delas sem suspeitar de que talvez não exista um «por baixo» no sentido espacial que a própria expressão sugere.

A linguagem transporta o nosso corpo consigo, e talvez por isso precisemos não apenas de Matemática mas também de música, cinema, pintura, dança e poesia. Não porque a Arte possa substituir uma equação, mas porque treinou a imaginação humana para reconhecer unidades que não são objectos, continuidades que atravessam mudanças, presenças construídas por relações e formas que existem precisamente porque nenhuma das partes as contém sozinha.

Uma fuga, uma improvisação livre ou um simples intervalo recordam-nos que relação não é sinónimo de irrealidade. Um filme mostra que continuidade pode nascer de uma organização de acontecimentos, uma personagem teatral atravessa corpos diferentes, uma pintura produz profundidade numa superfície e uma dança desenha formas que desaparecem no exacto instante em que existem; se a intuição quotidiana foi treinada principalmente por pedras, predadores, caminhos e frutos de tamanho médio, a Arte oferece outras maneiras de imaginar realidade.

A Ciência fará depois aquilo que só ela pode fazer: medir e permitir que o Mundo contrarie as nossas expectativas. Nenhuma metáfora provará Ω, nenhum acorde demonstrará que espaço emerge do entrelaçamento, nenhuma coreografia resolverá o problema do tempo e nenhuma pintura decidirá entre interpretações da Mecânica Quântica.

O Mundo conserva o direito de dizer não, e esse talvez seja o chão que não conseguimos retirar: não uma substância última, mas a resistência de uma realidade que não se deixa descrever de qualquer maneira. Podemos inventar teorias, mas algumas falham; construir modelos, mas certas experiências contradizem-nos; desejar que uma previsão esteja certa e assistir à agulha do aparelho deslocar-se para outro lado.

Ao mesmo tempo, nunca conseguimos sair dessa realidade para observá-la de fora. O cientista, o telescópio, o computador, a equação e a folha onde a equação é escrita pertencem todos ao mesmo Universo investigado; o mapa pertence ao território sem se tornar por isso idêntico ao território.

Esta recursividade talvez seja uma das coisas mais belas que podemos dizer sem abandonar a Ciência. Uma parte da matéria organizou-se em estrelas, planetas, química, células, organismos, sistemas nervosos e, pelo menos num pequeno planeta conhecido, em criaturas capazes de perguntar de que é feita a matéria.

Não precisamos de dizer que o Universo inteiro ganhou consciência de si próprio, afirmação demasiado ampla para aquilo que sabemos. Basta reconhecer que uma parte do Universo adquiriu consciência suficiente para construir representações parciais de outras partes, e nós somos alguns desses acontecimentos.

Não ocupamos o centro, não estamos acima do restante Mundo e talvez seja precisamente a ideia de separação absoluta que mais profundamente tenhamos de abandonar. A nossa singularidade não exige superioridade, da mesma maneira que a singularidade de uma baleia, de uma árvore, de um fungo ou de uma bactéria não precisa de ser medida pela distância a que se encontra de nós; vivemos dentro de relações que começaram muito antes de qualquer espécie humana e continuarão, provavelmente, depois dela.

O erro talvez tenha sido imaginar que para existir era preciso estar separado. Uma nota só é intervalo em relação a outra, uma palavra adquire sentido dentro de uma língua, uma célula mantém-se viva através de trocas, um organismo existe dentro de ecossistemas e aquilo a que chamamos Eu foi construído por corpo, memória, linguagem, outros seres e acontecimentos que nunca controlámos inteiramente; até uma estrela existe dentro de relações gravitacionais, nucleares e cosmológicas. Não há vergonha ontológica em depender, e talvez uma Nova Visão do Mundo comece precisamente aí: não na invenção de uma resposta final, mas na possibilidade de olhar novamente para aquilo que parecia evidente e descobrir que o real não diminui quando deixa de ser simples. O espaço torna-se mais extraordinário quando admitimos que talvez não seja fundamental, a vida quando deixa de exigir uma substância vital e o Eu talvez se torne mais precioso quando percebemos que a sua continuidade não está garantida por uma pedra metafísica escondida dentro da cabeça.

Depois de retirarmos o chão, portanto, não ficamos necessariamente a cair. Podemos descobrir que nunca estivemos pousados sobre uma plataforma imóvel e que talvez estivéssemos, desde o princípio, sustentados por relações.

Caderno de Axiomas, Símbolos e Formalizações

Este caderno reúne, numa sequência compacta, os axiomas, princípios e hipóteses utilizados ao longo do livro. Não pretende converter retrospectivamente uma exploração conceptual numa teoria física acabada; serve para tornar visíveis as relações entre conceitos, distinguir aquilo que pertence à Física estabelecida daquilo que é proposto como hipótese e indicar o trabalho matemático que uma teoria futura teria de realizar.

Símbolos de trabalho

 — símbolo provisório para uma estrutura fundamental desconhecida na qual espaço, tempo e energia não são pressupostos como categorias fundamentais. Não designa um lugar, uma substância ou um «antes» temporal do Universo.

Nexo — nome provisório para uma assimetria relacional capaz de sustentar orientação, registo e reconstrução sem pressupor de início um tempo universal.

Trama — nome provisório para uma organização de relações a partir da qual proximidade, distância, dimensionalidade e geometria poderiam tornar-se emergentes.

Tens□o — nome provisório para diferenças de compatibilidade e relação possível entre configurações, potencialmente relevantes para o aparecimento de uma grandeza física reconhecível como energia numa descrição emergente.

Axiomas de trabalho

> **Axioma 1 □ Aus□ncia das Categorias F□sicas Fundamentais**
> Em Ω, espaço, tempo e energia não são considerados entidades fundamentais.

> **Axioma 2 □ Distin□□o Relacional**
> Ω não é completamente indiferenciado: contém diferenças relacionais internas.

Axioma 3 — Nexo, terceira reformulação
Uma configuração B constitui um registo de A quando as relações presentes em B permitem distinguir entre diferentes configurações possíveis de A melhor do que seria possível sem B. A assimetria dessa capacidade de reconstrução participa na orientação relacional a que chamamos Nexo.

Axioma 4 — Trama, segunda reformulação
A Trama designa uma estrutura de relações a partir da qual poderão emergir proximidade, distância e geometria. A dimensionalidade não é pressuposta à partida: deverá resultar da organização dessas relações e explicar por que razão, à escala macroscópica, o espaço se apresenta com três dimensões.

Axioma 5 — Tensão, primeira reformulação
A Tensão designa diferenças de compatibilidade e de relação possível entre configurações de Ω. Quando articuladas com Nexo e Trama, essas diferenças poderão contribuir para o aparecimento daquilo que, numa descrição física emergente, reconhecemos como energia.

Princípios e hipóteses derivados

A lista que segue conserva a ordem do livro: **Hipótese da Instanciação Relacional; Princípio do Vazio Físico; Hipótese da Gravidade Relacional; Princípio da Informação Relacional; Hipótese das Leis Relacionais; Princípio da Distinção entre Lei e Regime; Hipótese da Estabilização Relacional; Hipótese da Pluralidade Relacional; Princípio do Registo sem Observador; Princípio da Selecção Sensorial; Princípio da Fronteira Biológica; Princípio da Unidade Relacional do Organismo; Princípio da Prudência Perceptiva; Princípio das Fronteiras Múltiplas do Corpo; Princípio da Continuidade Viva; Princípio da Consciência Distribuída; Princípio da Continuidade Relacional do Eu; Princípio da Estabilidade Relacional; Hipótese da Objectualidade Emergente; Princípio da Pluralidade Ontológica; Princípio da Provisoriedade de ; Princípio da Realidade Resistente.**

Uma formalização futura teria de especificar um espaço de configurações ou estrutura matemática equivalente, definir relações de distinção e reconstrução, mostrar em que condições emergem métrica, dimensionalidade, orientação e grandezas conservadas, recuperar Relatividade Geral e teoria quântica nos seus domínios de validade e produzir pelo menos uma consequência empiricamente distinguível das teorias concorrentes. Enquanto esse programa não existir, estes símbolos devem ser lidos como instrumentos de pensamento e não como uma teoria física estabelecida.

Pequeno Léxico para uma Realidade Diferente

Emergência — aparecimento de propriedades ou descrições relevantes num nível de organização que não precisam de existir da mesma forma nos componentes isolados. Emergente não significa ilusório.

Informação — propriedade relacional ligada à possibilidade de distinguir estados ou reconstruir aspectos de uma configuração a partir de outra; não é aqui tratada como substância.

Nexo — orientação relacional provisória associada a registos e assimetrias de reconstrução, não sinónimo de tempo.

Objectualidade — condição pela qual uma organização se torna suficientemente distinguível e estável para funcionar como unidade numa determinada escala.

 — símbolo de ignorância disciplinada: marca uma estrutura fundamental hipotética sem afirmar que conhecemos a sua ontologia.

Relação — dependência, correlação, proporção, conectividade ou outra estrutura definida entre elementos ou configurações; a palavra é demasiado geral para constituir sozinha uma teoria.

Tensão — diferença de compatibilidade relacional entre configurações, utilizada como conceito provisório e não como outro nome para energia.

Trama — organização relacional hipotética a partir da qual propriedades espaciais poderiam emergir; não é um espaço escondido por baixo do espaço.

Onde Termina a Ciência e Começa a Especulação

Este livro cruza deliberadamente territórios com estatutos epistemológicos diferentes. Relatividade, Mecânica Quântica, teoria quântica de campos, Termodinâmica, evolução, Neurociência, Biologia celular e outros domínios apresentados ao longo dos capítulos pertencem a corpos científicos estabelecidos em graus diferentes de confirmação; programas como gravidade quântica em laços, teoria das cordas, holografia, conjuntos causais, multiverso inflacionário, interpretações quânticas e teorias da consciência permanecem áreas activas onde resultados sólidos convivem com hipóteses não confirmadas.

Ω, Nexo, Trama e Tensão pertencem a um terceiro nível: são construções especulativas próprias deste livro. Foram introduzidas para testar uma possibilidade conceptual — a de que espaço, tempo, energia e objectualidade não sejam categorias fundamentais — e não devem ser citadas como resultados da Física contemporânea.

A fronteira não é uma vergonha a esconder, mas uma parte essencial do método. A Ciência avança frequentemente através de hipóteses que ainda não estão confirmadas, desde que seja sempre possível distinguir o que foi medido, o que decorre de uma teoria estabelecida, o que pertence a um programa de investigação e o que é apenas uma possibilidade proposta pelo autor.

Neste livro, a imaginação tem autorização para entrar no laboratório, mas não para falsificar os resultados.

Referências e Bibliografia

A bibliografia seguinte reúne as obras citadas nas notas e algumas referências de enquadramento utilizadas na revisão científica do manuscrito. Não pretende constituir uma bibliografia exaustiva de cada área abordada.

Barbour, Julian. *The End of Time*. Oxford University Press, 1999.

Bell, John S. «On the Einstein Podolsky Rosen Paradox». *Physics Physique Fizika* 1 (1964): 195–200.

Bekenstein, Jacob D. «Black Holes and Entropy». *Physical Review D* 7 (1973): 2333–2346.

Botvinick, Matthew, e Jonathan Cohen. «Rubber Hands 'Feel' Touch That Eyes See». *Nature* 391 (1998): 756.

Casimir, Hendrik B. G. «On the Attraction Between Two Perfectly Conducting Plates». *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen* 51 (1948): 793–795.

Chalmers, David J. *The Conscious Mind*. Oxford University Press, 1996.

Clark, Andy, e David Chalmers. «The Extended Mind». *Analysis* 58 (1998): 7–19.

Connes, Alain, e Carlo Rovelli. «Von Neumann Algebra Automorphisms and Time-Thermodynamics Relation in General Covariant Quantum Theories». *Classical and Quantum Gravity* 11 (1994): 2899–2918.

Davisson, Clinton J., e Lester H. Germer. «Diffraction of Electrons by a Crystal of Nickel». *Physical Review* 30 (1927): 705–740.

Dehaene, Stanislas. *Consciousness and the Brain*. Viking, 2014.

Dennett, Daniel C. «Real Patterns». *The Journal of Philosophy* 88 (1991): 27–51.

Einstein, Albert. «Zur Elektrodynamik bewegter Körper». *Annalen der Physik* 17 (1905): 891–921.

Einstein, Albert. «Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie». *Annalen der Physik* 49 (1916): 769–822.

Everett III, Hugh. «"Relative State" Formulation of Quantum Mechanics». *Reviews of Modern Physics* 29 (1957): 454–462.

Hawking, Stephen W. «Particle Creation by Black Holes». *Communications in Mathematical Physics* 43 (1975): 199–220.

Hawking, Stephen W., e George F. R. Ellis. *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge University Press, 1973.

Hedrich, Rainer, e Erwin Neher. «Venus Flytrap: How an Excitable, Carnivorous Plant Works». *Trends in Plant Science* 23 (2018): 220–234.

Hedrich, Rainer, e Ines Kreuzer. «Demystifying the Venus Flytrap Action Potential». *New Phytologist* 239 (2023): 2108–2112.

Hume, David. *A Treatise of Human Nature*. 1739–1740.

Jacobson, Ted. «Thermodynamics of Spacetime: The Einstein Equation of State». *Physical Review Letters* 75 (1995): 1260–1263.

James, William. *The Principles of Psychology*. Henry Holt, 1890.

Kaluza, Theodor. «Zum Unitätsproblem der Physik». *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften* (1921): 966–972.

Klein, Oskar. «Quantentheorie und fünfdimensionale Relativitätstheorie». *Zeitschrift für Physik* 37 (1926): 895–906.

Landauer, Rolf. «Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process». *IBM Journal of Research and Development* 5 (1961): 183–191.

Maravita, Angelo, e Atsushi Iriki. «Tools for the Body (Schema)». *Trends in Cognitive Sciences* 8 (2004): 79–86.

Maturana, Humberto R., e Francisco J. Varela. *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*. D. Reidel, 1980.

Metzinger, Thomas. *Being No One*. MIT Press, 2003.

Navas, S., et al. (Particle Data Group). «Review of Particle Physics». *Physical Review D* 110, 030001 (2024), actualização 2025.

Noether, Emmy. «Invariante Variationsprobleme». *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* (1918): 235–257.

Page, Don N., e William K. Wootters. «Evolution without Evolution: Dynamics Described by Stationary Observables». *Physical Review D* 27 (1983): 2885–2892.

Pearl, Judea. *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. 2.ª ed. Cambridge University Press, 2009.

Rovelli, Carlo. *Quantum Gravity*. Cambridge University Press, 2004.

Rovelli, Carlo. «Relational Quantum Mechanics». *International Journal of Theoretical Physics* 35 (1996): 1637–1678.

Ryu, Shinsei, e Tadashi Takayanagi. «Holographic Derivation of Entanglement Entropy from AdS/CFT». *Physical Review Letters* 96 (2006): 181602.

Sender, Ron, Shai Fuchs, e Ron Milo. «Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body». *PLoS Biology* 14 (2016): e1002533.

Shannon, Claude E. «A Mathematical Theory of Communication». *Bell System Technical Journal* 27 (1948): 379–423, 623–656.

Smolin, Lee. *The Life of the Cosmos*. Oxford University Press, 1997.

Taiz, Lincoln, et al. «Plants Neither Possess nor Require Consciousness». *Trends in Plant Science* 24 (2019): 677–687.

Taiz, Lincoln, et al. «Debunking a Myth: Plant Consciousness». *Protoplasma* 257 (2020): 975–984.

Tononi, Giulio, Melanie Boly, Marcello Massimini e Christof Koch. «Integrated Information Theory: From Consciousness to Its Physical Substrate». *Nature Reviews Neuroscience* 17 (2016): 450–461.

Uexküll, Jakob von. *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen*. Springer, 1934.

Uzan, Jean-Philippe. «Varying Constants, Gravitation and Cosmology». *Living Reviews in Relativity* 14, 2 (2011).

Van Fraassen, Bas C. *The Scientific Image*. Oxford University Press, 1980.

Van Raamsdonk, Mark. «Building up Spacetime with Quantum Entanglement». *General Relativity and Gravitation* 42 (2010): 2323–2329.

Verlinde, Erik. «On the Origin of Gravity and the Laws of Newton». *Journal of High Energy Physics* 2011, 29 (2011).

Von Neumann, John. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton University Press, 1955 [orig. alemão, 1932].

Wald, Robert M. *General Relativity*. University of Chicago Press, 1984.

Wheeler, John Archibald. «Information, Physics, Quantum: The Search for Links». Em *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*, ed. Wojciech H. Zurek. Addison-Wesley, 1990.

Woodward, James. *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*. Oxford University Press, 2003.

Worrall, John. «Structural Realism: The Best of Both Worlds?». *Dialectica* 43 (1989): 99–124.

Zurek, Wojciech H. «Decoherence, Einselection, and the Quantum Origins of the Classical». *Reviews of Modern Physics* 75 (2003): 715–775.

Recursos de referência actualizados: BIPM/NIST para o Sistema Internacional de Unidades; NASA Astrobiology para a definição operacional de vida; Particle Data Group para propriedades de partículas e Modelo Padrão; *Stanford Encyclopedia of Philosophy* para panoramas revistos sobre vida, leis da Natureza, realismo estrutural e filosofia da ciência.

Índice de Axiomas, Princípios e Hipóteses

Axioma 1 — Ausência das Categorias Físicas Fundamentais, 8
Axioma 2 — Distinção Relacional, 9
Axioma 3 — Nexo, primeira formulação, 19
Axioma 3 — Nexo, segunda reformulação, 70
Axioma 3 — Nexo, terceira reformulação, 74
Axioma 4 — Trama, segunda reformulação, 25
Axioma 5 — Tensão, primeira reformulação, 38

Hipótese da Estabilização Relacional, 83
Hipótese da Gravidade Relacional, 59
Hipótese da Instanciação Relacional, 46
Hipótese da Objectualidade Emergente, 140
Hipótese da Pluralidade Relacional, 87
Hipótese das Leis Relacionais, 79
Hipótese do Relógio Relacional, 16

Princípio da Consciência Distribuída, 125
Princípio da Continuidade Relacional do Eu, 132
Princípio da Continuidade Viva, 118
Princípio da Dimensionalidade Emergente, 65
Princípio da Distinção entre Lei e Regime, 81
Princípio da Estabilidade Relacional, 138
Princípio da Fronteira Biológica, 100
Princípio da Informação Relacional, 72
Princípio da Pluralidade Ontológica, 142
Princípio da Provisoriedade de Ω, 148
Princípio da Prudência Perceptiva, 105
Princípio da Realidade Resistente, 148
Princípio da Selecção Sensorial, 95
Princípio da Unidade Relacional do Organismo, 101
Princípio das Fronteiras Múltiplas do Corpo, 111

Princípio do Registo sem Observador, 91
Princípio do Vazio Físico, 54

Índice Onomástico

Alain Connes, 19
Albert Einstein, 5, 14, 24, 37, 52, 57, 69, 78, 143
Andy Clark, 111

Carlo Rovelli, 19, 91
Charles Darwin, 91, 115
Claude Shannon, 71
Clinton Davisson, 44

Daniel Dennett, 141
David Chalmers, 111, 122
David Hume, 78, 129
Don Page, 16

Emmy Noether, 34
Erik Verlinde, 58
Eugene Wigner, 84, 90

Francisco Varela, 114

Gottfried Wilhelm Leibniz, 23
Gregory Bateson, 74

Hendrik Casimir, 54
Hugh Everett, 86, 90
Humberto Maturana, 114

Isaac Newton, 4, 14, 23, 36, 52, 57, 78, 144

Jakob von Uexküll, 96
John Archibald Wheeler, 73
John Bell, 26, 44, 69
John von Neumann, 90
Julian Barbour, 19

Lee Smolin, 82
Lester Germer, 44

Mark Van Raamsdonk, 27

Oskar Klein, 64

Pierre-Simon Laplace, 67

Rolf Landauer, 72

Shinsei Ryu, 27, 58

Tadashi Takayanagi, 27, 58
Ted Jacobson, 58
Theodor Kaluza, 63
Thomas Metzinger, 130

William James, 129
William Wootters, 16

Índice Temático e Remissivo

autopoiese, 114

campo de Higgs, 55, 81
causalidade, 11, 19, 26, 66, 67, 74, 142, 146
consciência, 20, 37, 74, 88, 89, 97, 99, 105, 110, 119, 121, 141, 147
consciência vegetal, 105, 119
constantes fundamentais, 78, 82, 86
corpo — fronteiras, 27, 36, 45, 49, 54, 66, 90, 99, 105, 109, 113, 126, 134, 135, 143

decoerência, 86, 90

efeito Casimir, 54
electrão, 40, 43, 77, 84, 89, 139, 143
emergência, 6, 19, 31, 39, 46, 51, 58, 64, 68, 78, 82, 87, 137
energia, 3, 15, 24, 33, 46, 49, 53, 57, 69, 72, 79, 81, 112, 114, 137, 147
entrelaçamento quântico, 26, 58, 139
entropia, 17, 58, 66, 78, 116
Espaço de Trabalho Neuronal Global, 123
espaço peripessoal, 110
espaço-tempo, 5, 15, 24, 35, 54, 57, 63, 67, 73, 143
Eu, 3, 14, 23, 37, 44, 49, 55, 57, 67, 71, 77, 84, 88, 90, 95, 99, 104, 110, 113, 121, 127, 135, 144
evolução darwiniana, 115

gravidade quântica, 16, 24, 35, 50, 64

holobionte, 99
holografia, 26, 58, 66, 73

identidade pessoal, 10, 35, 46, 50, 99, 109, 116, 127, 138
inflação eterna, 85
informação, 4, 18, 25, 35, 58, 66, 68, 71, 85, 90, 95, 104, 110, 114, 121, 130, 135, 143
instrumentalismo, 144
interocepção, 95, 125

leis da Natureza, 77, 81

Mecânica Quântica, 11, 16, 43, 53, 67, 73, 86, 89, 144
medição quântica, 55, 89, 142, 145
mente estendida, 111
microbioma, 97, 99, 112, 126
Modelo Padrão, 45, 49, 60, 78, 81
Muitos Mundos, 86
multiverso, 85

Nexo, 9, 18, 29, 38, 60, 68, 72, 91, 104, 111, 119, 131, 139, 146

objectualidade, 139
observador, 14, 86, 89, 97, 121, 128, 139, 145

plantas — percepção, 100, 103, 111, 138
propriocepção, 95, 127

realismo científico, 144

realismo estrutural, 139, 146
Relatividade Geral, 4, 15, 24, 35, 55, 57, 64

subdeterminação, 145

Tensão, 5, 29, 33, 50, 60, 67, 87, 90, 95, 99, 110, 140, 146
teorema de Noether, 34
Teoria da Informação Integrada, 123
Trama, 9, 25, 38, 59, 65, 70, 91, 140, 146

Umwelt, 96

vida, 4, 14, 24, 35, 50, 53, 57, 63, 67, 71, 77, 82, 86, 91, 97, 101, 103, 109, 113, 121, 129, 138, 143
vácuo quântico, 51, 53, 85

Ω, 8, 21, 29, 37, 46, 52, 54, 59, 66, 69, 72, 79, 83, 87, 91, 139, 146