

A história de quando éramos PEIXES

Uma revolucionária
teoria sobre a origem
do corpo humano

Neil Shubin



Tradução

Regina Lyra

Professora de Tradução da PUC-Rio

Revisão Técnica

Tatiana Ferreira Robaina

*Cirurgiã-dentista, Universidade Federal
de Pelotas (UFPEL)*

*Mestre em Patologia, Universidade Federal
Fluminense (UFF)*



ELSEVIER



CAMPUS

ENCONTRANDO O SEU PEIXE INTERIOR

Os verões da minha vida adulta sempre foram passados na neve e na garoa gelada, quebrando pedras em rochedos bem ao norte do Círculo Ártico. Na maior parte do tempo congelo, arrumo bolhas e não descubro coisa alguma. Quando dou sorte, porém, encontro ossos de peixes antigos. Para a maioria isso pode não parecer um tesouro, mas para mim é ouro puro.

Ossos de peixes antigos podem representar um caminho para o conhecimento de quem somos e de como nos tornamos assim. Aprendemos a respeito do nosso corpo em lugares aparentemente bizarros: desde fósseis de criaturas como vermes e peixes coletados em rochas de todo o mundo até o DNA de praticamente todos os animais que vivem hoje em dia na Terra. Isso, contudo, não explica a minha convicção de que restos de esqueletos do passado – e restos de peixes, ainda por cima – oferecem pistas quanto à estrutura básica do nosso corpo.

Como visualizar acontecimentos ocorridos milhões e, em alguns casos, bilhões de anos atrás? Infelizmente, não existem testemunhas; nenhum de nós estava aqui. Na verdade, coisa alguma apta a falar ou até dotada de boca ou de cabeça existia por aqui durante boa parte daquele tempo. Pior ainda: os animais então existentes já estão mortos e enterrados há tanto tempo que só muito raramente o corpo se encontra preservado. Se considerarmos que mais de 99% de todas as espécies que já viveram foram extintas, que apenas uma pequena fração se acha preservada em forma de fósseis e que uma fração ainda menor será encontrada um dia, qualquer tentativa de vislumbrar o nosso passado está, de antemão, fadada ao fracasso.

Vi pela primeira vez um dos nossos peixes interiores numa tarde de neve em julho, quando estudava rochas de 375 milhões de anos na Ilha Ellesmere, numa latitude de cerca de 80 graus ao norte. Meus colegas e eu havíamos viajado até essa parte despovoada do mundo na tentativa de descobrir um dos estágios de transição dos peixes para animais de vida terrestre. Projetando-se das rochas, vimos a boca de um peixe. Não era um peixe comum, mas um peixe com a cabeça chata. Aquela cabeça chata nos convenceu de que havíamos esbarrado em algo novo. Se encontrássemos mais partes do mesmo esqueleto dentro da rocha, ele nos revelaria os estágios iniciais da história do nosso crânio, do nosso pescoço e até mesmo dos nossos membros.

O que uma cabeça chata me fez ver a respeito da mudança do mar para a terra? É mais importante que isso, em termos da minha segurança e convicção pessoal: por que eu estava no Ártico e não no Havai? As respostas a essas perguntas residem na história do encontro de fósseis e como os utilizamos para decifrar nosso próprio passado.

Os fósseis representam um dos principais meios de prova que usamos para entender a nós mesmos (os genes e os embriões também exercem essa função, e os abordarei mais à frente). A maioria das pessoas ignora que encontrar fósseis é algo possível de ser feito com uma precisão e uma previsibilidade surpreendentes. Trabalhamos em laboratório de modo a aumentar ao máximo as possibilidades de sucesso no campo. Depois, deixamos que a sorte cumpra o seu papel.

A relação paradoxal entre planejamento e acaso foi magistralmente descrita na famosa observação de Dwight D. Eisenhower a respeito da guerra: “Nos preparativos da batalha, descobri que o planejamento é essencial, mas os planos são inúteis.” Isso resume com brilhantismo a paleontologia de campo. Fazemos todo tipo de planos para chegar a promissores sítios de fósseis. Uma vez no local, porém, todos esses planos podem ser atirados pela janela. A realidade que encontramos é capaz de virar pelo avesso nossos melhores planos, deixando em seu lugar o mero acaso.

Ainda assim, podemos planejar expedições para responder a perguntas científicas específicas. Usando um punhado de idéias simples, sobre as quais falarei a seguir, é possível prever onde encontrar fósseis importantes. Natu-

ralmente, não somos bem-sucedidos em 100% das vezes, mas acertamos no alvo com frequência suficiente para tornar as coisas interessantes. Construí uma carreira centrada exatamente nisso: encontrar os primeiros mamíferos a fim de responder a perguntas sobre as origens dos mamíferos, os primeiros sapos a fim de responder a perguntas sobre as origens dos sapos e alguns dos primeiros animais dotados de membros para entender as origens dos animais de vida terrestre.

Sob vários aspectos, para os atuais paleontólogos de campo é bem mais fácil encontrar novos sítios do que era antes. Conhecemos melhor a geologia dos locais, graças à exploração geológica realizada pelos governos, bem como pelas empresas de petróleo e gás. A Internet provê acesso rápido a mapas, informações topográficas e fotos aéreas. Posso até mesmo promover uma varredura em meu quintal à procura de sítios de fósseis a partir do meu laptop. Para coroar, aparelhos de imagem e raios X são capazes de enxergar através de rochas, permitindo que vejamos os ossos no seu interior.

A despeito desses progressos, a caça a fósseis importantes não difere muito do que era há cem anos. Os paleontólogos ainda precisam olhar para a rocha – literalmente rastejar sobre ela –, e os fósseis ali encravados quase sempre têm que ser removidos manualmente. Tantas decisões precisam ser tomadas na prospecção e remoção de ossos fossilizados, que tais processos são difíceis de automatizar. Além disso, observar a tela de um monitor em busca de fósseis nem de longe equivaleria à diversão de efetivamente escavar a rocha à procura deles.

O que torna tudo isso complicado é o fato de os sítios de fósseis serem raros. Para aumentar as nossas chances de sucesso, atentamos para a convergência de três fatores: procuramos locais que possuam rochas da idade certa, rochas do tipo certo para preservar fósseis e rochas expostas na superfície. Existe ainda mais um fator: o acaso.

Nosso exemplo mostrará uma das grandes transições na história da vida: a invasão da terra pelos peixes. Durante bilhões de anos, todas as criaturas viveram na água. Então, há cerca de 365 milhões de anos, os seres passaram também a habitar a terra. A vida nesses dois ambientes era radicalmente distinta. Respirar na água exige órgãos muito diferentes dos necessários para inspirar ar. O mesmo se dá com a excreção, com a alimentação e a locomoção. Um tipo totalmente novo de corpo precisava surgir. À primeira vista, o abismo entre os dois ambientes parece quase intransponível, mas tudo muda quando examinamos as provas: o que parece impossível aconteceu realmente.

¹ Nota da Revisora Técnica: A Ilha Ellesmere localiza-se no território de Nunavut, no Canadá.

Ao buscar rochas da idade certa munimo-nos de um fato notável. Os fósseis nas rochas espalhadas pelo mundo não se encaixam aí aleatoriamente. O local onde se encontram e o que reside em seu interior obedece a uma ordenação muito precisa, e essa ordenação pode ser utilizada para planejar nossas expedições. Bilhões de anos de mudanças deixaram camada sobre camada de tipos distintos de rochas na terra. A suposição corrente, fácil de testar, é que as rochas da camada superior são mais jovens do que as das camadas inferiores. Isso costuma ser válido em zonas que possuem um arranjo uniforme, como camadas em um bolo (imaginem-se, por exemplo, o Grand Canyon). No entanto, o movimento da crosta terrestre é capaz de provocar falhas que alteram a posição das camadas, sobrepondo rochas mais antigas às mais jovens. Felizmente, quando se percebe as posições de tais falhas, em geral é possível identificar a sequência original das camadas conforme se encontravam antes.

Os fósseis no interior dessas camadas rochosas também seguem uma progressão, com as camadas inferiores contendo espécies totalmente diversas das presentes nas camadas superiores. Se pudéssemos prospectar uma única coluna de rocha que abrigasse a história integral da vida, acharíamos um leque extraordinário de fósseis. As camadas mais profundas conteriam poucos indícios visíveis de vida. Algumas camadas acima, encontraríamos vestígios de um conjunto distinto de coisas com aparência de águas-vivas. Mais acima ainda, acharíamos ossadas, membros e vários órgãos, como olhos. Por cima destas, se assentariam camadas com os primeiros animais dotados de espinha dorsal, e daí por diante. As camadas contendo os primeiros humanos seriam encontradas mais acima ainda. É claro que não existe uma única coluna que contenha a integralidade da história terrestre. Em vez disso, as rochas em cada local da terra possuem apenas uma pequena fatia de tempo. Para conseguir o cenário completo, é preciso juntar os pedaços comparando as próprias rochas com os fósseis em seu interior, mais ou menos como se montássemos um gigantesco quebra-cabeça.

Provavelmente não causa surpresa que uma coluna de rochas abrigue uma progressão de espécies fósseis. Menos óbvio é que seja possível fazer previsões detalhadas sobre a aparência efetiva das espécies em cada camada, comparando-as com os animais que vivem atualmente. Essas informações nos ajudam a prever os tipos de fósseis que encontraremos em antigas camadas rochosas. Na verdade, as sequências de fósseis nas rochas em todo o mundo podem ser previstas mediante a comparação de nós mesmos com os animais que vivem em nossos zoológicos ou aquários locais.

Como uma visita ao zoológico poderia nos ajudar a prever em que rochas procurar fósseis importantes? Um zoológico provê uma grande variedade de criaturas, todas diferentes sob muitos aspectos. Não nos concentremos, porém, no que as torna diferentes. Para fazer previsões temos que nos concentrar naquilo que as criaturas diferentes partilham. Podemos, então, utilizar as características comuns a todas as espécies a fim de identificar grupos de criaturas com traços semelhantes. Todas as coisas vivas podem ser organizadas e arrumadas como um conjunto de bonequinhas russas, com grupos menores de animais abrangidos por grupos maiores. Ao fazer isso, descobrimos algo fundamental sobre a natureza.

Todas as espécies nos zoológicos e aquários têm uma cabeça e um par de olhos. Chamemos essas espécies de "Tudos". Um subgrupo das criaturas com cabeça e um par de olhos tem membros. Chamemos as espécies com membros de "Tudos dotados de membros". Um subgrupo dessas criaturas dotadas de cabeça e membros possui cérebros enormes, andam sobre duas pernas e falam. Este subgrupo somos nós, os humanos. Poderíamos, é claro, utilizar essa forma de categorizar as coisas para gerar muitos outros subgrupos, mas mesmo essa divisão tripartite dispõe de poder de previsão.

Os fósseis no interior das rochas do mundo costumam seguir tal ordem, e podemos lançar mão dela para planejar novas expedições. Empregando o exemplo acima, o primeiro membro do grupo "Tudos", uma criatura com uma cabeça e um par de olhos se encontra no registro fóssil bem antes do primeiro "Tudo dotado de membros". Mais exatamente, o primeiro peixe (um membro de carteirinha dos "Tudos") surge antes do primeiro anfíbio (um "Tudo dotado de membro"). Obviamente, refinamos tudo isso ao examinar mais tipos de animais e muito mais características partilhadas por grupos deles, bem como ao calcular a idade real das próprias rochas.

Em nossos laboratórios fazemos precisamente esse tipo de análise de milhares e milhares de características e espécies. Examinamos cada pedacinho de anatomia disponível e, com frequência, bons pedaços de DNA. Existem tantos dados que quase sempre carecemos de computadores potentes para nos mostrar os grupos dentro de grupos. Essa abordagem é o alicerce da biologia, porque nos permite formular hipóteses sobre como as criaturas se relacionam entre si.

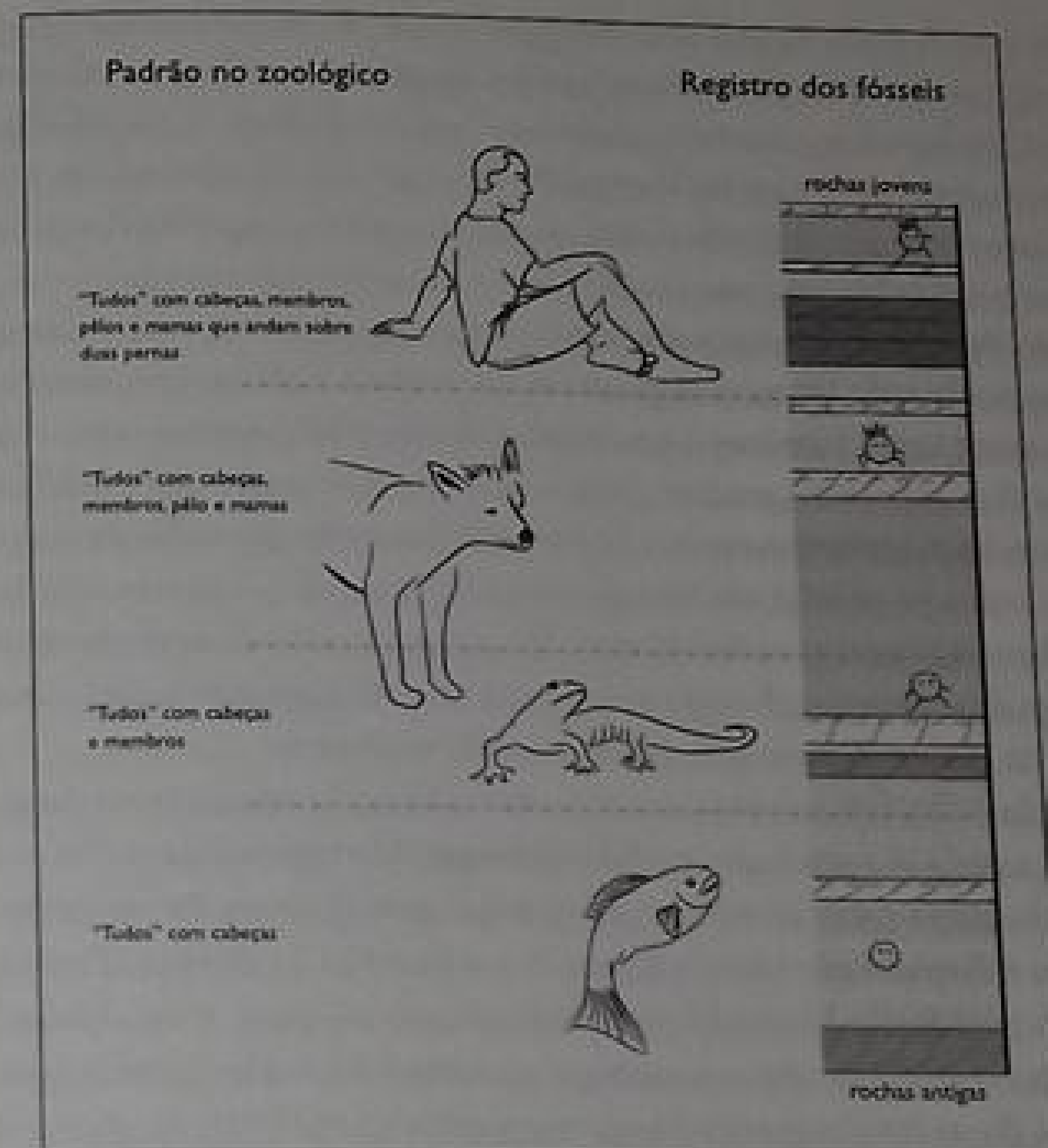
Além de nos ajudar a refinar os agrupamentos de vida, centenas de anos de coleta de fósseis produziram uma vasta biblioteca, ou catálogo, sobre as eras da Terra e da vida nela. Podemos hoje identificar períodos de tempo em

geral em que mudanças de monta tiveram lugar. Você se interessa pela origem dos mamíferos? Procure rochas da primeira parte do período chamado Mesozóico;² a geoquímica nos diz que essas rochas provavelmente têm 210 milhões de anos. Você se interessa pela origem dos primatas? Procure mais acima na coluna de rochas, o Período Cretáceo, em que as rochas têm cerca de 80 milhões de anos.

A ordem dos fósseis nas rochas do mundo é uma prova poderosa do nosso vínculo com o restante dos seres vivos. Se ao escavar rochas de 600 milhões de anos, encontrássemos as primeiras águas-vivas ao lado da ossada de uma marmota, seria preciso reescrever nossos textos. Aquela marmota teria surgido mais cedo no registro fóssil do que o primeiro mamífero, réptil ou mesmo antes do primeiro peixe – e até do primeiro verme. Ademais, nossa velha marmota nos diria que boa parte do que achamos saber sobre a história da Terra e da vida existente nela está errado. Embora a busca de fósseis tenha mais de 150 anos – em todos os continentes da Terra e praticamente em todas as camadas rochosas a que se tem acesso –, isso nunca foi visto. A progressão da vida observada no registro fóssil é de uma consistência espantosa.

Voltemos agora ao problema de como encontrar parentes dos primeiros peixes que andaram na terra. Em nosso esquema de agrupamento, essas criaturas se encontram em algum ponto entre os “Tudos” e os “Tudos dotados de membros”. Compare-se isso ao que sabemos sobre as rochas e obtém-se uma consistente prova geológica de que o período entre 380 e 365 milhões de anos atrás é uma era crucial. As rochas mais jovens nesse escopo, as que contam cerca de 360 milhões de anos, incluem diversos tipos de animais fossilizados que todos reconheceríamos como anfíbios ou répteis. Minha colega Jenny Clack, da Universidade de Cambridge, e outros resgataram anfíbios de rochas na Groenlândia que têm cerca de 365 milhões de anos. Com seus pescoços, orelhas e quatro patas, eles não se parecem com peixes. Nas rochas, porém, que contam cerca de 385 milhões de anos, encontramos peixes que se parecem... com peixes, ora. Possuem nadadeiras, cabeças cônicas e escamas e não têm pescoços. Dito isso, provavelmente não causará grande surpresa o fato de termos nos concentrado em rochas de cerca de 375 milhões de anos a fim de achar indícios da transição dos peixes para animais de vida terrestre.

² Nota da Revisora Técnica: Na escala de tempo geológica, a era Mesozóica sucede a Paleozóica e precede a Cenozóica. Divide-se nos períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo.



Nossa visita ao zoológico nos mostra como os fósseis se encontram arrumados nas rochas do mundo todo.

Decidimos focar nossa pesquisa em um período de tempo e, assim, identificamos as camadas da coluna geológica que queríamos investigar. O desafio passou a ser, então, encontrar rochas formadas sob condições capazes de preservar fósseis. As rochas se formam em tipos diferentes de ambientes e esses cenários iniciais deixam assinaturas específicas nas camadas rochosas. As rochas vulcânicas, em sua maioria, estão descartadas. Nenhum peixe que conhecemos é capaz de viver na lava. E mesmo que tal peixe existisse, seus ossos fossilizados não sobreviveriam às condições superaquecidas sob as quais basaltos, riólitos, granitos e outras rochas ígneas são formadas. Também podemos ignorar as rochas metamórficas, como xisto e mármore, pois estas sofreram superaquecimento ou extrema pressão desde a sua formação inicial. Quaisquer fósseis que pudessem ter sido

preservados nelas há muito já desapareceram. As rochas ideais para a preservação de fósseis são as sedimentares: calcários, arenitos, siltitos e folhelhos. Comparadas às rochas vulcânicas e metamórficas, sua formação se dá por processos mais suaves, inclusive a ação de rios, lagos e mares. Não só é mais provável que animais vivessem nesses ambientes, como os processos sedimentários fazem dessas rochas locais mais adequados à preservação de fósseis. Por exemplo, em um oceano ou lago, as partículas constantemente se desprendem da água e se depositam no fundo. Com o tempo, conforme se acumulam, essas partículas são comprimidas por camadas novas, sobrepostas. A compressão gradual, juntamente com os processos químicos que ocorrem no interior das rochas ao longo de extensos períodos de tempo, dá ensejo a uma possibilidade bastante razoável de que quaisquer ossadas que as rochas contenham se fossilizem. Processos similares ocorrem dentro e ao longo dos córregos. A regra geral é que quanto mais suavemente corre o regato ou rio, mais bem preservados serão os fósseis.

Toda rocha tem uma história a contar: a história da aparência do mundo quando aquela determinada rocha se formou. No interior da rocha existem provas do clima e dos arredores, em geral muito diversos daqueles de hoje. Às vezes a disparidade entre o presente e o passado é extrema. Tomemos o exemplo do Monte Everest,³ próximo ao topo do qual, numa altitude de mais de nove quilômetros, encontram-se rochas formadas num antigo leito marinho. Basta ir até a parte certa da montanha na Face Norte, abaixo do famoso Hilary Step, para encontrar conchas fossilizadas. Igualmente, no local em que trabalhamos no Ártico, as temperaturas podem atingir 40 graus Fahrenheit negativos no inverno. No entanto, no interior de algumas rochas da região existem resquícios de um velho delta tropical, quase como o Amazonas: plantas e peixes fossilizados que só podem ter se desenvolvido em zonas tépidas e úmidas. A presença de espécies adaptadas ao calor onde hoje se encontram altitudes e latitudes extremas comprovam o quanto o nosso planeta pode mudar: montanhas se erguem e afundam, temperaturas sobem e descem e os continentes se deslocam. Quando entendermos a vastidão do tempo e as maneiras extraordinárias pelas quais se alterou o nosso planeta, estaremos habilitados a fazer uso dessas informações no planejamento de novas expedições de caça a fósseis.

³Nota da Revisora Técnica: Está localizado na Cordilheira do Himalaia, na fronteira entre o Nepal e o Tibete.

Se estivermos interessados em entender a origem de animais dotados de membros, podemos, então, limitar nossa pesquisa a rochas com idade entre 375 e 380 milhões de anos e que tenham sido formadas em oceanos, lagos ou córregos. Eliminemos rochas vulcânicas e metamórficas, e a imagem da nossa busca de sítios promissores passa a ter um foco melhor.

Estamos apenas parcialmente a caminho do planejamento de uma nova expedição, porém. De nada adianta se as nossas rochas sedimentárias promissoras da idade certa se encontrarem profundamente enterradas no solo, ou estiverem cobertas de grama ou debaixo de shopping centers ou cidades. Estaríamos cavando às cegas. Como é fácil imaginar, cavar um buraco em busca de um fóssil oferece pouca probabilidade de sucesso, similar à de atirar dardos em um alvo escondido atrás da porta de um armário.

Os melhores lugares para procurar são aqueles em que se pode andar quilômetros sobre a rocha para descobrir áreas onde os ossos estejam "se desgastando". Ossos fossilizados costumam ser mais duros que a rocha ao redor e por isso sofrem erosão a um ritmo levemente mais lento e apresentam um perfil destacado sobre a superfície rochosa. Por esse motivo, gostamos de caminhar sobre a rocha nua e quando encontramos um indício de ossos na superfície partimos para cavar.

Assim, esta é a artimanha no planejamento de uma nova expedição em busca de fósseis: encontrar rochas da idade certa e do tipo certo (sedimentárias) e com boa exposição. Aí arregaçamos as mangas. Os lugares ideais para a caça a fósseis têm pouca cobertura de solo e pouca vegetação, bem como estiveram sujeitos a pouca devastação humana. Alguém se surpreenderia ao saber que uma fração significativa de descobertas se deu em áreas do deserto? No Deserto de Gobi. No Saara. Em Utah.⁴ Em desertos árticos, como a Groenlândia.

Tudo isso soa bastante lógico, mas não nos esqueçamos do acaso. Na verdade, foi o acaso que nos pôs na trilha do nosso peixe interior. Nossas primeiras descobertas importantes não ocorreram em um deserto, mas ao longo de uma estrada na Pensilvânia central, onde as exposições dificilmente poderiam ser piores. Para culminar, só estávamos procurando ali porque não dispúnhamos de muito dinheiro.

É preciso um bocado de dinheiro e de tempo para ir à Groenlândia ou ao Deserto do Saara. Em compensação, um projeto local não requer vultosos

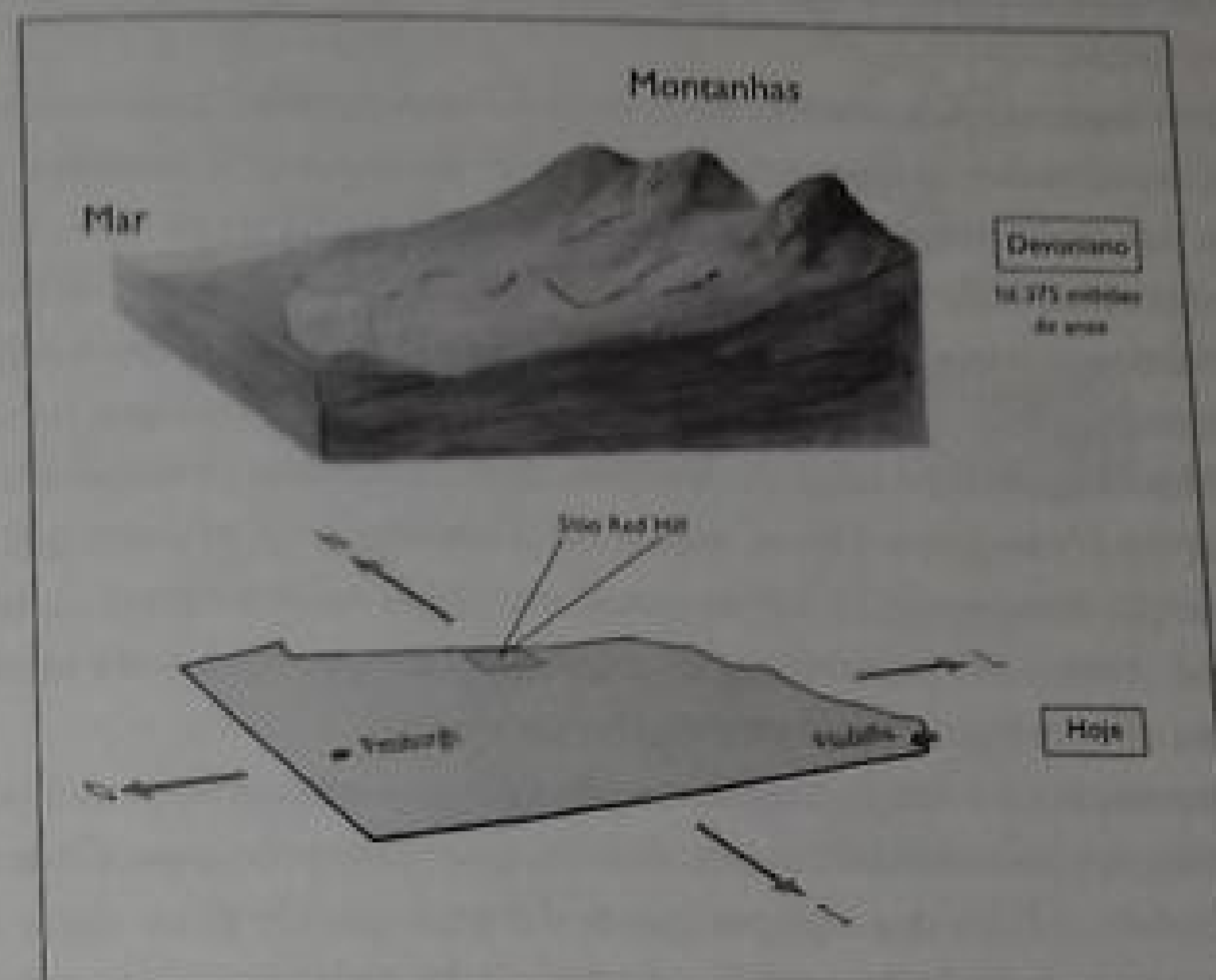
⁴Nota da Revisora Técnica: Desertos situados respectivamente entre a China e a Mongólia, na África e nos Estados Unidos.

subsídios para pesquisa, apenas dinheiro para a gasolina e os pedágios. Essas são variáveis cruciais para um jovem recém-formado ou um professor universitário recém-contratado. O chamariz foi um aglomerado de rochas coletivamente conhecido como Formação de Catskill da Pensilvânia. Essa formação foi exaustivamente estudada durante mais de 150 anos. Sua idade, amplamente comprovada, remonta ao final do período Devoniano.⁵ Além disso, suas rochas eram perfeitas para preservar antigos animais dotados de membros e seus parentes mais próximos. Para entender isso, é melhor imaginar a aparência da Pensilvânia no período Devoniano. Havia planaltos na zona leste do estado. Uma série de regatos que corria para oeste drenava essas montanhas, culminando em um amplo mar onde hoje fica a cidade de Pittsburgh. Para imaginar a Pensilvânia naquela época, apague da mente a imagem da Filadélfia, de Pittsburgh ou de Harrisburg que existem atualmente e pense no delta do Rio Amazonas.

É difícil imaginar melhores condições para encontrar fósseis, salvo que a Pensilvânia central está coberta por cidades, florestas e campos. Quanto às exposições, elas se encontram principalmente onde o Departamento dos Transportes da Pensilvânia (PennDOT) decidiu abrir grandes estradas. Quando a PennDOT constrói uma auto-estrada, há explosões. Quando há explosões, rochas são expostas. Nem sempre a exposição é das melhores, mas aproveitamos o que conseguimos. Com ciência barata, levamos o produto que podemos pagar.

Houve, ainda, um acaso de natureza diversa: em 1993, Ted Daeschler chegou à Universidade da Pensilvânia para estudar paleontologia sob a minha supervisão. Essa parceria viria a mudar a vida de nós dois. Nossos temperamentos diferentes se combinaram à perfeição: tenho bicho-carpinteiro e estou sempre pensando no próximo lugar onde realizar buscas, enquanto Ted é paciente e sabe quando se aboletar em um sítio para extrair suas riquezas. Ted e eu demos início a um levantamento das rochas devonianas da Pensilvânia na esperança de encontrar novos indícios relativos à origem dos membros. Começamos visitando praticamente todas as grandes estradas abertas na área leste do estado. Para nossa grande surpresa, pouco após o início do levantamento, Ted encontrou uma magnífica omoplata.⁶ Batizamos seu dono de *Hyner-*

peton, que, traduzido do grego, significa “pequeno animal rastejante de Hyner”. Hyner, na Pensilvânia, é a cidade mais próxima. Nosso *Hynerpeton* tinha um ombro bastante robusto, o que indica uma criatura que provavelmente possuía membros bastante fortes. Infelizmente, nunca fomos capazes de encontrar a ossada inteira do animal. As exposições eram limitadas demais. Devido a quê? Isso mesmo: vegetação, casas e shoppings.



Ao longo das estradas na Pensilvânia, estávamos admirando um antigo delta fluvial, bem semelhante ao Amazonas. O estado da Pensilvânia (embaixo) com a topografia devoniana mapeada acima dele.

Após a descoberta do *Hynerpeton* e de outros fósseis nessas rochas, Ted e eu mal podíamos esperar para encontrar uma rocha mais bem exposta. Se toda a nossa empreitada científica fosse se basear na recuperação de um pedacinho aqui, outro ali, seria possível responder apenas perguntas muito limitadas. Assim, adotamos uma abordagem “acadêmica”, procurando rochas da idade certa e do tipo certo em regiões do deserto. A ironia é que, no final, foi daí que saiu a idéia que embasou a maior descoberta de nossas carreiras.

Originalmente, pensamos no Alasca e no Yukon⁷ como locais potenciais para uma nova expedição, em grande parte devido às relevantes descobertas

⁵Nota da Revisora Técnica: Na escala de tempo geológica, o Devoniano é um período da era Paleozóica.

⁶Nota da Revisora Técnica: O autor utiliza o termo omoplata para descrever um osso largo, chato e triangular, situado na face dorsal do tórax ou região posterior do ombro. Em humanos, esse osso é chamado de escápula.

⁷Nota da Revisora Técnica: Yukon é um território do Canadá.

feitas por outras equipes. No final, entramos numa espécie de discussão/debate sobre esoterismo geológico, e no entusiasmo do momento, um de nós puxou de uma gaveta um velho livro universitário de geologia. Enquanto procurávamos naquelas páginas indicações sobre qual de nós estava certo, achamos um diagrama que nos tirou o fôlego: ele mostrava tudo que procurávamos.

A discussão se encerrou e o planejamento de uma nova expedição de campo teve início.

Com base nas descobertas anteriores feitas em rochas ligeiramente mais jovens, acreditávamos que antigos regatos de água corrente fossem o melhor cenário por onde começar nossa caçada. Esse diagrama trazia três áreas com rochas devonianas de água doce, cada uma delas com um sistema de delta fluvial. Primeiro, a costa leste da Groenlândia, lar do fóssil de Jenny Clack, uma criatura muito remota dotada de membros e um dos mais antigos tetrápodes conhecidos. Segundo, o leste da América do Norte, onde já havíamos trabalhado, lar do *Hynerpeton*. Havia, ainda, uma terceira área, grande, que cortava, na direção leste-oeste, o Ártico canadense. Não existem árvores, terra ou cidades no Ártico. As possibilidades eram boas de que rochas da idade e do tipo certos ali estariam extremamente bem expostas.

As exposições no Ártico canadense são velhas conhecidas, principalmente dos geólogos e paleobotânicos canadenses, que já as mapearam. Com efeito, Ashton Embry, o líder das equipes que realizaram grande parte desse trabalho, descreveu a geologia das rochas canadenses devonianas como sendo idêntica, sob vários aspectos, à geologia daquelas da Pensilvânia. Ted e eu decidimos fazer as malas no minuto em que lemos esse trecho. O que havíamos aprendido nas auto-estradas da Pensilvânia poderia nos ajudar no Alto Ártico do Canadá.

Espantosamente, as rochas árticas são ainda mais antigas que os leitos de fósseis da Groenlândia e da Pensilvânia. Por isso, a área se adequava perfeitamente aos nossos três critérios: idade, tipo e exposição. Melhor que isso: era desconhecida dos paleontólogos de vertebrados e, conseqüentemente, inexplorada por eles.

Nossos novos desafios eram totalmente diferentes dos que havíamos enfrentado na Pensilvânia. Ao longo das auto-estradas da Pensilvânia, corremos o risco de morrer atropelados pelos caminhões que passavam correndo por nós enquanto procurávamos fósseis. No Ártico, corríamos o risco de sermos devorados por ursos polares, que não tinham o que comer, ou ficarmos ilha-



O mapa que foi o início de tudo. Este mapa da América do Norte resume o que procuramos. Os diferentes tipos de sombra refletem onde rochas da era Devoniana, sejam de água do mar ou de água doce, se encontram expostas. Três áreas que foram um dia deltas fluviais estão rotuladas. Adaptação da figura 13.1, em *Evolution of the Earth*, de R. H. Dott e R. L. Batten (Nova York: McGraw-Hill, 1988). Reproduzido com a permissão da McGraw Hill.

dos devido às intempéries. Ali não era possível embalar sanduíches para levar conosco no carro até os leitos de fósseis. Teríamos agora que gastar ao menos uma semana planejando cada dia a ser passado no trabalho de campo, pois os leitos de fósseis só eram acessíveis por via aérea, e a base de suprimentos mais próxima ficava a quase 400 quilômetros de distância. De avião podíamos levar apenas comida e suprimentos para a equipe, acrescidos de uma pequena margem de segurança. E o mais importante: os rígidos limites de peso do avião impunham que transportássemos de volta somente uma pequena fração dos fósseis encontrados. Alie-se a essa limitação o pequeno período durante o ano em

que é efetivamente possível trabalhar no Ártico e fica patente que as frustrações a que estávamos sujeitos nesse cenário em muito se diferiam das enfrentadas na Pensilvânia.

Aqui entra o meu orientador de mestrado, o dr. Farish A. Jenkins, Jr., de Harvard. Farish há anos liderava expedições à Groenlândia e desfrutava da experiência necessária para levar a cabo essa aventura. O grupo estava pronto. Três gerações acadêmicas: Ted, meu ex-aluno; Farish, meu orientador de mestrado e eu iríamos partir para o Ártico a fim de tentar descobrir alguma coisa.

Não existe nenhum manual para o trabalho de campo do paleontólogo no Ártico. Ouvimos recomendações práticas de amigos e colegas e lemos a literatura disponível – apenas para nos darmos conta de que nada seria capaz de nos preparar para a expedição em si. Em nenhum outro momento sentei-me de forma mais aguda do que quando o helicóptero nos deposita pela primeira vez, totalmente sozinhos, em algum lugar esquecido do Ártico. A primeira coisa que vem à mente são os ursos polares. Não tenho idéia de quantas vezes examinei a paisagem à minha volta em busca de pontinhos brancos em movimento. Tal ansiedade pode fazer com que se comece a ver coisas. Na nossa primeira semana no Ártico, um membro do grupo viu um pontinho branco em movimento. Parecia um urso polar a cerca de meio quilômetro de distância. Partimos enlouquecidos atrás das nossas armas, sinalizadores e apitos antes de descobrir que o nosso urso era uma lebre branca do Ártico a 60 metros de distância. Na ausência de árvores e casas como referência para calcular a distância, qualquer um perde a perspectiva no Ártico.

O Ártico é um lugar grande, vazio. As rochas que nos interessavam se encontram expostas ao longo de uma área de cerca de 1.500 quilômetros de largura. As criaturas que procurávamos tinham pouco mais de um metro de comprimento. De alguma forma, era preciso definir um pequeno trecho de rochas que tivesse preservado nossos fósseis. Os avaliadores de pedidos de subsídios para pesquisa podem ser ferozes. Eles insistem nesse tipo de coisa o tempo todo. Um avaliador de um dos primeiros pedidos de subsídios para uma expedição ao Ártico foi quem melhor definiu a questão. Conforme escreveu em seu parecer (sem esbanjar cortesia, cumpre acrescentar), as chances de encontrar novos fósseis no Ártico são “menores do que encontrar a proverbial agulha no palheiro”.

Foram necessárias quatro expedições à Ilha Ellesmere ao longo de seis anos para encontrarmos nossa agulha. O acaso não ajudou muito.

Encontramos o que procurávamos por meio de tentativas, fracassos e do aprendizado provido pelos insucessos. Nossos primeiros sítios, na temporada de 1999, ficavam bem distantes, na zona ocidental do Ártico, na Ilha Melville. Não sabíamos, mas fomos depositados às margens de um antigo oceano. As rochas estavam carregadas de fósseis, e descobrimos vários tipos de peixes. O problema é que todos pareciam criaturas de águas profundas, não aquelas que esperávamos encontrar nos lagos e córregos rasos que deram origem aos animais terrestres. Empregando a análise geológica de Ashton Embry, resolvemos no ano 2000 direcionar a expedição para o leste, para a Ilha Ellesmere, pois ali as rochas abrigariam antigos leitos de água doce. Não demorou para começarmos a encontrar pedaços de ossos de peixes preservados como fósseis do tamanho de uma moeda de 25 centavos de dólar.

A verdadeira recompensa surgiu já próximo ao fim da temporada de 2000. Faltava pouco para o jantar, e cerca de uma semana para sermos resgatados de volta para casa. A equipe havia retornado ao acampamento e estávamos ocupados com as atividades do final do dia: a organização do que havia sido coletado, a redação de notas e os preparativos para o jantar. Jason Downs, então um aluno universitário ansioso para aprender paleontologia, não voltara ao acampamento na hora marcada. Isso é motivo de preocupação, já que costumamos sair em grupos e quando nos separamos sempre fornecemos um ao outro um horário definido para retomar contato. Com ursos polares na área e as tempestades violentas que podem surgir do nada, não assumimos riscos desnecessários. Lembro-me de estar sentado na tenda principal com a equipe, a preocupação com Jason aumentando a cada minuto que passava. Quando já começávamos a elaborar um plano de busca, ouvi o zíper da tenda se abrir. De início, tudo que vi foi a cabeça de Jason. Seu rosto estampava uma expressão de pasmo e ele estava sem fôlego. Quando entrou na tenda, logo vimos que não se tratava de uma emergência envolvendo um urso polar, já que sua arma continuava no coldre. A causa do atraso tornou-se clara quando, com a mão ainda trêmula, Jason puxou punhados e mais punhados de ossos fossilizados que enfiara em todos os bolsos: do casaco, das calças, da camisa e da mochila. Imagino que teria enchido as meias e sapatos se fosse capaz de fazer o caminho de volta assim. Todos aqueles ossinhos fossilizados ele coletara num sítio pequeno, do tamanho de uma vaga de estacionamento para um carro compacto, a cerca de um quilômetro e meio do acampamento. O jantar iria esperar.

Com vinte e quatro horas de luz solar no verão do Ártico, não precisávamos nos preocupar com o pôr do sol, por isso pegamos algumas barras de cho-

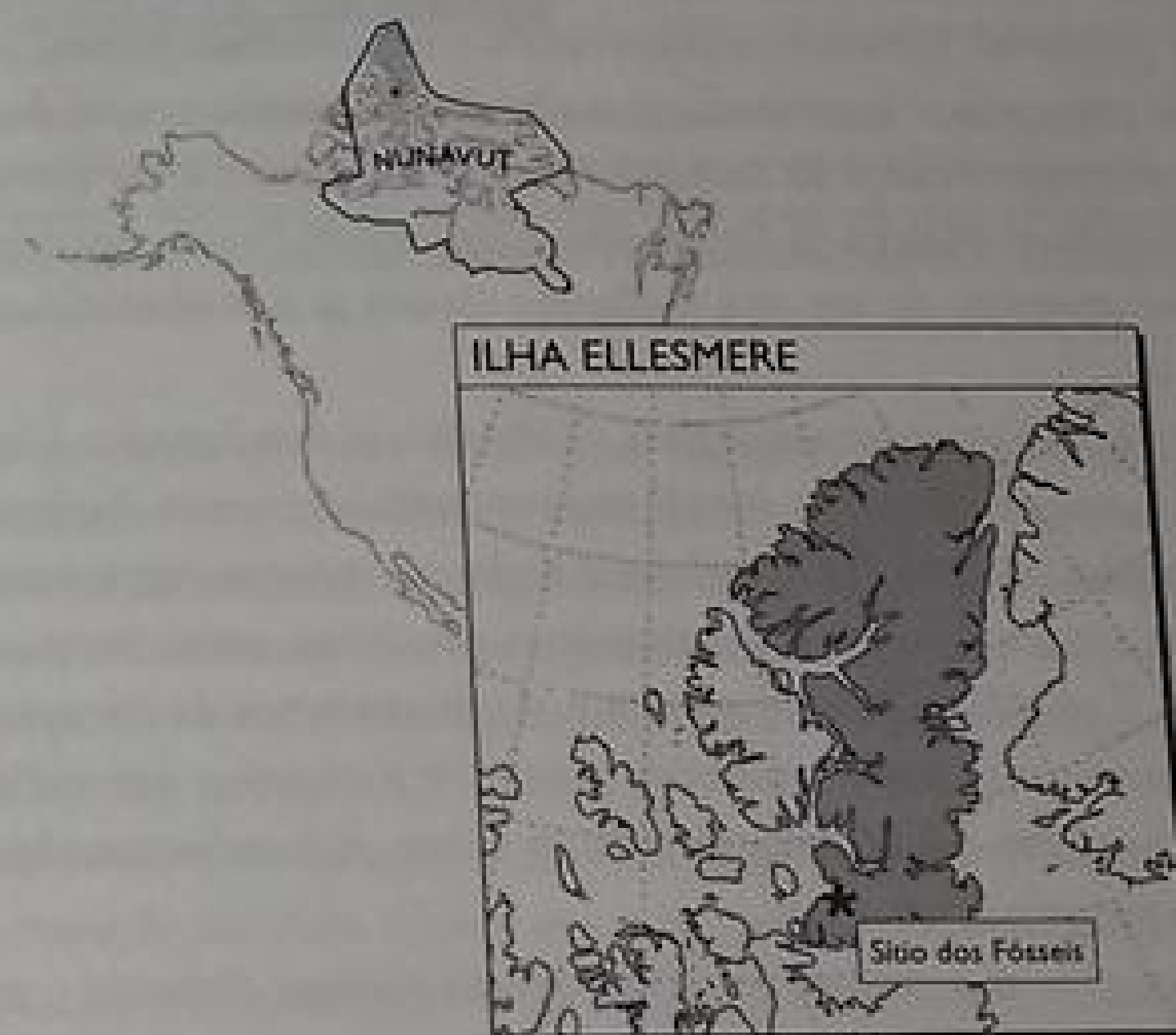


O Ártico é um lugar grande e vazio. O nosso acampamento (acima) parece minúsculo na vastidão da paisagem. Minha casa de verão (abaixo) é uma tenda pequena, em geral circundada por pilhas de pedras para protegê-la dos ventos de 80 quilômetros por hora. Fotos tiradas pelo autor.

colate e partimos para o sítio de Jason. Ficava no flanco da montanha entre dois belos vales ribeirinhos e, conforme descobrira Jason, estava coberto por um tapete de ossos fossilizados de peixes. Passamos algumas horas coletando fragmentos, tirando fotos e fazendo planos. Este sítio tinha toda pinta de ser precisamente o que procurávamos. Voltamos no dia seguinte com um novo objetivo: encontrar a camada exata de rocha que continha os ossos.

O macete era identificar a fonte da massa de fragmentos de ossos de Jason – nossa única esperança de encontrar ossadas intactas. O problema era o ambiente ártico. Todos os invernos, a temperatura cai a menos de 40 graus Fah-

renheit. No verão, quando o sol nunca se põe, as temperaturas chegam a quase 50 graus. O ciclo congelamento-degelo daí resultante esfarea as rochas da superfície e os fósseis. A cada inverno, elas esfriam e encolhem; a cada verão, esquentam e incham. Conforme incham e encolhem a cada estação ao longo de milhares de anos na superfície, os fósseis se desintegram. Diante de um grande amontoado de ossos espalhados pela montanha, não éramos capazes de identificar qualquer camada rochosa óbvia como fonte dos mesmos. Passamos vários dias seguindo as trilhas dos fragmentos, cavando covas de teste, praticamente usando nossas picaretas geológicas como varinhas de condão, de forma a ver de que lugar no penhasco emergiam os ossos. Passados quatro dias, expusemos a camada e acabamos encontrando uma ossada atrás da outra de peixes fossilizados, em geral uns por cima dos outros. Gastamos parte de dois verões trazendo à luz esses peixes.



Este é o lugar onde trabalhamos: o sul da Ilha Ellesmere, no Território Nunavut, no Canadá, a 1.000 milhas do Pólo Norte.

Infelizmente, todos os peixes que víamos pertenciam a espécies bem conhecidas, coletadas por colegas em sítios de idade similar na Europa Oriental. Para culminar, esses peixes não tinham uma relação próxima com animais de vida terrestre. Em 2004, resolvemos fazer nova tentativa. Era uma situação

de vida ou morte. As expedições árticas eram proibitivamente caras, e uma descoberta excepcional teríamos que dar o assunto por encerrado.

Tudo mudou no espaço de quatro dias no início de julho de 2004. Eu estava quebrando pedras no pé da pedreira; na verdade, mais gelo que pedra. Parti o gelo e vi algo que jamais esquecerei: um fragmento de escamas diferentes de tudo que eu já vira antes na pedreira. Esse fragmento levou a uma outra bolota coberta de gelo. Parecia um par de mandíbulas. Mas não se pareciam com as mandíbulas de nenhum peixe que eu conhecesse. Davam a impressão de pertencer talvez a uma cabeça chata.

Um dia depois, meu colega Steve Gatesy quebrava pedras no topo da pedreira quando removeu uma pequena pedra do tamanho de um punho, revelando a boca de um animal que olhava diretamente para ele. Exatamente como o meu peixe coberto de neve no fundo da cova, este tinha uma cabeça chata. Era algo novo e importante, mas ao contrário do meu peixe, o de Steve tinha genuíno potencial. Estávamos observando a extremidade frontal, e o restante da ossada permanecia incrustado na rocha. Steve passou o resto do verão retirando pedaço por pedaço da rocha para que pudéssemos levar a ossada inteira para o laboratório e limpá-la. O trabalho magistral de Steve com este espécime levou à recuperação de um dos melhores fósseis já descobertos na transição água-terra.

Os espécimes que levamos para o laboratório nos Estados Unidos eram pouco mais que pedregulhos com fósseis em seus interiores. Ao longo de dois meses, a rocha foi quebrada, pedaço a pedaço, quase sempre manualmente com instrumentos dentários, ou pequenas picaretas, pelos preparadores no laboratório. Todo dia surgia uma parte nova da anatomia da criatura fossilizada. Quase sempre que um segmento grande era exposto, aprendíamos algo novo sobre a origem dos animais de vida terrestre. Aprendíamos algo novo sobre a nossa própria anatomia.

O que vimos aos poucos emergir dessas rochas durante o outono de 2004 foi um belo intermediário entre um peixe e um animal de vida terrestre. Os peixes e esses animais diferem sob vários aspectos. Os peixes possuem cabeças cônicas, enquanto os primeiros animais de vida terrestre têm cabeças que se assemelham às dos crocodilos – chatas, com os olhos no topo. Os peixes não têm pescoço: seus ombros se ligam à cabeça por uma série de placas ósseas. Os primeiros animais de vida terrestre, como todos os seus descendentes, têm pescoço, ou seja, suas cabeças podem se inclinar independentemente dos ombros.

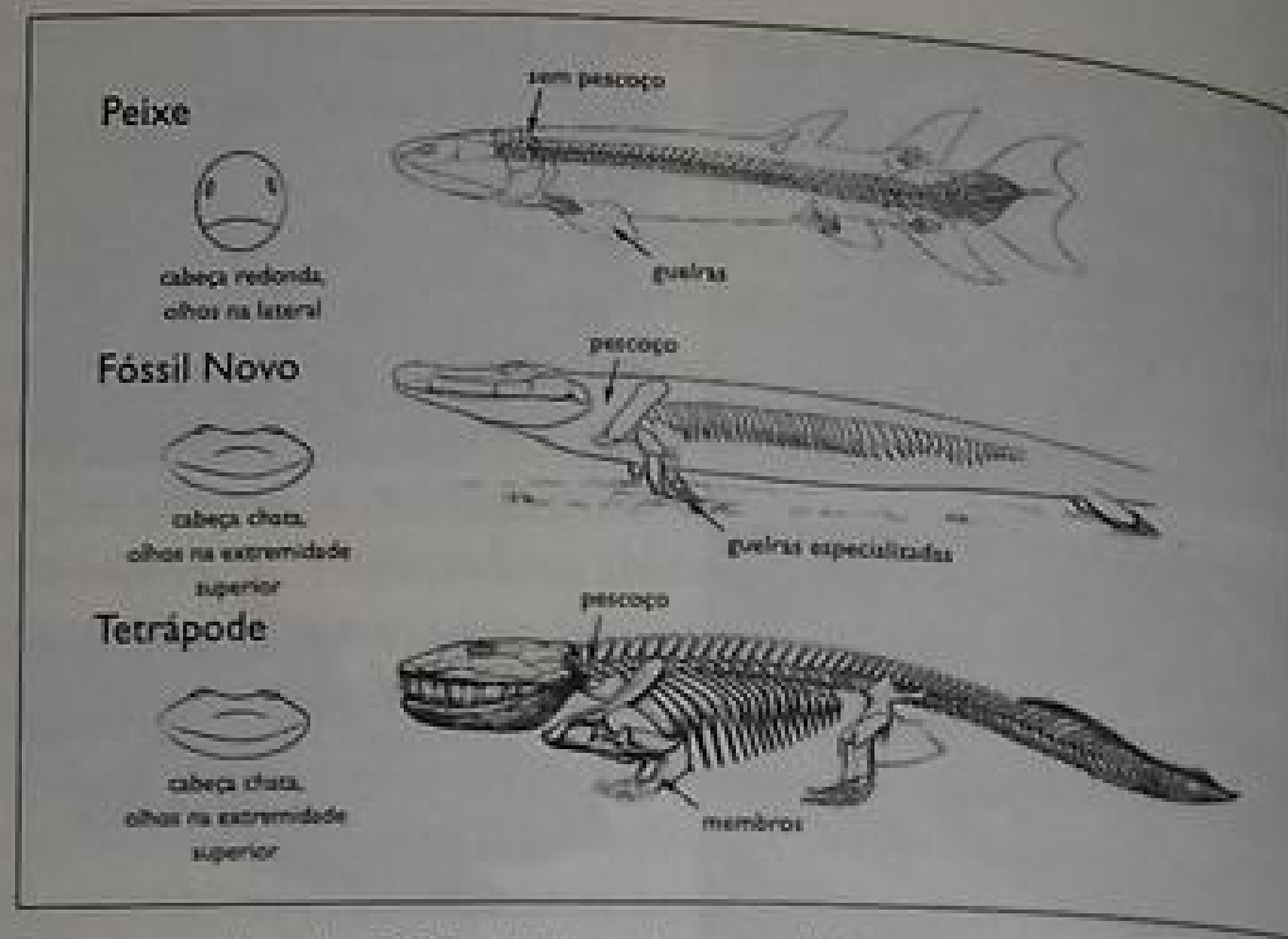


O processo de descoberta de fósseis começa com uma massa numa rocha, gradualmente revelada com o tempo. Aqui mostro um fóssil em sua viagem do campo para o laboratório, onde é cuidadosamente preparado como um espécime: a ossada do novo animal. Foto cedida por Ted Daeschler, Academia de Ciências Naturais da Filadélfia.

Existem outras grandes diferenças. Os peixes possuem escamas sobre seus corpos; os animais de vida terrestre, não. Igualmente importante é o fato de os peixes terem nadadeiras, enquanto os animais de vida terrestre possuem membros com dedos nas mãos e pés, punhos e tornozelos. Podemos continuar nessas comparações e elaborar uma comprida lista das diferenças entre peixes e animais de vida terrestre.

No entanto, o nosso novo peixe pôs abaixo a distinção entre esses dois tipos diversos de animais. Como um peixe, ele possuía escamas nas costas e nadadeiras. Entretanto, como os primeiros animais de vida terrestre, tinha uma cabeça chata e um pescoço. E quando observamos o interior da nadadeira, vimos ossos que correspondem ao braço, ao antebraço e até partes do punho. As juntas também estavam presentes: este era um peixe com ombro, cotovelo e articulações do punho. Tudo isso dentro de uma nadadeira com bordas.

Praticamente todas as características que esta criatura compartilha com as criaturas de vida terrestre parecem muito primitivas. Por exemplo, o formato e as várias cristas no osso do “braço” do peixe, o úmero, sugerem parcial-



Esta imagem diz tudo. O Tiktaalik é um intermediário entre os peixes e os animais primitivos de vida terrestre.

mente um peixe, parcialmente um anfíbio. O mesmo se aplica ao formato do crânio e do ombro.

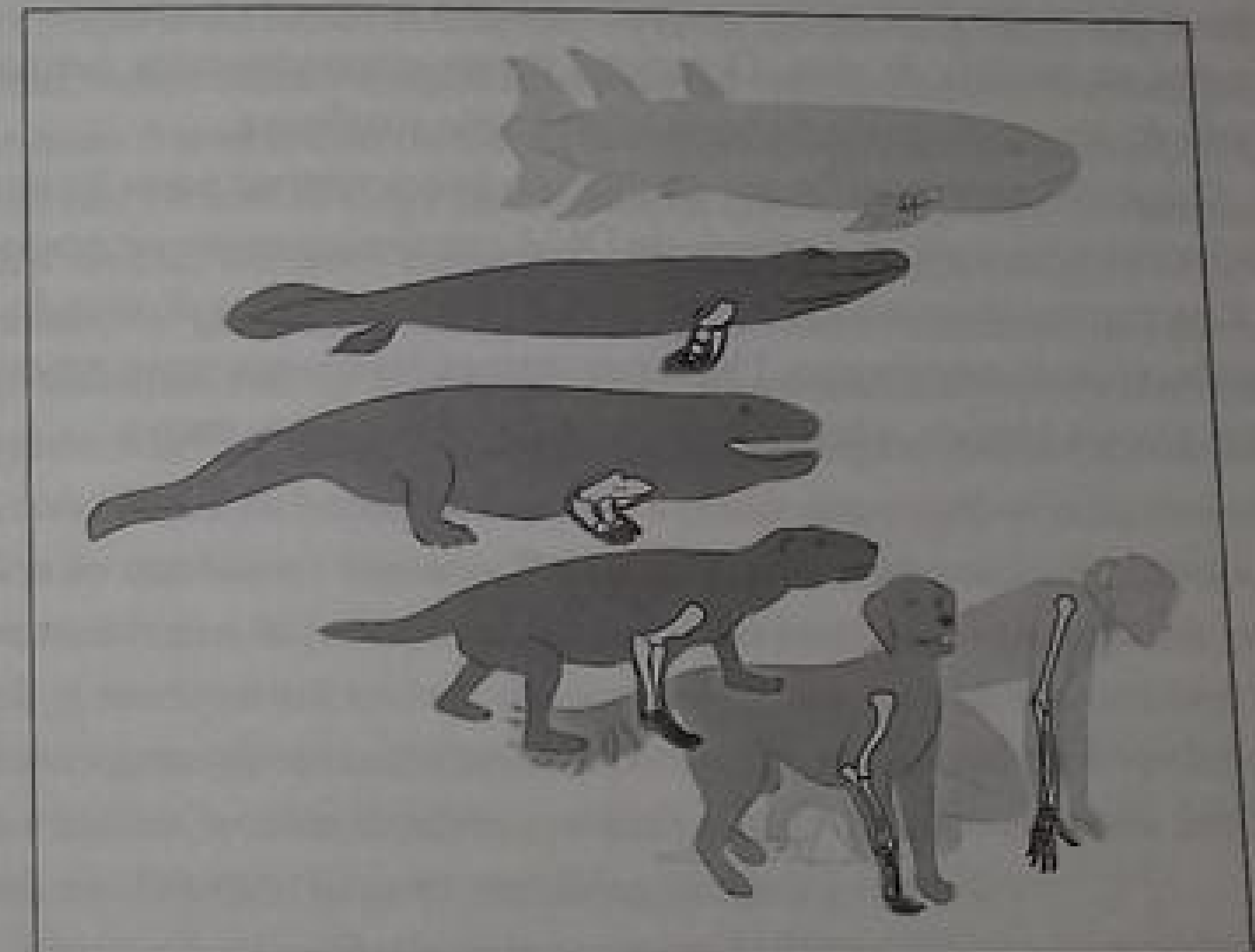
Levamos seis anos para encontrá-lo, mas esse fóssil confirmou uma previsão da paleontologia: não só o novo peixe era um intermediário entre dois tipos distintos de animal, mas também o havíamos encontrado no período correto da história da Terra e no cenário antigo correto. A resposta veio de rochas de 375 milhões de anos, formadas em córregos antigos.

Como descobridores da criatura, Ted, Farish e eu tivemos o privilégio de lhe dar um nome científico formal. Queríamos que esse nome refletisse sua proveniência do Território Nunavut do Ártico e a nossa dívida com o povo Inuit por nos ter permitido trabalhar ali. Convidamos o Conselho dos Anciãos de Nunavut, oficialmente conhecido como Inuit Qaujimajatuqangit Katimajit, para cunhar um nome no idioma inuktitut. Minha preocupação óbvia era que um comitê chamado Inuit Qaujimajatuqangit Katimajit propusesse um nome científico impossível de ser pronunciado. Enviei-lhes uma foto do fóssil, e os anciãos apresentaram duas sugestões: *Siksagiat* e *Tiktaalik*. Ficamos com *Tiktaalik* por ser relativamente fácil de pronunciar para quem não fala a língua inuktitut e devido ao seu significado em inuktitut: "peixe grande de água doce".

A história do *Tiktaalik* apareceu em vários jornais no mês seguinte ao anúncio da descoberta em abril de 2006, inclusive com destaque em veículos

como o *The New York Times*. Tal atenção me proporcionou uma semana impar na minha vida usualmente pacata, embora para mim o momento supremo de todo o alvoroço da mídia não tenha sido ver as charges políticas ou ler a cobertura editorial e as discussões inflamadas nos blogs. Esse momento teve lugar na escola maternal do meu filho.

Em meio ao burburinho da imprensa, a professora do maternal do meu filho me pediu para levar o fóssil à escola e descrevê-lo. Obedientemente, levei um molde do *Tiktaalik* para mostrá-lo à turma de Nathaniel, preparado para o caos que ele provocaria. Os vinte alunos de quatro e cinco anos mostraram um respeito surpreendente enquanto eu descrevia como havíamos trabalhado no Ártico para encontrar o fóssil e lhes mostrava os dentes afiados do animal. Então, perguntei às crianças o que eles achavam que estavam vendo. Várias mãos se ergueram. O primeiro aluno disse que era um crocodilo ou jacaré. Quando indagado por quê, respondeu que, assim como um crocodilo ou lagarto, o animal tinha uma cabeça chata com olhos no topo, além de dentes compridos. Outras crianças se apressaram a discordar. Apontando para uma das mãos erguidas, ouvi: "Não, não é um crocodilo, é um peixe, porque tem escamas e nadadeiras." Uma outra gritou: "Quem sabe não é os dois?". A mensagem do *Tiktaalik* é tão direta que até alunos do maternal a entendem.



Rastreando os ossos dos "braços" do peixe até os humanos.

Para as nossas finalidades, existe uma noção ainda mais profunda no *Tiktaalik*. Este peixe não nos fala apenas de peixes, ele também contém um pedaço de nós. A busca de tal ligação foi o que, para começar, me levou ao Ártico.

Como posso ter tanta certeza de que esse fóssil diz algo sobre o meu próprio corpo? Consideremos o pescoço do *Tiktaalik*. Todos os peixes anteriores a ele têm um conjunto de ossos que unem o crânio ao ombro, de modo que toda vez que o animal curva o corpo, a cabeça também se curva. O *Tiktaalik* é diferente. A cabeça é totalmente desligada do ombro. Todo esse arranjo é partilhado com os anfíbios, os répteis, os pássaros e os mamíferos, inclusive conosco. Toda essa guinada pode ser rastreada até a perda de um punhado de pequenos ossos em um peixe como o *Tiktaalik*.

Posso fazer uma análise similar quanto aos punhos, as costelas, as orelhas e outras partes do nosso esqueleto – todas essas características são rastreáveis até um peixe como esse. O fóssil é tão parte da nossa história quanto os homínidos africanos, como o *Australopithecus afarensis*, a famosa “Lucy”. Ao ver Lucy, entendemos a nossa história como primatas altamente avançados. Ao ver o *Tiktaalik* vemos a nossa história como peixes.

Assim, o que aprendemos aqui? O nosso mundo é de tal forma ordenado que é possível passear por um zoológico e prever os tipos de fósseis que residem nas diferentes camadas de rochas em todo o mundo. Essas previsões são capazes de ensejar descobertas de fósseis que nos falem sobre acontecimentos remotos na história da vida. O registro desses acontecimentos permanece dentro de nós, como parte da nossa organização anatômica.

O que não mencionei foi que também podemos rastrear nossa história no interior dos nossos genes, por meio do DNA que ajuda a construir nosso corpo. Esse registro do nosso passado não se encontra nas rochas do mundo, mas em cada célula do nosso corpo. Usaremos tanto os fósseis quanto os genes para contar a nossa história, a história de como foi feito o nosso corpo.

CAPÍTULO 2

ADQUIRINDO
CONTROLE

É impossível esquecer a visão do laboratório de anatomia da faculdade de medicina. Imagine-se entrando numa sala onde você irá passar vários meses desmembrando um corpo humano, camada a camada, órgão a órgão, tudo isso como forma de aprender dezenas de milhares de nomes e estruturas corporais novos.

Nos meses que antecederam a minha primeira dissecação de um corpo humano, preparei-me tentando imaginar o que veria, como reagiria e o que sentiria. No final, o meu mundo imaginário acabou por não me preparar em nada para a experiência. No momento em que removemos o lençol e vi o corpo pela primeira vez, ela não foi nem de longe tão estressante quanto eu esperara. Teríamos que dissecar o peito, por isso o expusemos, deixando a cabeça, os braços e as pernas envolvidos em gaze empapada de líquido preservador. Os tecidos não pareciam muito humanos. Por ter sido tratado com várias substâncias para preservação, o corpo não sangrou quando foi cortado, e a pele e os órgãos internos apresentavam uma consistência de borracha. Comecei a pensar que o cadáver mais parecia um boneco do que um ser humano. Passaram-se algumas semanas enquanto expúnhamos os órgãos do peito e do abdome. Acabei me achando um rematado profissional; já tendo visto a maioria dos órgãos internos, eu desenvolvera uma autoconfiança pretensiosa com relação à experiência como um todo. Fiz minhas dissecações iniciais, minhas incisões, e entendi a anatomia da maior parte dos órgãos principais. Era tudo bastante mecânico, distante e científico.

Essa confortável ilusão ruiu por terra de forma abrupta quando desvelei a mão. Quando desenrolei a gaze dos dedos – quando vi as juntas, as pontas dos

dedos e as unhas pela primeira vez —, descobri emoções que haviam permanecido ocultas durante as semanas anteriores. Aquilo não era um boneco nem um manequim. Aquilo havia sido um dia uma pessoa viva, que usara essa mão para segurar e acariciar. De repente, o exercício mecânico — a dissecação — tornou-se profunda e emocionalmente pessoal. Até então, eu estivera cego à minha ligação com o cadáver. Já expusera o estômago, a vesícula e outros órgãos, mas quem em sã consciência estabelece uma ligação humana diante da visão de uma vesícula biliar?

O que existe na mão que nos parece tão fundamentalmente humano? A resposta tem que ser, em certo nível, que a mão é uma ligação visível entre nós, uma assinatura atestando quem somos e o que podemos alcançar. Nossa capacidade de agarrar, de construir e de transformar em realidade as nossas idéias reside neste complexo de ossos, nervos e vasos.

A primeira coisa de que nos damos conta ao ver o interior da mão é como ela é compacta. A protuberância arredondada do polegar contém quatro músculos diferentes. Gire o polegar e incline a mão: dez músculos distintos e, no mínimo, seis ossos diferentes trabalham harmonicamente. No punho existem oito pequenos ossos que se movem uns contra os outros. Ao dobrar o punho, usamos uma série de músculos que começam no braço, expandindo-se em tendões conforme descem pelo antebraço para terminar na mão. Até o mais simples dos movimentos envolve uma interação complexa entre várias partes encaixadas em um pequeno espaço.

A relação entre complexidade e humanidade no interior de nossas mãos há muito fascina os cientistas. Em 1822, o eminente cirurgião escocês Sir Charles Bell escreveu o livro clássico sobre a anatomia das mãos. O título já diz tudo: *As mãos, seu mecanismo e dotes vitais como evidência de um projeto*. Para Bell, a estrutura da mão era “perfeita”, por ser complexa e perfeitamente adequada ao nosso estilo de vida. Essa perfeição planejada só podia ter origem divina.

O grande anatomista Sir Richard Owen foi um dos cientistas pioneiros nessa busca do ordenamento divino em nosso corpo. Teve o privilégio de ser um anatomista em meados do século XIX, quando ainda existiam tipos totalmente novos de animais a serem descobertos nos extremos remotos da Terra. À medida que mais e mais áreas do mundo iam sendo exploradas pelos ocidentais, todo tipo de criaturas exóticas acabou indo parar em laboratórios e museus. Owen descreveu o primeiro gorila, trazido por expedições realizadas na África central. Cunhou o nome “dinossauro” para um novo tipo de criatura

fóssil descoberta nas rochas da Inglaterra. Seu estudo dessas novas criaturas bizarras lhe forneceu idéias especiais: ele começou a ver padrões importantes no aparente caos da diversidade da vida.

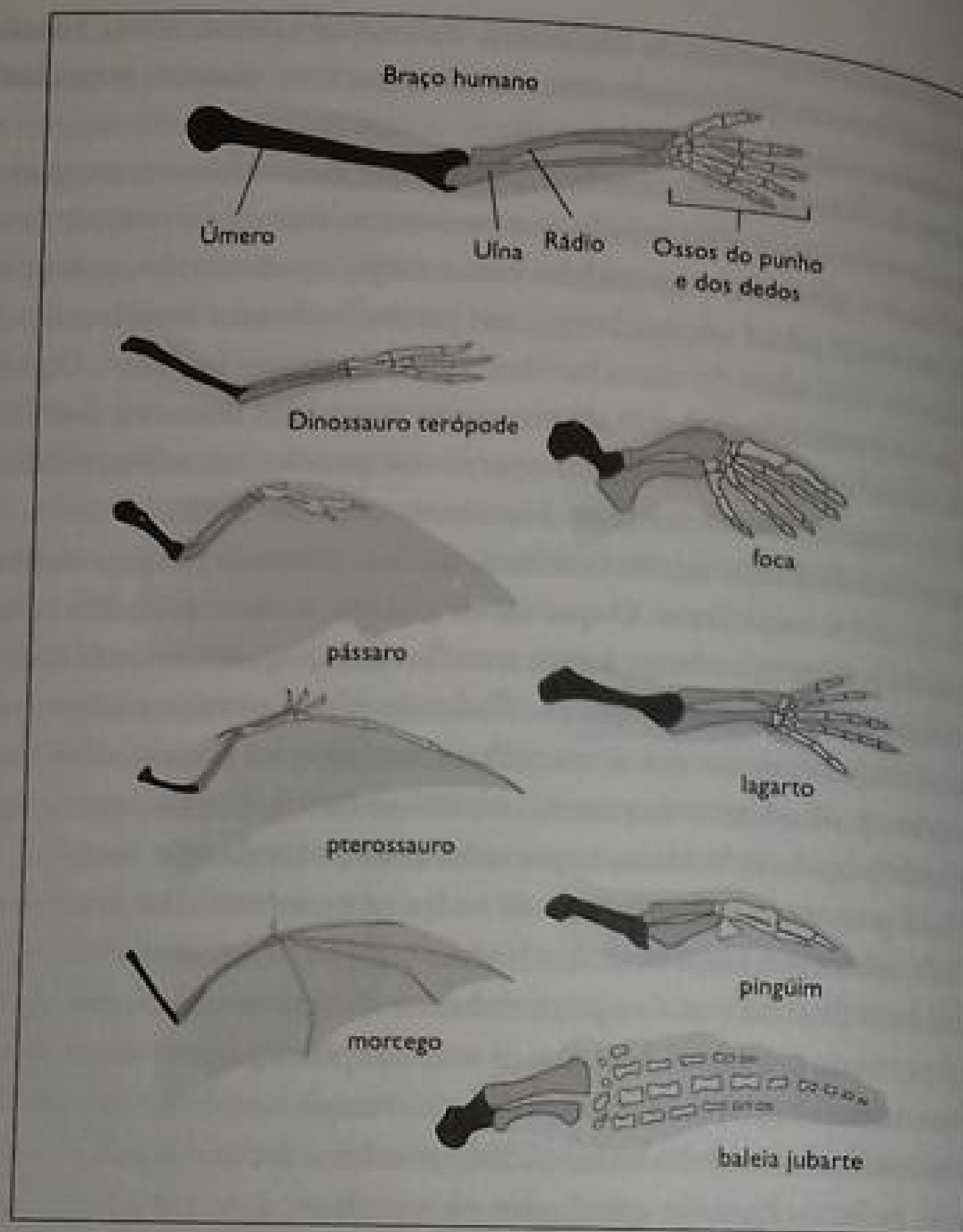
Owen descobriu que nossos braços e pernas, pés e mãos se encaixavam em um esquema maior. Viu aquilo que os anatomistas que o precederam há muito sabiam — que existe um padrão para o esqueleto de um braço humano: um osso no braço, dois no antebraço, um punhado de oito ossinhos nos punhos e depois uma série de cinco bastões¹ que constituem os dedos. O padrão dos ossos na perna humana é mais ou menos o mesmo: um osso, dois ossos, muitas bolotas² e cinco dedos. Ao comparar esse padrão com a diversidade das ossadas no mundo, Owen fez uma descoberta notável.

A genialidade de Owen não consistiu em se concentrar no que tornava diferentes os vários esqueletos. O que ele descobriu, e mais tarde difundiu em uma série de palestras e obras, foram *semelhanças excepcionais* entre criaturas tão distintas quanto peixes e homens. Todas as criaturas com membros, sejam estes asas, nadadeiras ou mãos, partilham um mesmo projeto. Um osso, o úmero no braço ou o fêmur na perna, articula-se com dois ossos, que se ligam a uma série de pequenas bolotas, conectadas com dedos da mão ou do pé. Esse padrão está presente na arquitetura de todos os membros. Seu desejo é fazer uma asa de morcego? Faça os dedos bem compridos. Um cavalo? Alongue os dedos centrais da mão e os dos pés e reduza e afrouxe os das extremidades. E quanto à perna de um sapo? Alongue os ossos da perna e funda vários deles. As diferenças entre as criaturas residem em diferenças nos formatos e tamanhos dos ossos e no número de bolotas, dedos das mãos e dedos dos pés. Apesar das mudanças radicais naquilo que fazem os membros, e na sua aparência, essa planta básica está sempre presente.

Para Owen, ver um design nos membros foi apenas o começo: quando observou crânios e espinhas dorsais, na verdade quando examinou toda a arquitetura do corpo, ele descobriu a mesma coisa. Existe um design básico no esqueleto de todos os animais. Sapos, morcegos, humanos e lagartos são todas variações sobre um mesmo tema. Esse tema, para Owen, era o plano do Criador.

¹Nota da Revisora Técnica: O autor utiliza a palavra *rods* (texto original em inglês) para descrever de forma geral e simples o aspecto alongado dos ossos que compõem os dedos das mãos e dos pés.

²Nota da Revisora Técnica: O autor utiliza a palavra *blobs* (texto original em inglês) para descrever de forma bem-humorada os ossos carpais e tarsais, que fazem parte, respectivamente, da mão e do pé, cuja forma tem aspecto arredondado.



O planejamento para todos os membros: um osso, seguido por dois ossos, seguido por pequenas bolotas, seguidas por dedos das mãos ou dos pés.

Pouco depois que Owen anunciou essa observação no seu trabalho clássico *Sobre a natureza dos membros*, Charles Darwin forneceu uma explanação elegante sobre ela. O motivo por que a asa de um morcego e o braço de um ser humano partilham o mesmo padrão esquelético é porque ambos partilham o mesmo ancestral. O mesmo raciocínio se aplica aos braços humanos e às asas dos pássaros, às pernas humanas e às dos sapos – de tudo que possua membros. Existe uma enorme diferença entre a teoria de Owen e a de Darwin: a de Darwin nos permite fazer previsões muito precisas. Acompanhando Darwin, esperaríamos descobrir que a planta de Owen tem uma história que será reve-

lada em criaturas totalmente desprovidas de membros. Onde, então, procurar a história do padrão dos membros? Basta olhar para os peixes e os esqueletos de suas nadadeiras.

OBSERVANDO O PEIXE

Na época de Owen e Darwin, o abismo entre nadadeiras e membros parecia intransponível. As nadadeiras dos peixes não apresentam semelhança óbvia alguma com membros. Por fora, a maioria delas é em grande parte constituída de membrana. Os nossos membros nada têm que se compare a isso, assim como os membros de qualquer outra criatura viva dos nossos dias. As comparações não se tornam mais fáceis quando se remove a membrana para ver o esqueleto por dentro. Na maioria dos peixes não há nada que possa ser comparado ao padrão de Owen de “um osso, dois ossos, montes de bolotas, dedos”. Todos os membros possuem um único osso longo na base: o úmero na extremidade superior do braço ou o fêmur na extremidade superior da perna. Nos peixes, o esqueleto completo comporta-se de maneira diferente. A base de uma nadadeira típica possui quatro ou mais ossos internamente.

No entanto, em meados do século XIX, os anatomistas começaram a entrar em contato com misteriosos peixes que habitavam os continentes do sul. Um dos primeiros foi descoberto por anatomistas alemães que trabalhavam na América do Sul. Parecia um peixe normal, com nadadeiras e escamas, mas por trás da garganta apresentava grandes sacos vasculares: pulmões. A criatura, porém tinha escamas e nadadeiras. Tão confusos ficaram seus descobridores que batizaram a criatura de *Lepidosiren paradoxa*,³ “anfíbio paradoxalmente escamado”. Em inglês, o *Lepidosiren* é chamado de “peixe pulmonado”. Outros peixes com pulmões não tardaram a ser encontrados na África e na Austrália. Exploradores africanos levaram um deles para Owen. Cientistas como Thomas Huxley e o grande anatomista alemão Carl Gegenbaur consideraram os peixes pulmonados basicamente um cruzamento entre um anfíbio e um peixe. Os nativos os consideravam deliciosos.

Um padrão aparentemente trivial na nadadeira desses peixes produziu um profundo impacto na ciência. As nadadeiras dos peixes pulmonados têm na base um único osso que se liga ao ombro. Para os anatomistas, a compara-

³Nota da Revisora Técnica: Comumente conhecido como pirambóia.

ção era óbvia. O nosso braço tem um único osso, e esse único osso, o úmero, se liga ao nosso ombro. O peixe pulmonado é um peixe com um úmero. Curioso, também possui pulmões. Coincidência?

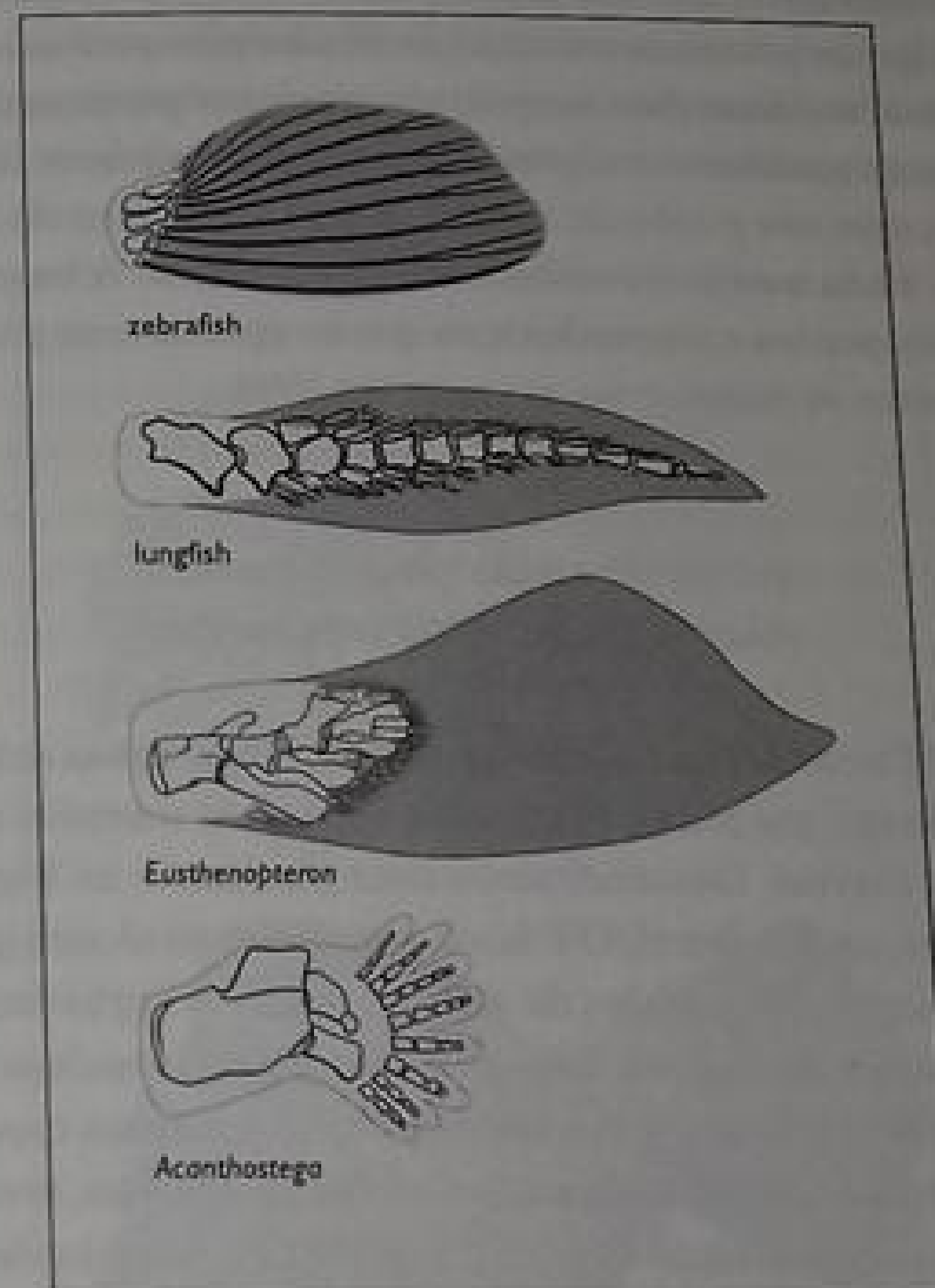
Conforme alguns desses espécimes vivos iam ficando conhecidos no século XIX, pistas começaram a surgir de outra fonte. Como é fácil supor, essas idéias surgiram a partir de peixes antigos.

Um dos primeiros desses fósseis veio das margens da Península Gaspé, em Quebec, de rochas com cerca de 380 milhões de anos. O peixe recebeu um nome de dar nó na língua: *Eusthenopteron*. O *Eusthenopteron* apresentava uma surpreendente mistura de características observadas em anfíbios e peixes. Do projeto “um osso-dois ossos-pequenas bolotas-dedos” de Owen para os membros, o *Eusthenopteron* possuía a parte “um osso-dois ossos”, mas em uma nadadeira. Ou seja, alguns peixes tinham estruturas semelhantes às encontradas em um membro. O arquétipo de Owen não era uma parte divina e eterna de todo ser vivo. Tinha uma história, e essa história seria descoberta em rochas da Era Devoniana, rochas que contam entre 390 e 360 milhões de anos. Esse lampejo profundo definiu todo um novo programa de pesquisa com uma agenda totalmente de pesquisas: em algum lugar nas rochas devonianas seria possível encontrar a origem dos dedos das mãos e dos pés.

Na década de 1920, as rochas forneceram mais surpresas. Um jovem paleontólogo sueco, Gunnar Save-Soderbergh, teve a extraordinária oportunidade de explorar a costa leste da Groenlândia em busca de fósseis. A região era uma incógnita, mas Save-Soderbergh percebeu que ali se achavam enormes depósitos de rochas devonianas. Ele foi um dos grandes paleontólogos de campo de todos os tempos, que ao longo de sua curta carreira descobriu fósseis notáveis, dono ao mesmo tempo de um ousado espírito explorador e uma atenção precisa aos detalhes (infelizmente, morreu tragicamente ainda jovem, devido à tuberculose, logo depois do impressionante sucesso de suas expedições de campo). Em expedições realizadas entre 1929 e 1934, a equipe de Save-Soderbergh descobriu o que, na época, foi rotulado de um importante elo perdido. Jornais em todo o mundo alardearam a descoberta, editoriais analisaram sua relevância, charges zombaram dela. Os fósseis em questão eram verdadeiros mosaicos: possuíam cabeças como as de peixes e caudas, porém também apresentavam membros integralmente formados (com dedos das mãos e dos pés), bem como vértebras extraordinariamente similares às dos anfíbios. Após a morte de Save-Soderbergh, os fósseis foram descritos por seu amigo e

colega Erik Jarvik, que deu a uma das novas espécies o nome de *Ichthyostega soderberghi* em homenagem ao amigo.

Para a nossa história, o *Ichthyostega* é uma decepção. Sem dúvida se trata de um notável intermediário na maior parte das características da cabeça e das costas, mas acrescenta muito pouco a respeito da origem dos membros, porque, como qualquer outro anfíbio, possui dedos nas mãos e nos pés. Outra criatura, que despertou pouca atenção quando mencionada por Save-Soder-



A nadadeira da maioria dos peixes – por exemplo, a zebrafish (acima) – possui grandes quantidades de faixas de tecido e muitos ossos na base. O lungfish chamou a atenção das pessoas porque assim como nós eles têm um único osso na base do membro. O *Eusthenopteron* (meio) mostrou como os fósseis começaram a preencher as lacunas; ele tem ossos que se comparam ao nosso braço e antebraço. O *Acanthostega* (embaixo) já possui dedos, a base do membro possui um esqueleto com um padrão semelhante ao dos ossos do *Eusthenopteron*.

bergh, viria a fornecer subsídios genuínos décadas mais tarde. Esse segundo animal dotado de membros permaneceria um enigma até 1988, quando uma colega minha paleontóloga, Jenny Clack, voltou aos sítios de Save-Soderbergh e encontrou mais fósseis da mesma criatura. Chamada *Acanthostega* nos idos da década de 1920 com base nos fragmentos de Save-Soderbergh, ela revelava agora membros desenvolvidos, com dedos nas mãos e no pé, mas trazia também uma completa surpresa: Jenny descobriu que o membro tinha o formato de uma nadadeira quase idêntica à de uma foca. Para ela, isso sugeria que os primeiros membros teriam surgido para ajudar os animais a nadar e não a caminhar. Esse lampejo constituiu um progresso significativo, mas restava um problema: o *Acanthostega* possuía membros totalmente desenvolvidos, com um punho de verdade e sem membrana de nadadeira. O *Acanthostega* tinha membros, embora muito primitivos. A busca das origens das mãos e pés, punhos e tornozelos teria que mergulhar mais profundamente no tempo. Assim se mantiveram as coisas até 1995.

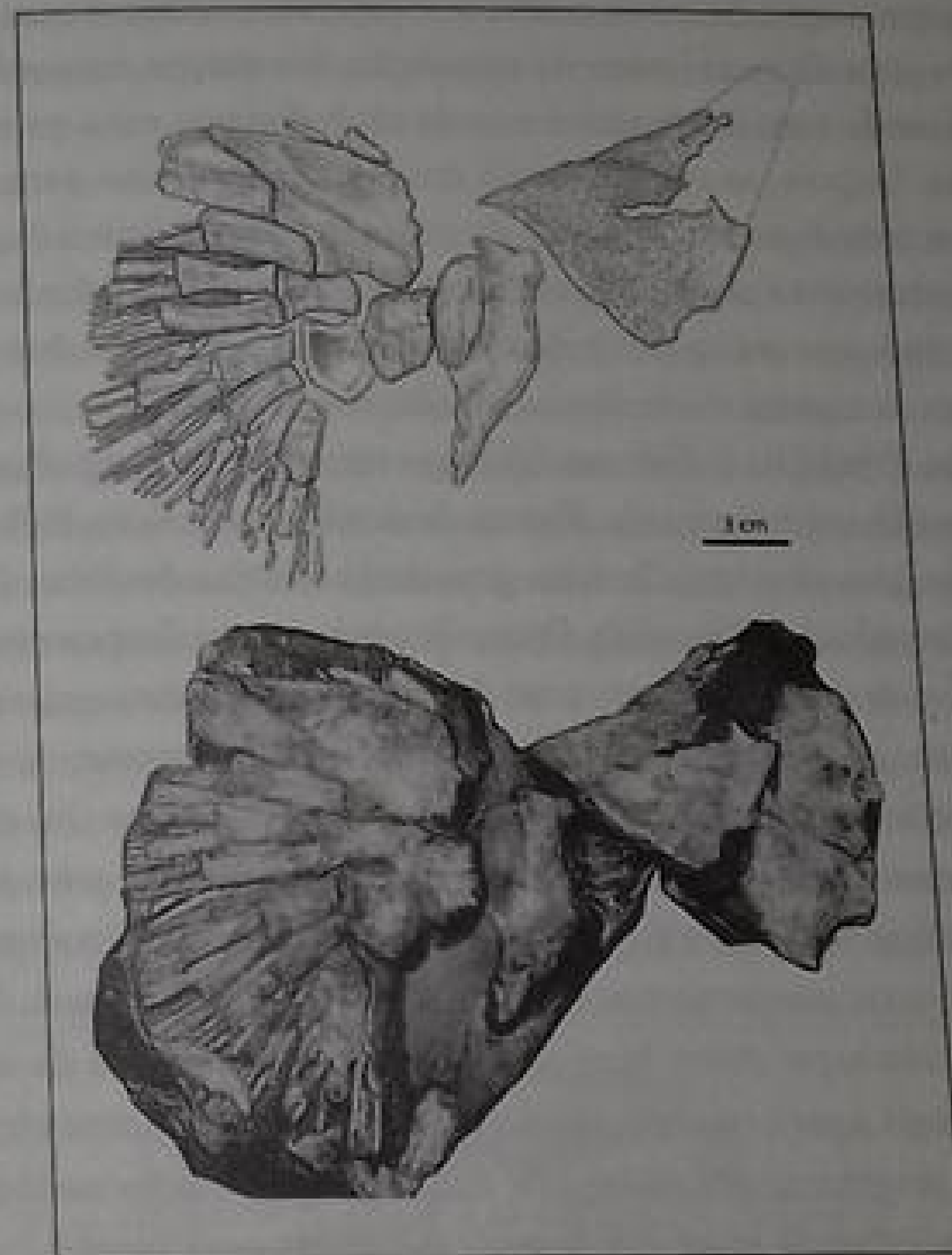
ENCONTRANDO OS DEDOS DAS MÃOS E OS PUNHOS DOS PEIXES

Em 1995, Ted Daeschler e eu acabávamos de retornar à casa dele na Filadélfia depois de dirigir por toda a Pensilvânia central na tentativa de encontrar novas estradas abertas. Descobríamos uma fascinante na Via 15 ao norte de Williamsport, onde a PennDOT havia gerado um penhasco gigantesco de arenito com cerca de 365 milhões de anos de idade. O órgão estadual obviamente dinamitara o penhasco e deixara pilhas de pedregulhos ao longo da auto-estrada. Tratava-se de um cenário perfeito para a nossa caçada a fósseis, e nos detivemos para sair engatinhando sobre os pedregulhos, muitos deles do tamanho de um pequeno forno de microondas. Em alguns, havia escamas de peixe espalhadas por todo lado, razão pela qual decidimos levar um punhado conosco para a Filadélfia. Ao chegarmos de volta à casa de Ted, sua filhinha de 4 anos, Daisy, veio correndo receber o pai e nos perguntou sobre nossos achados.

Ao mostrar a Daisy um dos pedregulhos, percebemos de repente que projetando-se dele havia um pedacinho de barbatana pertencente a um peixe grande. Isso nos escapara por completo no campo. E, como viríamos a descobrir, esta não era uma barbatana comum: claramente continha um monte de

ossos em seu interior. Os trabalhadores do laboratório levaram cerca de um mês para remover a barbatana do pedregulho – e ali, exposto pela primeira vez, estava um peixe com o padrão de Owen. Bem próximo ao corpo havia um osso. Este se ligava a dois ossos. Estendendo-se a partir da barbatana havia cerca de oito hastes. Para todo mundo aquilo parecia um peixe com dedos.

Nossa barbatana tinha um conjunto completo de membrana, escamas e até mesmo um ombro como o de um peixe, mas bem lá dentro estavam ossos que correspondiam a boa parte do membro “standard”. Infelizmente, só contávamos com uma barbatana isolada. Precisávamos encontrar um local onde corpos inteiros de criaturas pudessem ser recuperados intactos. Uma única barbatana isolada jamais nos ajudaria a responder às perguntas reais: com que finalidade a



Nossa torturante barbatana. Infelizmente, encontramos apenas este espécime isolado. Diagrama granuloso usado com a permissão de Scott Rawlins, da Universidade de Arcadia. Foto tirada pelo autor.

criatura usava as barbatanas, e teriam elas ossos e juntas que funcionavam como os nossos? A resposta só poderia ser obtida de ossadas inteiras.

Tivemos que pesquisar por quase dez anos para chegar a essa descoberta. E não fui o primeiro a perceber o que buscávamos. Os primeiros foram dois preparadores profissionais do fóssil, Fred Mullison e Bob Masek. Os preparadores utilizam instrumentos dentários para raspar as rochas que encontramos no campo e dessa forma expor os fósseis em seu interior. Um preparador pode levar meses, se não anos, para transformar um grande pedregulho recheado de fóssil em um belo espécime, adequado à pesquisa.

Durante a expedição de 2004, coletáramos três pedaços de rocha, cada um do tamanho aproximado de um pequeno microondas, do período Devoniano da Ilha Ellesmere. Cada qual continha um animal de cabeça chata: o que encontrei no gelo ao pé da pedreira, o espécime de Steve e um terceiro que descobrimos na última semana da expedição. No campo, removêramos as cabeças, deixando uma parte suficiente da rocha intacta para ser explorada no laboratório. Depois, as rochas foram envolvidas em gesso para a viagem de volta. Abrir esse tipo de invólucro de gesso no laboratório é mais ou menos como encontrar uma cápsula do tempo. Pedacinhos da tundra ártica estão lá, bem como todas as anotações e observações que fazemos sobre o espécime. Até o cheiro da tundra exala desses invólucros de gesso.

Fred na Filadélfia e Bob em Chicago raspavam pedregulhos diferentes mais ou menos na mesma época. De um desses blocos árticos, Bob extraía um determinado osso pequeno de uma grande nadadeira do Peixe (ainda não o havíamos batizado de *Tiktaalik*). O que distinguía esse fragmento de osso em forma de cubo de qualquer outro osso de nadadeira era uma articulação na extremidade que apresentava espaços para quatro outros ossos, ou seja, o fragmento se parecia assustadoramente com um osso do punho — mas as nadadeiras no bloco que Bob preparava estavam muito misturadas para afirmar com certeza. O indício seguinte veio da Filadélfia, uma semana mais tarde. Fred, um mago com seus instrumentos dentários, descobriu uma nadadeira inteira em seu bloco. No lugar certo, bem na extremidade dos ossos do antebraço, a nadadeira possuía *aquele* osso. E *aquele* osso se ligava a quatro outros. Estávamos diante da origem de um pedaço de nosso próprio corpo no interior desse peixe de 375 milhões de anos. Tínhamos um peixe com punho.

Ao longo dos meses seguintes, conseguimos ver boa parte do restante do membro. Era parte nadadeira, parte membro. Nosso peixe tinha membrana de nadadeira, mas por dentro era uma versão primitiva do arranjo “um os-

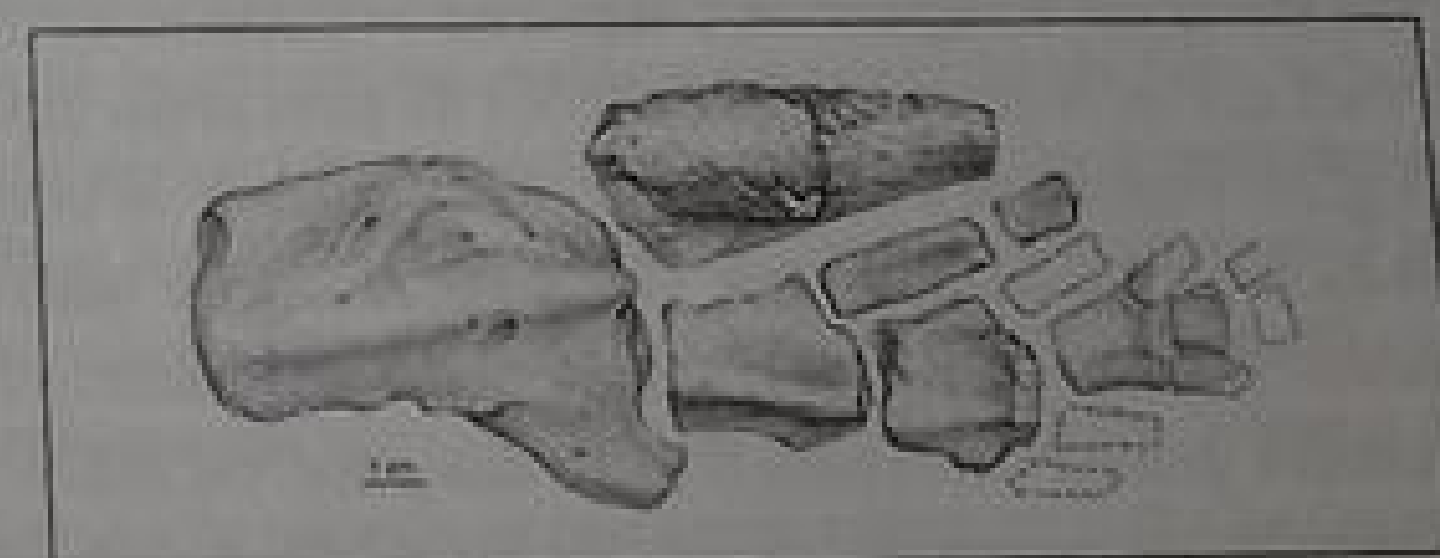
so—dois ossos—montes de bolotas—vários ossos”. Exatamente como previra a teoria de Darwin: na hora certa, no lugar certo, havíamos encontrado intermediários entre dois tipos aparentemente distintos de animais.

Encontrar a nadadeira foi tão-somente o começo da descoberta. A diversão genuína para Ted, Farish e para mim foi entender o que ela fazia e como funcionava, e imaginar por que, para começar, surgira uma articulação do punho. As soluções para esses quebra-cabeças se encontram na estrutura dos próprios ossos e juntas.

Quando desmanchamos a nadadeira do *Tiktaalik*, encontramos algo realmente notável: todas as superfícies da junta estavam extremamente bem preservadas. O *Tiktaalik* possuía um ombro, um cotovelo e um punho compostos pelos mesmos ossos que estão presentes em um braço, antebraço e um punho em um humano. Tudo isso em um peixe. Quando estudamos a estrutura dessas articulações para calcular como um osso se move contra outro, vemos que o *Tiktaalik* era perito numa função bastante extraordinária: ele era capaz de fazer flexões.

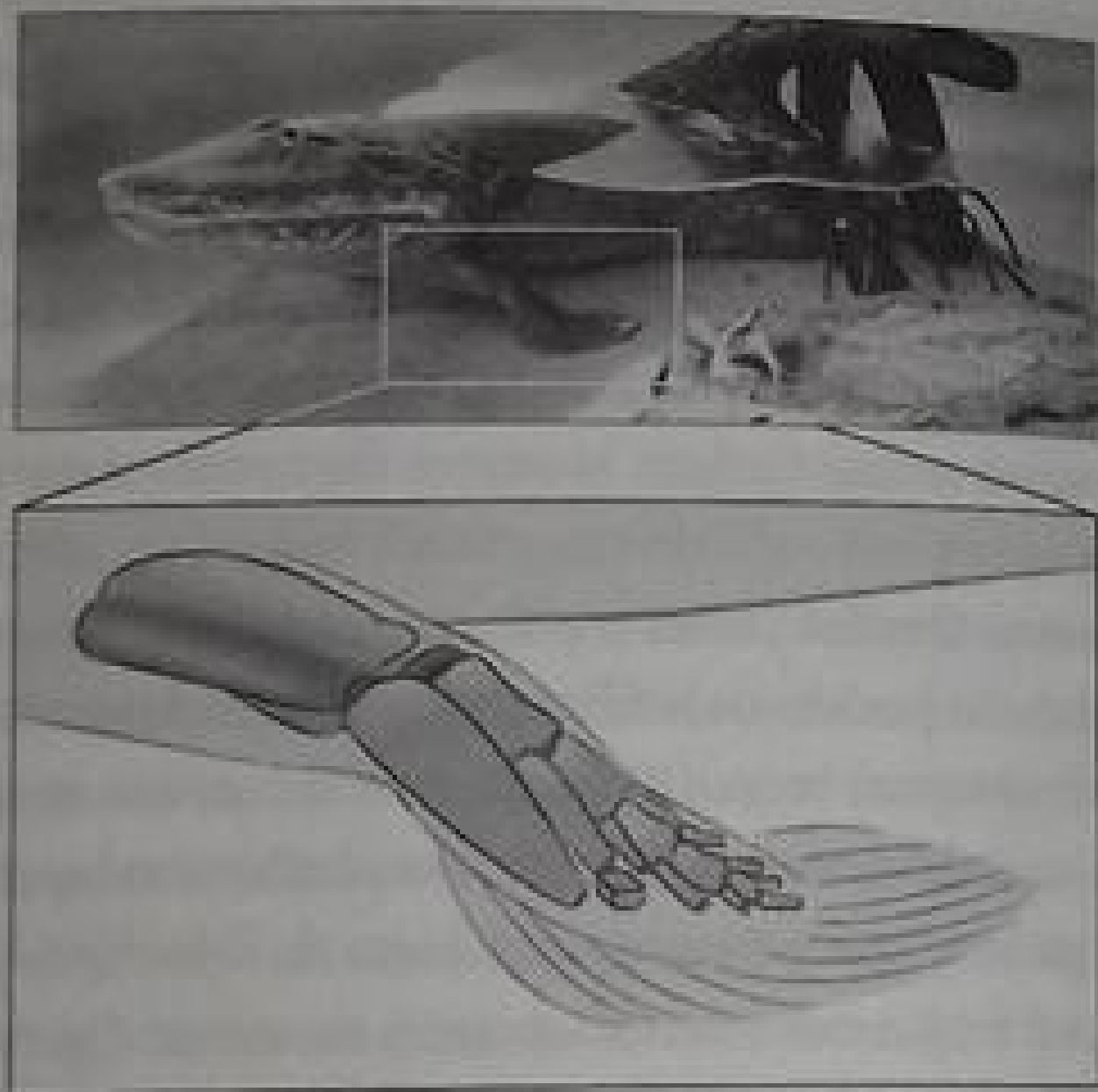
Quando fazemos flexões, nossas mãos se assentam contra o solo, nossos cotovelos se dobram e podemos utilizar nossos músculos peitorais para nos movermos para cima e para baixo. O corpo do *Tiktaalik* era capaz de tudo isso. O cotovelo podia se dobrar como o nosso, e o punho conseguia se dobrar para fazer com que a “palma” do peixe se assentasse no solo. Quanto aos músculos peitorais, o *Tiktaalik* aparentemente os tinha de sobra. Quando olhamos seu ombro e a parte interna do osso do braço no local onde se ligariam, vemos cristas volumosas e cicatrizes onde os grandes peitorais deviam conectar-se. O *Tiktaalik* era capaz de fazer flexões.

Por que um peixe haveria de querer fazer flexões? Vale a pena considerar o restante do animal. Com os olhos no topo da cabeça chata e costelas, o *Tiktaalik* provavelmente foi concebido para se arrastar no fundo e nas partes rasas de córregos e lagos e até se agitar na lama que a maré baixa desnuda ao lon-



Os ossos da nadadeira frontal do *Tiktaalik*. Um peixe com punho.

go das margens. Nadadeiras capazes de suportar o corpo seriam decerto de grande ajuda para um peixe que precisava se deslocar em todos esses cenários. Tal interpretação também é compatível com a geologia do sítio onde encontramos os fósseis do *Tiktaalik*. A estrutura das camadas rochosas e o padrão dos grãos nas próprias rochas levam a assinatura característica de um depósito originalmente formado por um córrego raso cercado por grandes concentrações sazonais de lama.



Um molde em tamanho natural do *Tiktaalik*: do corpo (em cima) e da nadadeira (embaixo). Os ossos da nadadeira são réplicas perfeitas dos verdadeiros. Essa é uma nadadeira em que o ombro, o cotovelo e o protopunho eram capazes de executar uma espécie de flexão.

Mas por que habitar esses cenários? O que deu nos peixes para sair da água e viver nas margens? Imaginemos o seguinte: praticamente todos os peixes que nadavam nesses regatos há 375 milhões de anos eram predadores de algum tipo. Alguns chegavam a medir quase cinco metros de comprimento, quase o dobro do tamanho do maior dos *Tiktaalik*. A espécie mais comum de peixes que encontramos próximo ao *Tiktaalik* mede dois metros de comprimento e sua cabeça é grande como uma bola de basquete. Os dentes são farpas de arame do tamanho de pregos de estrada de ferro. Você gostaria de nadar nesses regatos dos primórdios?

Não é exagero dizer que esse era um mundo onde peixe comia peixe. As estratégias para se dar bem nesse cenário eram bastante óbvias: ser grande, ter couraça ou sair da água. Parece que os nossos ancestrais distantes evitaram a luta.

Mas essa postura de evitar o confronto teve um significado mais profundo para nós. Podemos rastrear muitas estruturas de nossos membros até as nadadeiras desses peixes. Experimente flexionar para cima e para baixo o punho. Abrir e fechar a mão. Quando fazemos isso, usamos juntas que apareceram pela primeira vez nas nadadeiras de peixes como o *Tiktaalik*. Antes disso, essas articulações não existiam. Posteriormente as encontramos nos membros.

Passemos do *Tiktaalik* para os anfíbios, para diferentes tipos de répteis, até chegar aos mamíferos, e uma coisa fica absolutamente clara: a primeira criatura a ter os ossos do nosso braço, do nosso antebraço e até mesmo do nosso punho e palma, também tinha escamas e membrana de nadadeira. Essa criatura era um peixe.

O que pensar do projeto “um osso—dois ossos—montes de bolotas—dedos”, que Owen atribuía a um Criador? Peixes. Alguns peixes, o peixe pulmonado, por exemplo, têm um osso na base. Outros, o *Eusthenopteron*, por exemplo, têm o arranjo “um osso—dois ossos”. E existem criaturas, como o *Tiktaalik*, com “um osso—dois ossos—montes de bolotas”. Não se trata de apenas um único peixe no interior de nossos membros, mas de um aquário inteiro. A planta de Owen foi montada em peixes.

O *Tiktaalik* podia ser capaz de fazer uma flexão, mas jamais arremessaria uma bola, tocaria piano ou andaria sobre duas pernas. Um longo caminho separa o *Tiktaalik* da humanidade. O fato importante, e quase sempre surpreendente, é o seguinte: a maioria dos principais ossos que os humanos utilizam para caminhar, arremessar ou agarrar são vistos em animais com idade entre dezenas e milhares de anos de idade. Os primeiros pedacinhos ou o nosso braço e perna estão em peixes de 380 milhões de anos como o *Eusthenopteron*. O *Tiktaalik* revela os primeiros estágios na evolução da área do nosso punho, palma da mão e dedos. Os primeiros dedos das mãos e dos pés genuínos aparecem em anfíbios de 364 milhões de anos, como o *Acanthostega*. Finalmente, o complemento integral de ossos do punho e do tornozelo em mão ou pé humanos estão presentes em répteis de mais de 250 milhões de anos. A origem de nossos membros e de todas as coisas extraordinárias que eles nos permitem fazer não envolve a origem de ossos novos. O esqueleto básico de nossos pés e

mãos surgiu há milhares de milhões de anos, primeiro em peixes e depois em anfíbios e répteis.

Mas quais são as principais mudanças que nos possibilitaram caminhar sobre duas pernas, por exemplo? Como essas guinadas aconteceram? Observemos dois exemplos simples que nos dão os membros para encontrar algumas respostas.

Nós, humanos, como muitos outros mamíferos, podemos girar o polegar em relação ao cotovelo. Essa função simples é muito importante para a utilização das mãos na vida cotidiana. Imagine-se tentando comer, escrever ou atirar uma bola sem ser capaz de girar a mão em relação ao cotovelo. Podemos fazê-lo porque um osso do antebraço, o rádio, gira ao longo de um ponto pivô na junção do cotovelo. A estrutura da articulação do cotovelo é maravilhosamente planejada para tal função. Na extremidade do osso do braço, o úmero, há uma bola. A ponta do rádio, que ali se junta, forma uma linda pequena órbita que se encaixa na bola. Essa articulação bola-e-órbita permite a rotação da mão. Onde podemos observar os primeiros indícios desse talento? Em criaturas como o *Tiktaalik*. No *Tiktaalik*, a extremidade do úmero forma uma moesa alongada na qual se encaixa uma articulação do rádio em forma de ventosa. Quando o *Tiktaalik* dobrava o cotovelo, a extremidade do seu rádio girava em relação ao cotovelo. Vemos esse talento já refinado em anfíbios e répteis, nos quais a extremidade do úmero se torna uma autêntica bola, bem parecida com a nossa.

A característica-chave que nos confere a capacidade de andar é partilhada com todos os outros mamíferos. Ao contrário dos peixes e dos anfíbios, nossos joelhos e cotovelos se voltam para direções opostas.

Essa característica é crucial: imagine-se tentando andar com a rótula virada para trás. Uma situação bastante diversa pode ser vista em peixes como o *Eusthenopteron*, em que o equivalente ao joelho e ao cotovelo basicamente se encontram voltados para a mesma direção. Damos início ao desenvolvimento com membros pequenos basicamente estruturados como os do *Eusthenopteron*, com cotovelos e joelhos voltados para a mesma direção. Conforme crescemos no útero, nossos joelhos e cotovelos giram para nos pôr na situação em que nos encontramos hoje.

Nosso padrão bípede de marcha utiliza os movimentos dos ossos dos quadris, joelhos, tornozelos e pés para nos impelir adiante numa postura ereta ao contrário da postura escarrapachada de criaturas como o *Tiktaalik*. Uma grande diferença é a posição de nossos quadris. Nossas pernas não se projetam

para os lados, como as de um crocodilo, de um anfíbio ou de um peixe, mas se projetam sob nossos corpos. Essa mudança na postura se deu por conta de mudanças nas articulações do quadril, da pelve e da coxa: nossa pelve tomou a forma de uma tigela, a cavidade do quadril se aprofundou e o fêmur ganhou um alongamento e cabeça característica, que lhe permite projetar-se sob o corpo em vez de para o lado.

Será que os fatos de nossa história remota significam que os humanos não são especiais ou ímpares entre as criaturas vivas? Claro que não. Com efeito, saber algo a respeito das origens profundas da humanidade apenas acresce ao fato notável da nossa existência: todas as nossas capacidades extraordinárias surgiram de componentes básicos que evoluíram em peixes e outras criaturas antigas. A partir de partes em comum surgiu uma construção extremamente única. Não somos entes separados do restante do mundo vivo, mas parte dele, até os nossos ossos e, como veremos em breve, também nossos genes.

Voltando ao início, no momento em que vi pela primeira vez o punho de um peixe foi tão cheio de significado quanto o momento em que desnudei pela primeira vez os dedos de um cadáver no laboratório de anatomia humana. Em ambas as situações eu estava desvendando uma profunda ligação entre minha humanidade e a de outro ser.

GENES ÚTEIS

Enquanto meus colegas e eu desencavávamos o primeiro *Tiktaalik* no Ártico em julho de 2004, Randy Dahn, um pesquisador do meu laboratório, suava a camisa na zona sul de Chicago realizando experiências genéticas em embriões de tubarões e raias. Você já deve ter visto, na praia, os ovos, conhecidos como “bolsas de sereia”. Dentro da bolsa um dia houve um ovo com gema, que se desenvolveu numa raia embrionária. Ao longo dos anos, Randy gastou centenas de horas conduzindo experiências com os embriões dentro desses ovos, muitas vezes trabalhando até bem depois da meia-noite. Durante o decisivo verão de 2004, Randy se viu pegando esses ovos e injetando neles uma versão molecular de vitamina A. Depois disso, ele deixava os ovos se desenvolverem durante vários meses até se abrirem.

Sua experiência pode parecer um jeito bizarro de passar a melhor parte do ano, ainda mais para um jovem cientista deslanchar uma carreira científica promissora. Por que tubarões? Por que uma fórmula de vitamina A?

Para entender essas experiências, precisamos dar uma parada e avaliar a expectativa do que isso pudesse explicar. O que realmente abordamos neste capítulo é a receita, registrada no nosso DNA, que constrói nossos corpos a partir de um único óvulo. Quando o espermatozóide fertiliza um ovócito, esse ovo fertilizado (ou zigoto)¹ não contém, por exemplo, uma mãozinha. A mão

¹ Nota da Revisora Técnica: O desenvolvimento humano inicia-se quando um gameta masculino, o espermatozóide, se une ao gameta feminino, o ovócito, para formar uma única célula — o zigoto. Neste livro, o autor utiliza a palavra ovo ou a expressão ovo fertilizado como substituto de “zigoto” para referir-se de modo geral ao início do desenvolvimento embriológico de vários animais, inclusive do homem.

se forma a partir das informações contidas nessa única célula. Isso nos conduz a um problema bastante profundo: Uma coisa é comparar os ossos de nossas mãos com os ossos das nadadeiras de peixes. O que acontece se compararmos a receita genética que forma nossas mãos com a receita que forma uma nadadeira de peixe? Para encontrar as respostas para esta pergunta seguiremos uma trilha de descobertas que nos conduz desde as nossas mãos até as nadadeiras de tubarões e mesmo até as asas de moscas.

Como já vimos, quando descobrimos criaturas que revelam versões distintas e quase sempre mais simples de nossos corpos nos delas, uma janela maravilhosamente direta se abre para o passado remoto. Mas existe uma grande limitação no trabalho com fósseis. Não podemos realizar experiências com animais mortos há muito. As experiências são fantásticas porque é possível efetivamente manipular algo para verificar os resultados. Por esse motivo, no meu laboratório você encontrará um cérebro seccionado: metade do laboratório se destina a fósseis, a outra metade a embriões e DNA. A vida no meu laboratório pode ser incrivelmente esquizofrênica. O armário trancado que abriga os espécimes de *Tiktaalik* fica ao lado do freezer que contém as nossas preciosas amostras de DNA.

As experiências com DNA têm um enorme potencial para revelar o peixe interior. E se pudéssemos fazer uma experiência em que tratássemos o embrião dos peixes com vários produtos químicos e realmente alterássemos seu corpo, fazendo com que parte da sua nadadeira adquirisse uma aparência de mão? E se pudéssemos mostrar que os genes que formam uma nadadeira de peixe são praticamente os mesmos responsáveis pela formação de nossas mãos?

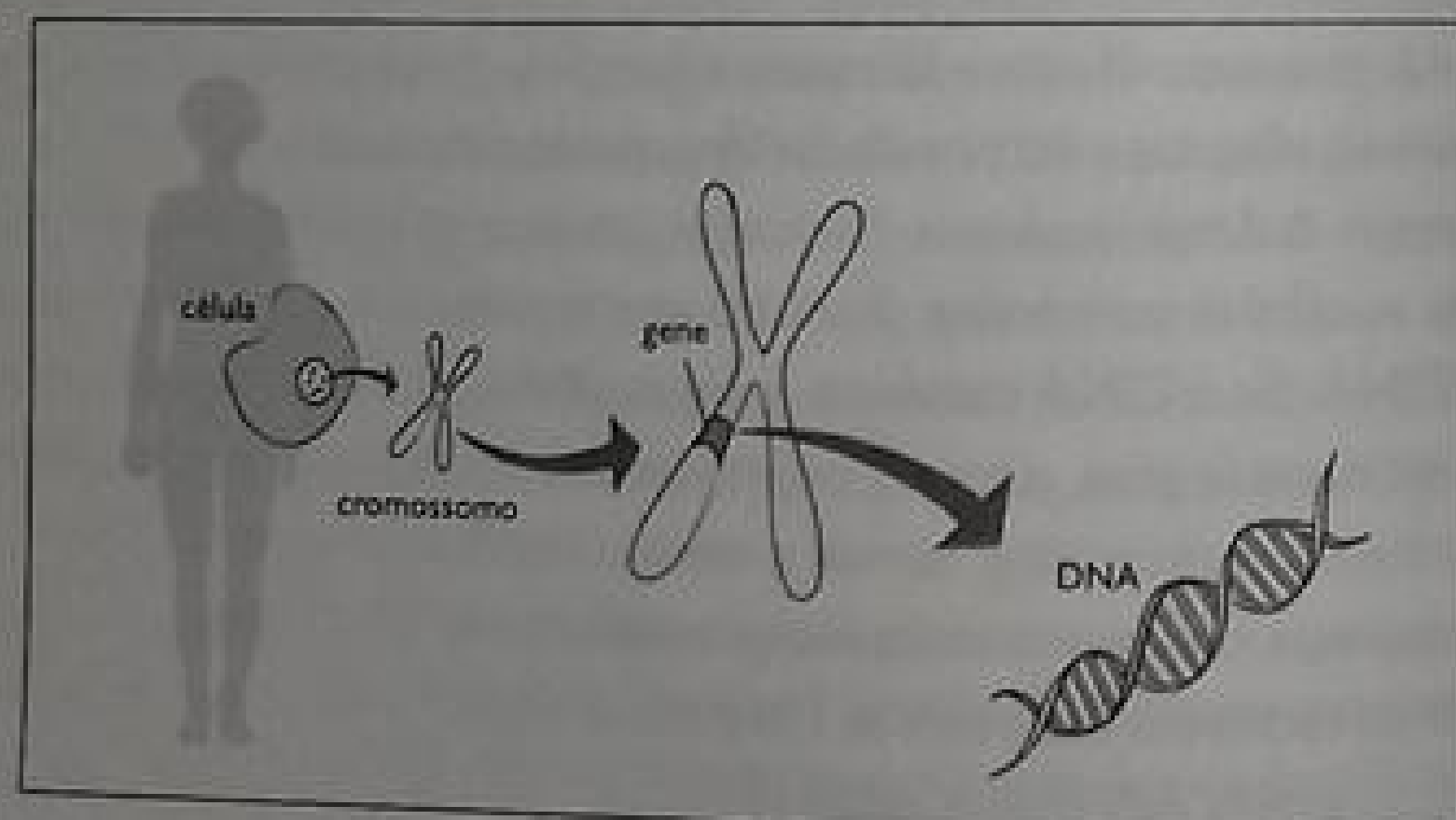
Começamos com o que parece um quebra-cabeça. O nosso corpo é feito de centenas de tipos distintos de células. Essa diversidade celular confere aos nossos tecidos e órgãos seus diversos formatos e funções. As células que formam nossos ossos, nervos, vísceras e daí por diante têm aparência e comportamento totalmente diferentes. A despeito dessas diferenças, existe uma profunda semelhança entre todas as células no interior do nosso corpo: todas elas contêm exatamente o mesmo DNA. Se o DNA contém as informações necessárias para formar nossos corpos, tecidos e órgãos, como é possível que células tão diferentes quanto as que se encontram em músculos, nervos e ossos contenham o mesmo DNA?

A resposta reside em entender que pedaços de DNA (os genes) são efetivamente ativados em cada célula. Uma célula de pele é diferente de um neurônio porque genes diferentes estão ativos em cada célula. Quando um gene é ativado, ele produz uma proteína capaz de afetar a aparência e o comporta-

mento da célula. Assim, para entender o que torna uma célula no olho diferente de uma célula nos ossos da mão, precisamos conhecer as variações genéticas que controlam a atividade dos genes em cada célula e tecido.

Essas variações genéticas ajudam a montar os humanos. Na concepção, começamos como uma única célula que contém todo o DNA necessário para formar nosso corpo. O projeto para esse corpo todo se desenvolve por meio das instruções contidas nessa única célula microscópica. Para partir desse óvulo genérico para um humano completo, com trilhões de células especializadas ordenadas precisamente da maneira correta, baterias inteiras de genes precisam ser ativadas e desativadas nos estágios corretos do desenvolvimento. Como um concerto composto de notas individuais tocadas por vários instrumentos, nossos corpos são uma composição de genes individuais sendo ligados e desligados dentro de cada célula no corpo em desenvolvimento.

Essa informação é uma dádiva para aqueles que se esforçam para entender os corpos, porque podemos agora comparar a atividade de diferentes genes para calcular que tipo de mudanças está presente na origem de novos órgãos. Tomemos, por exemplo, os membros. Quando comparamos o conjunto de genes ativos no desenvolvimento de uma nadadeira de peixe com os ativos no desenvolvimento da mão humana, é possível catalogar as diferenças genéticas entre nadadeiras e membros. Esse tipo de comparação nos fornece alguns prováveis responsáveis – as variações genéticas que talvez tenham gerado mudanças durante a origem dos membros. Podemos, então, estudar o que esses genes estão fazendo no embrião e como terão se alterado. Podemos mesmo realizar experiências e manipular os genes para observar como os corpos podem mudar.



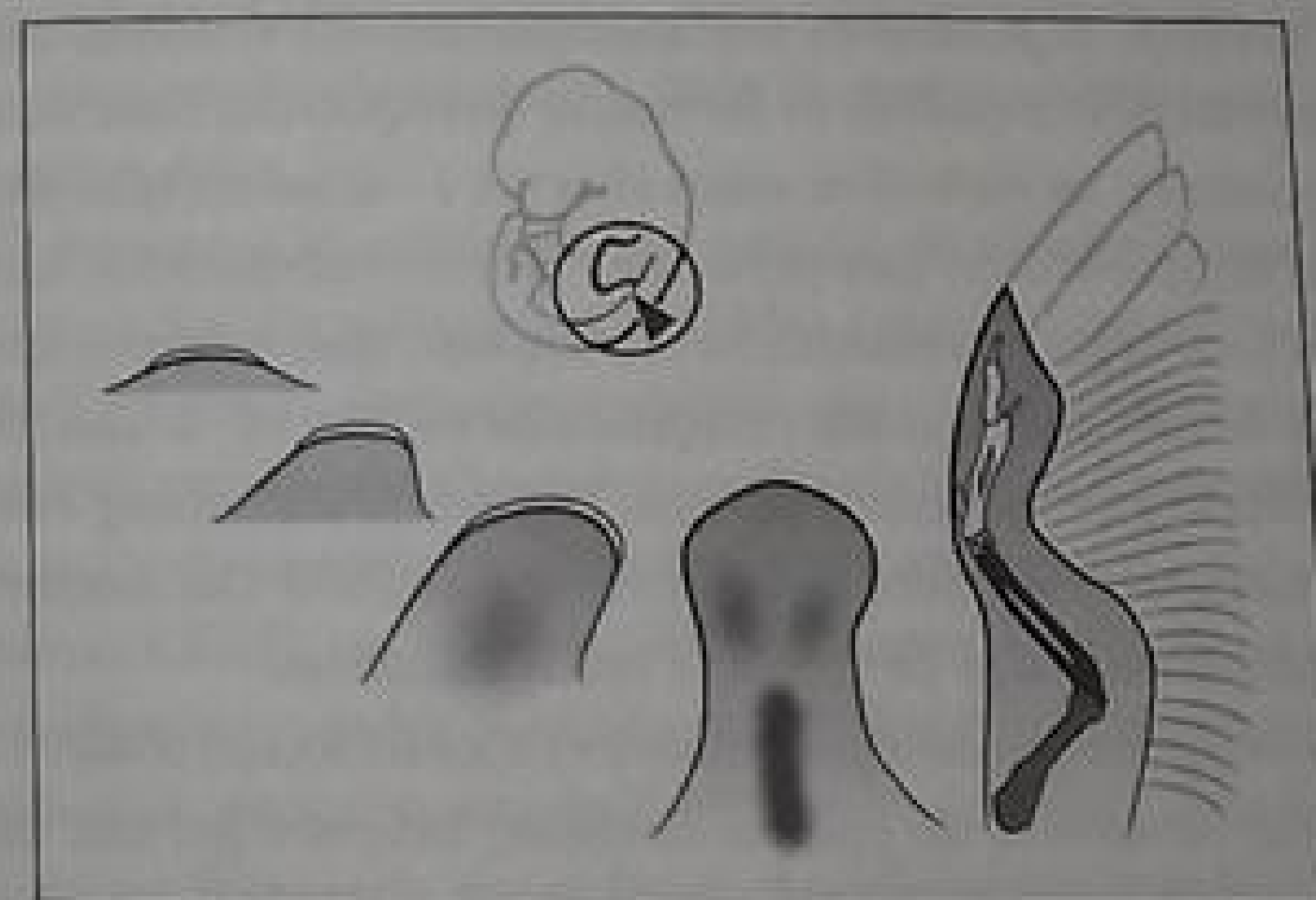
Genes são agrupamentos de DNA contidos em todas as células do nosso corpo.

Para ver os genes que formam nossas mãos e nossos pés, é preciso lançar mão de uma página do roteiro da série de televisão *CSI: Crime Scene Investigation*, ou seja, partir do corpo e penetrar nele. Começaremos pelo exame da estrutura de nossos membros para percorrer todo o caminho até os tecidos, células e genes que a produziram.

PRODUZINDO MÃOS

Nossos membros existem em três dimensões: têm uma parte de cima e uma parte de baixo, o lado do mindinho e o lado do polegar, uma base e uma ponta. Os ossos nas pontas, em nossos dedos, são diferentes daqueles na base, nas articulações com o braço. Do mesmo modo, nossas mãos são diferentes de um lado e de outro. O formato dos dedos mindinhos é distinto do formato dos polegares. O Santo Graal da nossa pesquisa sobre desenvolvimento é entender quais os genes que diferenciam os vários ossos do nosso membro e o que controla o desenvolvimento nessas três dimensões. Que DNA realmente torna um dedo mindinho diferente de um polegar? O que distingue nossos dedos das mãos dos ossos do braço? Se entendermos os genes que controlam tais padrões, vislumbraremos a receita responsável pela nossa formação.

Todas as guinadas genéticas responsáveis pela formação dos dedos das mãos, dos ossos dos braços e dos dedos dos pés ocorrem durante o período en-



O desenvolvimento de um membro, neste caso a asa de uma galinha. Todos os estágios-chave no desenvolvimento do esqueleto de uma asa acontecem dentro do ovo.

tre três e oito semanas de vida. Os membros começam a se desenvolver como pequenos brotos que se projetam dos corpos embrionários. Os brotos crescem ao longo de duas semanas, até que a ponta se torna um pequeno remo. No interior deste remo existem milhões de células que acabarão dando origem ao esqueleto, aos nervos e músculos que teremos pelo resto da vida.

Para estudar como emerge esse padrão, é preciso observar embriões e às vezes intervir em seu desenvolvimento para verificar o que acontece quando as coisas dão errado. Além disso, precisamos observar mutantes e suas estruturas internas e genes, quase sempre produzindo populações inteiras de mutantes através de uma reprodução meticulosa. Obviamente, é impossível estudar seres humanos dessa forma. O desafio para os pioneiros neste campo foi encontrar os animais capazes de servir como janelas úteis para observar o nosso desenvolvimento. Os primeiros embriologistas experimentais interessados em membros nas décadas de 1930 e 1940 enfrentaram vários problemas. Precisavam de um organismo em que os membros estivessem acessíveis à observação e à experimentação. O embrião tinha que ser relativamente grande, de modo a possibilitar a realização de procedimentos cirúrgicos. Era importante que ele crescesse em local protegido, num recipiente ao abrigo de sacudidas e outras perturbações externas. Igualmente fundamental era que esses embriões fossem abundantes e se encontrassem disponíveis durante todo o ano. A solução óbvia para essa necessidade científica está à venda no armazém local: ovos de galinha.

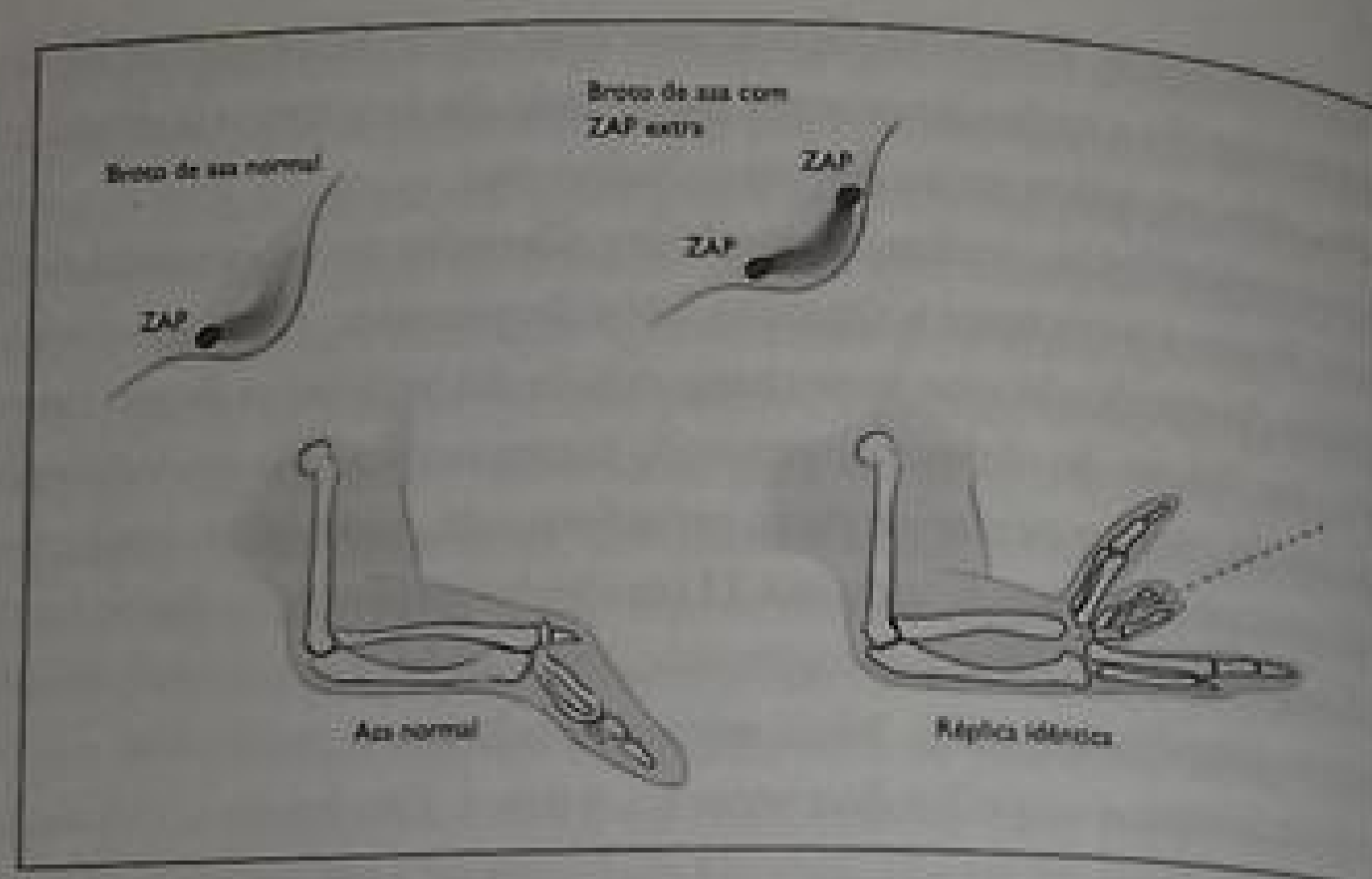
Nos anos 50 e 60, uma série de biólogos, inclusive Edgar Zwillling e John Saunders, realizou experiências extraordinariamente criativas com ovos de galinha para entender o padrão de formação do esqueleto. Essa foi uma época de corta-e-costura: os embriões eram abertos e vários tecidos deslocados a fim de observar que efeitos isso produzia no desenvolvimento. A abordagem envolvia microcirurgia extremamente meticulosa, com manipulação de pedaços de tecido de não mais que um milímetro de espessura. Assim, deslocando tecidos no membro em desenvolvimento, Saunders e Zwillling desvendaram alguns dos mecanismos-chave que formam membros tão distintos quanto asas de pássaro, nadadeiras de baleias e mãos humanas.

Eles descobriram que dois pequenos pedaços de tecido controlam basicamente o desenvolvimento do padrão de ossos, braços e pernas, mãos e pés. Uma faixa de tecido na extremidade do broto do membro é essencial para o desenvolvimento de *tudo* o membro. Basta removê-la para interromper o desenvolvimento. Se removida precocemente, ficamos com um braço apenas,

ou parte de um braço. Removida levemente mais tarde, ficamos com um braço e um antebraço. Se a remoção ocorrer mais tarde ainda, o braço já estará quase completo, mas os dedos serão curtos e disformes.

Outra experiência, realizada por Mary Gasselin no laboratório de John Saunders, levou a uma nova e vigorosa linha de pesquisa. Retirou-se uma pequena faixa de tecido do que se tornaria o lado do mindinho de um broto de membro, no início do desenvolvimento, transplantando-a no lado oposto, logo abaixo de onde o primeiro dedo seria formado. Deixou-se, então, a galinha se desenvolver e formar uma asa. O resultado surpreendeu praticamente a todos. A asa se desenvolveu normalmente, mas também apresentou *um segundo conjunto completo de dedos*. Mais notável ainda era o padrão dos dedos: os novos eram imagens-espelho do conjunto normal. Obviamente alguma coisa dentro daquela faixa de tecido, alguma molécula ou gene, era capaz de orientar o desenvolvimento do padrão dos dedos. Esse resultado gerou uma enxurrada de novas experiências. Tal efeito pode ser imitado por uma variedade de outros meios, como, por exemplo, pincelar um pouquinho de vitamina A no broto do membro de um embrião de galinha ou simplesmente injetar vitamina A no ovo, deixando o embrião se desenvolver. Se providenciarmos a vitamina A na concentração correta e no estágio correto, teremos a mesma duplicação idêntica conseguida por Saunders com seus experimentos de enxertos. Esse pedaço de tecido foi batizado de zona de atividade polarizadora (ZAP). Traduzindo: um pedaço de tecido que faz com que a lateral do mindinho seja diferente da lateral do polegar. Obviamente, as galinhas não possuem dedo mindinho e polegar. O método que usamos é numerar os dedos, com o nosso mindinho correspondendo ao quinto dedo de outros animais, e o nosso polegar, ao primeiro deles.

A ZAP despertou interesse porque parecia, de alguma forma, controlar a formação dos dedos das mãos e dos pés. Mas como? Alguns acreditavam que as células na ZAP produziam uma molécula que então se espalhava pelo membro para instruir as células a formarem dedos distintos. A proposta-chave defendia que era a concentração dessa molécula anônima o fator de peso. Em áreas próximas à ZAP, onde existe uma alta concentração dessa molécula, as células reagiriam formando um dedo mindinho. No lado oposto da mão em desenvolvimento, mais distante da ZAP, tornando mais difusa a molécula, as células reagiriam formando um polegar. As células intermediárias reagiriam, cada uma, conforme a concentração de tal molécula para formar o segundo, o terceiro e o quarto dedos.



Deslocar um pequeno pedaço de tecido chamado ZAP provoca a duplicação dos dedos da mão.

Essa idéia de dependência da concentração podia ser testada. Em 1979, Denis Summerbell inseriu um pedaço extremamente pequeno de lâmina metalizada entre o retalho ZAP e o restante do membro. A idéia era utilizar tal barreira para evitar que qualquer tipo de molécula se espalhasse da ZAP para o outro lado. Summerbell estudou o que ocorreu com as células de cada lado da barreira. As células do lado da ZAP formaram dedos. As do lado oposto, na maioria das vezes, não. Quando o faziam, os dedos eram muito deformados. A conclusão foi óbvia: algo emanava da ZAP capaz de controlar a formação e a aparência dos dedos. Para identificar esse algo, os pesquisadores precisavam examinar o DNA.

A RECEITA DO DNA

O projeto foi deixado para uma nova geração de cientistas. Só em 1990, quando novas técnicas moleculares ficaram disponíveis, a operação de controle genético para a ZAP deslanchou.

Uma descoberta de peso ocorreu em 1993, quando o laboratório Cliff Tabin, em Harvard, começou a correr atrás dos genes que controlam a ZAP e outras partes do corpo. O alvo: os mecanismos moleculares que davam à ZAP sua capacidade para fazer o nosso mindinho diferente do polegar. À época em que o grupo começou a trabalhar, no início dos anos 90, várias experiências como as

que acabei de descrever nos haviam levado a crer que algum tipo de molécula era a causadora de tudo. Tratava-se de uma teoria imponente, mas ninguém sabia que molécula era aquela. Sugeriam-se moléculas, uma atrás da outra, só para descobrir que, por uma ou outra razão, nenhuma delas estava à altura da missão. Finalmente, passadas algumas décadas, o Tabin levantou uma noção nova e muito relevante para o tema deste livro. Procurar a resposta nas moscas.

As experiências genéticas dos anos 80 haviam revelado o maravilhoso padrão da atividade dos genes que é capaz de esculpir o corpo de uma mosca a partir de um ovo de uma única célula. O corpo de uma mosca-das-frutas é organizado de frente para trás, com a cabeça na frente e as asas atrás. Batalhões de genes são ligados e desligados durante o desenvolvimento da mosca e esse padrão de atividade serve para demarcar as diferentes regiões do inseto.

Um desses genes chamou a atenção de Tabin, McMahon e Ingham. Eles notaram que esse gen fazia uma extremidade de um segmento do corpo ter aparência diferente da extremidade oposta. Os geneticistas dedicados às moscas batizaram esse gene *hedgehog*.² Por acaso a função do gene *hedgehog* no corpo da mosca – fazer uma região diferente da outra – não lembraria a da ZAP quando esta faz o mindinho diferente do polegar? O paralelo não passou despercebido nos três laboratórios. Assim, eles foram em frente, buscando um gene *hedgehog* em criaturas como galinhas, camundongos e peixes.

Como conheciam a estrutura do gene *hedgehog* da mosca, os laboratórios possuíam uma imagem de pesquisa para ajudá-los a identificar o mesmo gene ou um similar em galinhas. Cada gene tem uma sequência peculiar, e com o emprego de várias ferramentas moleculares, os pesquisadores foram capazes de explorar o genoma da galinha em busca da “sequência *hedgehog*”. Após muitas tentativas e equívocos, encontraram um gene *hedgehog* na galinha.

Os paleontólogos são os responsáveis por batizar novas espécies, os geneticistas, por batizar novos genes. Os geneticistas especializados em moscas que descobriram o *hedgehog* haviam escolhido esse nome porque as moscas com uma mutação no gene possuíam cerdas que lhes davam a aparência de um pequeno porco-espinho. Tabin, McMahon e Ingham batizaram a versão galinácea do gene de *hedgehog* de “*Sonic hedgehog*”, por causa do videogame fabricado pela Sega Genesis (onde o personagem principal é um porco-espinho).

² Nota da Revisora Técnica: Esse gene foi denominado *hedgehog* (em inglês), e a sua tradução literal seria “porco-espinho”, porque a larva da mosca que sofre mutações nesse gene assume a aparência de um porco-espinho (o texto mais à frente explica isso).

Surgia agora a pergunta curiosa: O que o gene *Sonic hedgehog* efetivamente fazia no membro? O laboratório de Tabin juntou uma tintura a uma molécula que grudaria no gene, o que permitiria a visualização do local onde o gene agiria no membro. Com grande surpresa, descobriu-se que apenas as células em um minúsculo retalho do membro tinham atividade de genes: na ZAP.

Assim, a etapa seguinte parecia óbvia. Os padrões de atividade no gene *Sonic hedgehog* deveriam imitar os do próprio tecido ZAP. Recordemos que quando tratamos o membro com ácido retinóico, vitamina A, conseguimos uma ZAP ativa no lado oposto. E o que acontece quando tratamos um membro com ácido retinóico e depois mapeamos o local onde o gene *Sonic hedgehog* fica ativo? O gene *Sonic hedgehog* se torna ativo em ambos os lados – o do mindinho e o do polegar – exatamente como acontece com a ZAP quando tratada com ácido retinóico.

O conhecimento do gene *Sonic hedgehog* da galinha forneceu a outros pesquisadores as ferramentas para procurá-lo em todos os outros animais que possuíam dedos, de sapos a seres humanos. Todos os animais dotados de membros têm o gene *Sonic hedgehog*. E em todos que estudamos, o *Sonic hedgehog* estava ativo no tecido ZAP. Caso o gene *Sonic hedgehog* não atue adequadamente durante a oitava semana do desenvolvimento do embrião, este terá dedos extras ou o mindinho e o polegar serão idênticos. Às vezes, quando algo sai errado com o *Sonic hedgehog*, a mão acaba se parecendo com um grande remo com até doze dedos, todos idênticos.

Sabemos agora que o gene *Sonic hedgehog* é um entre dúzias de genes que agem para esculpir nossos membros, desde o ombro até a ponta dos dedos ao ligar-se e desligar-se no momento certo. O notável é que o trabalho com galinhas, sapos e camundongos nos dizia a mesma coisa. A receita de DNA para formar braços, antebraços, punhos, mãos e dedos é praticamente idêntica em todas as criaturas dotadas de membros.

Até que ponto no passado é possível rastrear o gene *Sonic hedgehog* e outras partículas de DNA que formam membros? Esse elemento estaria ativo na formação do esqueleto das nadadeiras dos peixes? Ou serão as mãos totalmente diferentes geneticamente das nadadeiras dos peixes? Vimos um peixe interior na anatomia dos nossos braços e mãos. E quanto ao DNA responsável por formá-lo?

Aqui entra Randy Dahh com suas bolsas de sereias.

AJUDANDO OS TUBARÕES

Randy Dahn entrou no meu laboratório com uma idéia simples, mas elegante: tratar os embriões de raias da mesma maneira como Cliff Tabin tratava os ovos de galinha. O objetivo de Randy era realizar em raias todas as experiências que os biólogos especializados em galinhas haviam feito com os ovos destas, desde as cirurgias de tecidos de Saunders e Zwillling até os experimentos com genes de Cliff Tabin. As raias se desenvolvem num ovo, com uma espécie de casca e gema, e também têm embriões grandes, como acontece com as galinhas. Devido a esses fatos convenientes, poderíamos aplicar às raias várias das ferramentas genéticas e experimentais que haviam sido desenvolvidas para entender as galinhas.

O que podíamos aprender comparando o desenvolvimento de uma nadadeira de tubarão ao da perna de uma galinha? Mais importante ainda, o que poderíamos aprender a nosso próprio respeito a partir disso tudo?

As galinhas, conforme Saunders, Zwillling e Tabin mostraram, são uma *proxy* notável para os nossos próprios membros. Tudo que se descobriu com as experiências de cortes e enxertos de Saunders e Zwillling e através do trabalho de Tabin com o DNA se aplica também aos nossos membros: temos ZAP, temos “porco-espinho *Sonic*”, e tanto o primeiro quanto o segundo têm grande peso no nosso bem-estar. Como vimos, um defeito na ZAP ou uma mutação no gene *Sonic hedgehog* podem gerar malformações importantes nas mãos humanas.

Randy queria descobrir o quanto é diferente o aparelho que forma as nossas mãos. Quão profunda é a nossa ligação com o restante da vida? Será nova a receita que dá origem às nossas mãos ou terá, também ela, raízes profundas em outras criaturas? Se assim for, quão profundas?

Os tubarões e seus parentes são as criaturas mais antigas dotadas de nadadeiras que possuem um esqueleto. O ideal, para responder à pergunta de Randy, seria levar um tubarão de 400 milhões de anos ao laboratório, dissecá-lo e observar sua estrutura genética. Depois tentariamos manipular seus embriões para descobrir se o gene *Sonic hedgehog* está ativo no mesmo local, nos membros, atuando da mesma forma. Esse seria um experimento maravilhoso, porém impossível. Não podemos extrair DNA de fósseis tão antigos, e mesmo que pudéssemos jamais encontraríamos embriões desses animais fósseis com os quais realizar experiências.

Os tubarões vivos e seus parentes são a segunda melhor opção. Ninguém jamais confundiria a nadadeira de tubarão com a mão humana: não é possível

haver dois membros mais distintos. Não apenas os tubarões e os humanos são parentes muito distantes, como também as estruturas esqueléticas de seus membros nada têm de semelhante na aparência. Não há nada remotamente similar ao padrão “um osso—dois ossos—montes de bolotas—dedos” de Owen ali dentro. Ao contrário, os ossos ali têm o formato de bastões, compridos e curtos, finos e largos. Nós os chamamos de ossos apesar de serem feitos de cartilagem (tubarões e raias são conhecidos como peixes cartilagosos, porque seus esqueletos nunca formam osso). Se a idéia é descobrir se o papel do gene *Sonic hedgehog* nos membros é exclusividade dos animais dotados de membros, por que não escolher um espécime totalmente diferente sob quase todos os aspectos? Além disso, por que não escolher o peixe vivo mais primitivo dotado de qualquer tipo de apêndices em par, sejam eles nadadeiras ou membros? Os tubarões se encaixam perfeitamente em ambos os casos.

Nosso primeiro problema era simples. Precisávamos de uma fonte confiável de embriões de tubarões e raias. Os tubarões se mostraram difíceis de obter com algum grau de regularidade, mas as raias, seus parentes próximos, foram outra história. Assim sendo, começamos com tubarões e lançamos mão de raias conforme nosso suprimento de tubarões foi escasseando. Encontramos um fornecedor que nos despachava a cada um ou dois meses um lote de vinte ou trinta ovos com embriões. Viramos praticamente fanáticos por remessas, esperando mensalmente nossa carga de ovos preciosos.

Trabalhar com a equipe do Tabin e outras forneceu a Randy dicas importantes sobre como iniciar a pesquisa. Desde o trabalho do laboratório Tabin em 1993, pesquisadores já haviam encontrado o gene *Sonic hedgehog* em numerosas espécies diferentes, de peixes a seres humanos. Com o conhecimento da estrutura do gene, Randy foi capaz de examinar todo o DNA da raia e do tubarão em busca do gene *hedgehog*. Em muito pouco tempo, ele o encontrou: um gene *Sonic hedgehog* no tubarão.

A pergunta fundamental era: onde o gene *Sonic hedgehog* está ativo e, mais importante ainda, o que ele faz?

Os ovos encontraram uso enquanto Randy visualizava onde e quando o *Sonic hedgehog* estava ativo no desenvolvimento das raias. Primeiramente, ele averiguou se o gene era ativado na época certa do desenvolvimento da nadadeira da raia. Sim. Depois, se era ativado no retalho de tecido na extremidade da nadadeira, o equivalente ao nosso mindinho. Novamente, sim. Em seguida, passou ao experimento da vitamina A. Este foi o momento milionário. Quando se trata o membro de uma galinha ou mamífero com este compo-

nente, obtém-se um retalho de tecido que apresenta atividade do gene *Sonic hedgehog* no lado oposto, e o resultado se conjuga a uma duplicação de ossos. Randy injetou o ovo, esperou um ou dois dias, e depois verificou se, como nas galinhas, a vitamina A havia provocado a atividade do *Sonic hedgehog* no lado oposto do membro. Sim. Agora a espera seria longa. Sabíamos que o gene *Sonic hedgehog* vinha se comportando da mesma forma nas nossas mãos e nas nadadeiras de raias e tubarões. Mas qual seria o efeito disso tudo sobre o esqueleto? Teríamos que aguardar dois meses pela resposta.

Os embriões se desenvolviam dentro de um ovo opaco. Tudo que podíamos dizer era que a criatura estava viva. O interior da nadadeira era invisível para nós.

O resultado final foi um exemplo impressionante de semelhança entre nós, os tubarões e as raias. Uma nadadeira idêntica. As nadadeiras dorsais copiam suas estruturas num maravilhoso padrão de duplicação de frente para trás, o mesmo tipo que vimos nas experiências com membros. Os membros copiam uma estrutura de membros. As nadadeiras de tubarão copiam uma estrutura de nadadeiras de tubarão, como também acontece com as raias. O gene *Sonic hedgehog* exerce efeito similar mesmo nos mais diversos tipos de esqueletos de membros encontrados hoje na Terra.

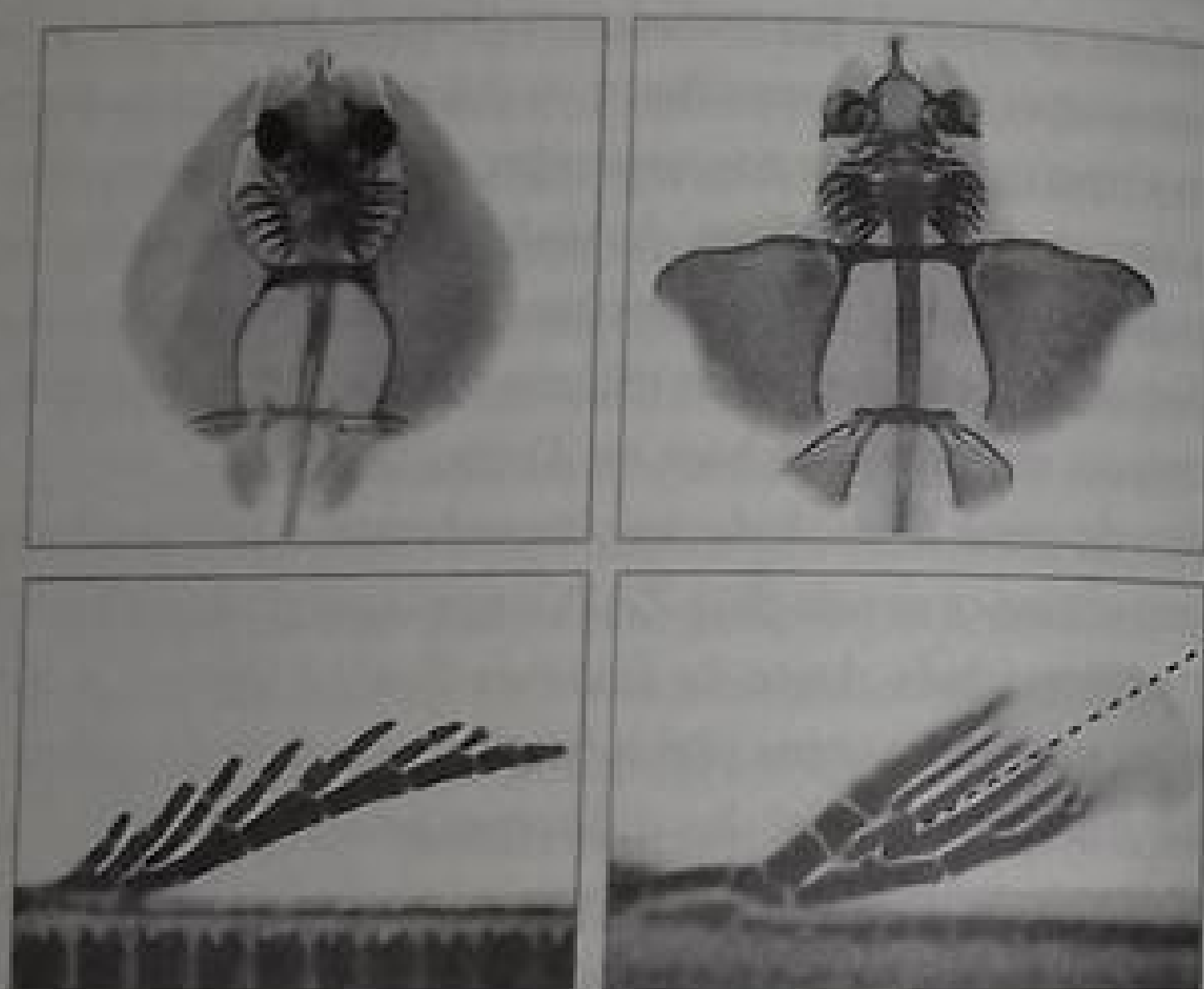
Um efeito do gene *Sonic hedgehog*, recordemos, é fazer os dedos distintos entre si. Como vimos com relação à ZAP, o tipo de dedo que irá se desenvolver depende da proximidade deste da fonte de *Sonic hedgehog*. A nadadeira de uma raia adulta normal contém vários bastões esqueléticos, todos com a mesma aparência. Poderíamos fazê-los diferentes uns dos outros, como os nossos dedos? Randy embebeu uma bolinha com a proteína produzida pelo gene *Sonic hedgehog* e a inseriu entre esses bastões esqueléticos idênticos. A chave para a sua experiência foi que ele usou gene *Sonic hedgehog* de camundongo. Assim, agora tínhamos uma genuína engenhoca: um embrião de raia com uma bolinha em seu interior constantemente vazando proteína produzida pelo gene *Sonic hedgehog* de camundongo. Será que essa proteína de camundongo teria algum efeito num tubarão?

Existem dois resultados extremos para um experimento como este. Um é nada acontecer. Isso significaria que as raias são tão diferentes dos camundongos que a proteína *Sonic hedgehog*³ não produz efeito. O outro resultado extre-

³Nota da Revisora Técnica: As proteínas produzidas, de forma geral, levam o mesmo nome do gene que a produz.

mo ofereceria um exemplo espantoso do nosso peixe interior: a constatação de que os bastões se desenvolveriam de forma diversa uns dos outros, demonstrando que o gene *Sonic hedgehog* provoca algo similar nas raias e em nós. E não nos esqueçamos de que já que Randy usava a proteína de um mamífero, as coisas seriam realmente muito semelhantes.

Não só os bastões afinal se mostraram diferentes uns dos outros, como também reagiram à proteína *Sonic hedgehog*, mais ou menos como reagem os dedos, com base na proximidade em que se encontram da *Sonic hedgehog*: os bastões mais próximos desenvolveram um formato diferente dos mais distantes. Para coroar, foi a proteína do camundongo que executou o trabalho de forma tão eficaz nas raias.



Nadadeiras normais (à esquerda) e as nadadeiras tratadas por Randy. As nadadeiras tratadas mostraram uma duplicação idêntica, exatamente como acontecera com as asas de galinha. Foto cedida por Randall Dahn, Universidade de Chicago.

O “peixe interior” que Randy descobriu não era um único osso, nem mesmo um segmento do esqueleto. O peixe interior de Randy residia nas ferramentas biológicas que na verdade constroem barbatanas. Experiência após experiência em criaturas tão distintas quanto ratos, tubarões e moscas nos mostram que as lições do *porco-espinho Sonic* são bastante genéricas. Todos os apêndices, sejam eles guelras ou membros, são construídos por tipos similares

de genes. Qual o significado disso para o problema que abordamos nos dois primeiros capítulos – a transição de guelras de peixes para membros? O significado é que essa grande transformação evolutiva não envolveu a origem do novo DNA: boa parte da guinada provavelmente envolveu o uso de genes antigos, como os que estavam presentes no desenvolvimento da barbatana do tubarão, de maneiras novas para criar membros com dedos da mão e do pé.

Mas existe uma beleza mais profunda nessas experiências com membros e barbatanas. O laboratório de Tabin utilizou o trabalho com *moscas* para descobrir um gene em *galinhas* que nos informa sobre defeitos de nascença em *humanos*. Randy usou a descoberta do laboratório Tabin para nos dizer algo sobre a nossa ligação com *raias*. Uma “mosca interior” ajudou a descobrir uma “galinha interior”, que, no final, levou Randy a descobrir uma “raia interior”. As ligações entre as criaturas vivas são profundas.

DENTES POR TODO LADO

Os dentes são tratados de maneira sumária no curso de anatomia: dedicam-se cinco minutos inteiros a eles. No panteão dos órgãos favoritos, deixarei que cada um de vocês elabore a própria lista —, os dentes raramente aparecem entre os cinco primeiros. No entanto, os dentes contêm tantas informações sobre a nossa ligação com o restante da vida que é praticamente impossível entender o nosso corpo sem algum conhecimento sobre eles. Os dentes também têm um significado especial para mim, porque foi buscando-os que descobri como encontrar fósseis e como administrar uma expedição de caça a fósseis.

A função dos dentes é transformar criaturas grandes em pedaços menores. Quando unidos a uma mandíbula móvel, os dentes fatiam, picam e maceram. A boca tem tamanho limitado, e os dentes permitem que as criaturas comam coisas que são maiores que a sua boca. Isso é especialmente verdadeiro quando se trata de criaturas que não possuem mãos ou garras capazes de retalhar ou cortar coisas antes que estas lhes cheguem à boca. É verdade que os peixes grandes costumam comer peixes menores, mas os dentes podem ser o grande fator de compensação: peixes menores podem mastigar peixes maiores se tiverem bons dentes. Peixes menores podem usar os dentes para raspar escamas, alimentar-se de partículas ou arrancar grandes pedaços de carne de peixes maiores.

É possível aprender um bocado a respeito de um animal observando seus dentes. As saliências, cavidades e sulcos nos dentes quase sempre refletem a dieta de seu dono. Os carnívoros, como os felinos, têm molares em forma de

lâmina para cortar carne, enquanto os comedores de plantas têm a boca cheia de dentes mais chatos capazes de macerar folhas e frutos. O valor informativo dos dentes não passou despercebido dos anatomistas da história. O grande anatomista francês Georges Cuvier gabou-se certa vez de poder reconstruir integralmente o esqueleto de um animal a partir de um único dente. Isso é um tanto exagerado, mas a idéia geral é válida.

As bocas humanas revelam que somos comedores polivalentes, já que temos vários tipos de dentes. Os da frente, os incisivos, são lâminas em bisel especializadas em cortar. Os últimos, os molares, são mais largos e achatados, com um padrão peculiar capaz de macerar plantas ou tecido animal. Os pré-molares, no meio, têm uma função intermediária entre a dos incisivos e a dos molares.

O mais notável a respeito da nossa boca é a precisão com que mastigamos. Abra e feche a boca: seus dentes sempre se juntam na mesma posição, com os de baixo e os de cima se encaixando precisamente. Porque as cúspides, depressões e cristas superiores e inferiores são muito semelhantes, conseguimos partir a comida com o máximo de eficiência. Com efeito, uma desigualdade entre os dentes superiores e os inferiores pode abalar seus dentes e enriquecer seu dentista.

Os paleontólogos acham que os dentes são altamente informativos. Os dentes são as partes mais duras do nosso corpo, pois o esmalte inclui uma alta proporção de cristais de hidroxiapatita — mais alta ainda do que a encontrada nos ossos. Por serem duros, os dentes quase sempre são a parte animal mais bem preservada que encontramos no registro fóssil de muitos períodos de tempo. É uma sorte, porque como os dentes fornecem uma pista tão preciosa sobre a dieta de um animal, o registro fóssil pode nos dar uma boa visão sobre como as diferentes formas de alimentação foram surgindo. Isso é, sobretudo, válido com relação à história dos mamíferos: enquanto vários répteis têm dentes similares, os dos mamíferos são característicos. O segmento de um curso clássico de paleontologia dedicado aos mamíferos soa quase como o primeiro período de odontologia.

Aos répteis vivos — crocodilos, lagartos, cobras — falta boa parte do que torna as bocas dos mamíferos ímpares. Os dentes de um crocodilo, por exemplo, têm todos um formato cônico alongado similar; a única diferença é que uns são grandes e outros pequenos. Aos répteis também falta a oclusão precisa — o encaixe entre os dentes superiores e inferiores — que está presente nos humanos e em outros mamíferos. Igualmente, enquanto os mamíferos substi-

tuem os dentes apenas uma vez, os répteis o fazem ao longo da vida toda, substituindo continuamente os dentes, à medida que estes se desgastam e quebram.

Um elemento nosso bastante básico — nosso jeito mamífero de mastigar — surge nas camadas de rocha no mundo todo entre 225 milhões e 195 milhões de anos atrás. Na base das rochas mais antigas, encontramos vários répteis que superficialmente lembram um cão. Caminhando sobre quatro pernas, eles têm crânio grande e muitos deles possuem dentes afiados. A semelhança para por aí. Ao contrário dos cães, esses répteis têm uma mandíbula composta de muitos ossos e seus dentes não se encaixam perfeitamente. Ao mesmo tempo, seus dentes são substituídos de uma maneira definitivamente reptiliana: dentes novos nascem e caem ao longo de toda a vida desses animais.

Mais acima nas rochas, vemos algo totalmente diferente: o aparecimento de características mamíferas. Os ossos da mandíbula diminuem e se deslocam em direção à orelha. Observamos o primeiro indicio do encaixe preciso dos dentes superiores e inferiores. O formato da mandíbula também se altera: o que não passava de uma simples haste nos répteis se parece mais a um bumerangue nos mamíferos. A essa altura, também, os dentes são substituídos apenas uma vez na vida, como acontece conosco. Podemos rastrear todas essas mudanças por meio do registro fóssil, principalmente em certos locais na Europa, na África do Sul e na China.

As rochas com cerca de 200 milhões de anos contêm criaturas com aparência de roedores, como o *Morganucodon* e o *Eozostrodon*, que começaram a se parecer com mamíferos. Esses animais, cujo tamanho não era maior que o de um rato, abrigam em seu interior partes importantes dos seres humanos. As fotos não são capazes de transmitir como eram maravilhosos esses primeiros mamíferos. Para mim, foi realmente fantástico ver pela primeira vez criaturas como essas.

Quando entrei na faculdade, eu queria estudar os primeiros mamíferos. Escolhi Harvard porque Farish A. Jenkins, Jr., a quem encontramos no primeiro capítulo, chefiava expedições ao Oeste americano que sistematicamente varriam as rochas locais atrás de sinais que indicassem como os mamíferos haviam desenvolvido sua característica capacidade para mastigar. O trabalho era uma verdadeira exploração; Farish e sua equipe procuravam novos locais e sítios, jamais retornando a lugares onde outros haviam feito descobertas. Farish reunira um grupo bastante notável de caçadores de fósseis que incluía funcionários do Museu de Zoologia Comparada de Harvard e um punhado de mercenários freelances. Bill Amaral, Chuck Schaff e o falecido Will Downs se

destacavam no grupo. Essa gente foi responsável por me apresentar o mundo da paleontologia.

Farish e sua equipe haviam estudado mapas geológicos e fotografias aéreas para escolher zonas promissoras onde pudessem encontrar mamíferos dos primórdios. Depois, todo verão, eles embarcavam em seus caminhões e tomavam o rumo dos desertos de Wyoming, Arizona e Utah.¹ Quando me juntei ao grupo, em 1983, eles já haviam encontrado vários novos e importantes mamíferos e sítios de fósseis. Fiquei impressionado com o poder das previsões: através, meramente, da leitura de artigos e livros científicos, a equipe de Farish era capaz de identificar locais prováveis e improváveis onde encontrar mamíferos antigos.

Meu batismo na paleontologia de campo se deu quando vaguei pelo deserto do Arizona com Chuck e Bill. De início, toda a empreitada parecia totalmente aleatória. Eu esperava algo semelhante a uma campanha militar, um reconhecimento organizado e coordenado do terreno. O que vi me pareceu o extremo oposto. A equipe se instalava numa faixa determinada de rochas, e o pessoal se espalhava em todas as direções possíveis em busca de fragmentos de ossos na superfície. Durante as primeiras semanas da minha primeira expedição, me deixaram sozinho. Eu saía à procura de fósseis, inspecionando toda rocha que via em busca de um pedacinho de osso. No final de cada dia, nos reuníamos para exibir nossos achados. Chuck trazia vários sacos de ossos. Bill portava seu complemento, geralmente acrescido de algum tipo de crânio de pequenas dimensões ou algum outro troféu. E eu nada tinha a mostrar, meu saco vazio, um triste lembrete do quanto ainda tinha a aprender.

Passadas algumas semanas, resolvi que seria uma boa idéia caminhar com Chuck. Parecia que as sacolas dele eram as mais cheias todos os dias; por que não, então, pegar algumas dicas com o especialista? Chuck gostou de caminhar comigo e falar da sua longa carreira em paleontologia de campo. Chuck é um típico texano com um arremate do Brooklyn: botas de caubói e valores do Oeste americano com um sotaque nova-iorquino. Embora ele me regalasse com as histórias de suas expedições anteriores, achei a experiência toda uma completa humilhação. Primeiro, Chuck não examinava todas as rochas, e quando escolhia uma, por mais que me esforçasse, eu não via por quê. E o pior e mais embaraçoso de tudo era que Chuck e eu olhávamos para a mesma faixa

¹Nota da Revisora Técnica: Desertos localizados nos Estados Unidos.

de solo. Eu não via nada, só rocha — o solo estéril do deserto. Chuck via dentes, mandíbulas e até pedaços de crânio fossilizados.

Uma vista aérea teria mostrado duas pessoas, caminhando sozinhas numa planície aparentemente infinda onde a paisagem de platôs vermelhos e verdes de arenito, colinas e terras áridas se estendia por quilômetros. Mas Chuck e eu olhávamos apenas para o chão, para o cascalho e o talus do solo do deserto. Os fósseis que buscávamos eram mínimos, não tinham mais que uns poucos centímetros, e o nosso mundo era muito pequeno. Este cenário mais intimista contrastava extremamente com a vastidão da paisagem do deserto que nos cercava. Meu companheiro de jornada era a única pessoa no planeta inteiro, e toda a minha existência estava focada em pedaços de pedras.

Chuck teve uma paciência de Jó comigo enquanto eu o atazanava com perguntas durante boa parte das jornadas diárias. Eu queria que ele me explicasse *exatamente* como encontrar ossos. Repetidas vezes ele me disse para ficar de olho em “algo diferente”, algo com textura de osso, não de rocha, algo que brilhasse como dentes, algo que lembrasse um osso do braço, não um pedaço de arenito. Parecia fácil, mas eu não conseguia entender o que ouvia. Por mais que tentasse, eu continuava a voltar diariamente para casa de mãos vazias. Agora era ainda mais vergonhoso, já que Chuck, que observava as mesmas rochas, chegava carregado de sacos.

Finalmente um dia, vi, na companhia de Chuck, o meu primeiro pedaço de dente brilhando ao sol do deserto. Ele estava lá, sobre uns restos de arenito, mas não havia dúvida. O esmalte emitia um brilho que nenhuma outra rocha possuía; era diferente de tudo que eu já vira. Bem, não exatamente — todo dia eu olhava para coisas assim. A diferença é que dessa vez eu finalmente vi, vi como distinguir pedra de osso. O dente brilhava, e enquanto eu o admirava brilhar, vislumbrei suas cúspides. O dente todo tinha mais ou menos o tamanho de uma moeda de dez centavos de dólar, sem incluir as raízes que se projetavam da base. Para mim, era tão glorioso quanto o maior dos dinossauros em exposição no museu.

De repente, o solo do deserto se encheu de ossos. Onde antes eu via apenas rochas, identificava agora pedacinhos aqui e acolá de fósseis por todo lado, como se estivesse usando um novo par especial de óculos e focos de luz iluminassem todos os diferentes pedaços de ossos. Próximo ao dente, encontravam-se pequenos fragmentos de outros ossos, além de mais dentes. O que havia ali era uma mandíbula que se desgastara no solo e se fragmentara. Comecei a voltar para casa toda noite com meus próprios saquinhos.

Agora que eu podia finalmente ver os ossos com meus próprios olhos, o que antes me parecia um esforço de equipe desordenado começava a parecer realmente organizado. O pessoal não ficava meramente vagando ao acaso pelo deserto; existiam regras rígidas implícitas. Regra número um: dirija-se às rochas que pareçam mais produtivas a julgar por quaisquer imagens de busca ou pistas visuais adquiridas em experiências anteriores. Regra número dois: não ande na cola de ninguém, palmilhe seu próprio caminho (Chuck gentilmente me havia deixado quebrá-la). Regra três: se em sua área de prospecção já houver alguém, encontre outra, ou busque um local menos promissor. Quem chegar primeiro tem prioridade.

Com o tempo, comecei a aprender as dicas para encontrar outros tipos de ossos: ossos longos, de mandíbulas e partes de crânios. Depois de ver essas coisas, não perdemos nunca mais o talento para encontrá-las. Assim como um grande marinheiro é capaz de ler a água do mar e ver os peixes dentro dela, um caçador de fósseis utiliza um catálogo de imagens de busca que fazem com que os fósseis se projetem das rochas. Eu começava a adquirir minhas próprias impressões visuais quanto à aparência de fósseis de ossos em diferentes rochas e condições de claridade. Descobrir fósseis de manhã difere em muito de descobri-los à tarde, por causa da maneira como a luz incide no solo.

Vinte anos mais tarde, sei que preciso passar por uma experiência similar toda vez que procuro fósseis em algum lugar novo, desde o Triássico do Marrocos ao Devoniano da Ilha Ellesmere. Travo uma batalha nos primeiros dias, parecida com a daquele período com Chuck no Arizona, vinte anos atrás. A diferença é que agora tenho a segurança de que uma imagem de busca vai acabar brotando na minha mente. O objetivo da prospecção que fiz com Chuck era encontrar um lugar com ossos suficientes para identificar uma camada rica em fósseis que pudéssemos expor. Quando me juntei à equipe, Farish e seus comandados já haviam descoberto uma área assim, uma faixa de rocha com cerca de 300 metros de comprimento que continha ossadas e mais ossadas de animais.

A pedreira de fósseis de Farish era de um xisto limoso de grãos muito finos. O segredo para trabalhar ali era perceber que a origem dos fósseis era uma camada fina, que não tinha mais que um milímetro de espessura. Uma vez exposta essa superfície, a chance seria grande de encontrar ossos. Eles eram mínimos, com uma polegada ou duas de comprimento, e negros, o que os fazia por pouco parecer manchas pretas na rocha amarronzada. Entre os animais que encontramos incluíam-se sapos (alguns dos primeiros), anfíbios sem

pernas, lagartos e outros répteis, além do mais importante: alguns dos primeiros mamíferos.

O ponto-chave é que os primeiros mamíferos eram pequenos. Seus dentes não mediam mais que 2 milímetros. Para localizá-los era preciso ser muito cuidadoso e, acima de tudo, ter um bocado de sorte. Se o zinho de areia, talvez não o vissemos.

Foi a visão desses primeiros mamíferos que realmente me encantou. Eu expunha a camada fóssil, depois fazia uma varredura meticulosa da superfície toda com a minha lente de aumento. Palmilhava a coisa toda de gatinhas, com o olho e a lente apenas a duas polegadas da superfície do solo. Concentrado assim, muitas vezes me esquecia de onde estava e sem querer invadia os domínios do meu vizinho, que me virava um saco de terra na cabeça para me lembrar, de forma não muito amistosa, de ficar no meu canto. De vez em quando, porém, eu acertava na loto e via uma profunda ligação pela primeira vez. Os dentes pareciam pequenas lâminas, com cúspides e raízes. As cúspides naqueles dentinhos revelaram algo muito especial. Cada dente apresentava um padrão característico de desgaste no lado onde os dentes superiores e inferiores se encaixavam. Eu via ali os primeiros indícios do nosso padrão preciso de mastigação, só que num mamífero muito pequeno de 190 milhões de anos de idade.

O poder desses momentos é algo de que jamais me esquecerei. Ali, quebrando rochas na terra, eu descobria objetos capazes de alterar o modo de pensar dos indivíduos. Aquela justaposição das atividades mais infantis, até mesmo humilhantes, e de uma das maiores aspirações intelectuais humanas nunca me passou despercebida. Tento me lembrar disso toda vez que escavo em algum lugar novo.

Voltando à faculdade naquele outono, contrái de vez o vírus da expedição. Queria liderar a minha, mas me faltavam recursos para realizar algo grandioso, razão pela qual parti para explorar rochas em Connecticut com cerca de 200 milhões de anos. Bem estudadas durante o século XIX, elas haviam sido o cenário de várias descobertas importantes de fósseis. Imaginei que se me atirasse sobre essas mesmas rochas com a minha lente de aumento e a minha tão bem-sucedida imagem de busca de mamíferos antigos voltaria com ótimos achados. Aluguei uma minivan, passei a mão em uma caixa de sacos coletores e me pus a caminho.

Apreendi mais uma lição: não encontrei coisa alguma. De volta ao quadro-negro, ou mais precisamente, à biblioteca de geologia da faculdade.

Eu precisava de um local onde encontrar rochas de 200 milhões de anos bem expostas: em Connecticut havia apenas estradas abertas. O lugar ideal seria ao longo da costa, onde a ação das ondas proveria montes de rochas recém-quebradas para meu exame. O estudo de um mapa deixou clara a minha escolha: na Nova Escócia, rochas triássicas e jurássicas (com 200 milhões de anos aproximadamente) se achavam expostas na superfície. Para culminar, os guias turísticos sobre a região apregoavam as mais altas marés do mundo, às vezes de mais de 1,5 metro. Como eu era sortudo!

Liguei para o especialista nesse tipo de rocha, Paul Olsen, que começara a dar aulas na Universidade de Colúmbia. Se eu já estava excitado com a perspectiva de encontrar fósseis antes de falar com Paul, fiquei eufórico depois. Ele descreveu a geologia perfeita para encontrar pequenos mamíferos ou répteis: velhos córregos e dunas que possuíam as propriedades sob medida para preservar ossinhos. Para coroar, ele já havia encontrado alguns ossos e pegadas de dinossauros ao longo de uma faixa de praia próxima à cidade Parrsboro, na Nova Escócia.² Paul e eu elaboramos um plano para visitar Parrsboro juntos e varrer a praia atrás de pequenos fósseis. Essa atitude era incrivelmente generosa da parte de Paul, pois ele detinha “direitos” sobre a área e não era em absoluto sua responsabilidade me ajudar e menos ainda colaborar comigo.

Consultei Farish sobre meus planos incipientes e não só ele me ofereceu dinheiro, como sugeriu que eu levasse os peritos em caça a fósseis Bill e Chuck. Dinheiro, Bill, Chuck, Paul Olsen, rochas excelentes e exposições satisfatórias – o que mais eu poderia querer? No verão seguinte, dirigi a minha primeiríssima expedição de fósseis.

Lá fui eu numa caminhonete alugada para as praias da Nova Escócia com minha equipe de campo, Bill e Chuck. Naturalmente, quem fez papel de bobó fui eu. Com Bill e Chuck como companhia, cuja experiência de campo somada superava em anos a minha idade, eu era líder apenas no nome. Eles davam as cartas, enquanto eu pagava a conta dos jantares.

As rochas na Nova Escócia estavam expostas em penhascos maravilhosos de arenito cor de laranja ao longo da Baía de Fundy. As marés iam e vinham, com cerca de 800 metros diariamente, expondo enormes trechos de leito de rocha laranja. Não demorou para que começássemos a encontrar ossos em várias áreas diversas. Pequenas lascas brancas de ossos apareciam ao longo dos

²Nota da Revisora Técnica: A Nova Escócia é uma província do Canadá.

penhascos. Paul achava pegadas por todo lado, mesmo nos trechos desnudados pelas marés moventes todos os dias.

Chuck, Bill, Paul e eu passamos duas semanas escavando nas rochas da Nova Escócia, encontrando pedaços, lascas e fragmentos de ossos se projetando dos sermões sobre não expor demasiado os ossos no campo, e, sim, embromos, mas admito ter ficado desapontado com o que levamos de volta para casa: apenas algumas caixas de sapato com rochas onde se viam pequenas lascas e resíduos de ossos. Dirigindo de volta, me lembro que pensei que embora não tivéssemos encontrado grande coisa, a experiência fora ótima. Em seguida, tirei uma semana de férias e Chuck e Bill voltaram ao laboratório.



Paul Olsen encontrando pegadas nos trechos desnudados pelas marés da Nova Escócia.

Na maré alta, a água chegava até os penhascos à esquerda. A seta aponta para um local onde, se tivéssemos nos equivocado quanto ao horário da expedição, acabaríamos presos nas rochas durante horas.

Foto tirada pelo autor.

Quando voltei a Boston, Chuck e Bill haviam saído para almoçar. Alguns colegas estavam de visita ao museu e, ao me verem, vieram me cumprimentar, me dar parabéns acompanhados de palmadinhas nas costas. Tratavam a mim como um herói conquistador, mas eu não fazia idéia do porquê. Parecia uma

piada bizarra, como se estivessem armando para me pregar uma grande peça. Mandaram que eu fosse ao laboratório de Bill para ver meu troféu. Sem saber o que pensar, corri até lá.

Sob o microscópio de Bill se achava uma minúscula mandíbula, com no máximo meia polegada de comprimento. Nela havia alguns dentinhos mínimos. O dono da mandíbula sem dúvida era um réptil, pois os dentes possuíam apenas uma única raiz na base, enquanto os dentes dos mamíferos têm várias. Mas nos dentes havia pequenas depressões e cristas que eu podia ver a olho nu. Ao pôr os dentes sob o microscópio, tive a maior das surpresas: as cúspides mostravam pequenas faixas de desgaste. Este era um réptil com oclusão dentecom-dente. Meu fóssil era parte mamífero, parte réptil.

Bill havia desembrulhado um dos nossos blocos de rocha, visto uma partícula de osso e preparado-o com uma agulha sob o microscópio. Nenhum de nós soube disso no campo, mas a nossa expedição foi um baita sucesso.

O que aprendi naquele verão? Primeiro, a ouvir Chuck e Bill. Em segundo lugar, aprendi que muitas das grandes descobertas acontecem nas mãos dos preparadores de fósseis, não no campo. Na verdade, a minha maior lição a respeito de trabalho de campo ainda estava por vir.

O réptil encontrado por Bill foi um tritilodonte, uma criatura conhecida na África do Sul, bem como agora na Nova Escócia. Como eram muito raros, quisemos voltar à Nova Escócia no verão seguinte para encontrar mais deles. Passei o inverno inteiro tenso de ansiedade. Se fosse possível escavar a neve durante o inverno gelado à procura de fósseis, eu o teria feito.

Lá fomos nós no verão seguinte, o de 1985, de volta ao sítio onde havíamos encontrado o tritilodonte. O local ficava no nível da praia, onde um pequeno pedaço de penhasco havia caído vários anos antes. Era preciso calcular precisamente a nossa visita diária: o lugar era inacessível na maré alta, pois a água subia demais em torno de um ponto que precisávamos contornar. Nunca me esquecerei daquele primeiro dia de excitação quando contornamos o ponto e achamos a nossa faixa de rocha laranja brilhante. A experiência foi memorável pelo que lhe faltou: a maior parte da área que havíamos trabalhado no ano anterior. Apparently fora levada pelas marés no inverno que se seguiu. Nosso lindo sítio de fósseis, contendo belos tritilodontes, foi-se com a maré.

A boa notícia, se é que se pode chamá-la assim, é que havia mais uma pequena quantidade de arenito laranja para explorar ao longo da praia. A maior parte da praia, principalmente o ponto que precisávamos contornar toda manhã, era feita de basalto derivado de um fluxo de lava de 200 milhões de anos.

Tínhamos certeza de que nenhum fóssil seria encontrado ali, pois é praticamente axiomático que essas rochas, um dia extremamente quentes, fossem aos locais de acordo com as marés, escavando com as mãos nos arenitos laranja sem achar absolutamente nada.

Nossa recompensa surgiu quando o presidente do Lions Club local apareceu em nosso acampamento uma noite à procura de juizes para o concurso de beleza local, que coroaria a Miss Old Home Week de Parrsboro. A cidade sempre confiava a visitantes tão onerosa tarefa, pois as paixões destrutivas, como sempre, corriam soltas durante o evento. Os juizes habituais, um casal idoso de Quebec, não estavam presentes naquele ano, razão pela qual a equipe e eu fomos convidados para substituí-los.

Como júri do concurso de beleza, ficamos acordados até demasiado tarde e nos esquecemos das marés do dia seguinte, acabando encurralados numa curva nos penhascos de basalto. Durante cerca de duas horas, ficamos presos num pequeno promontório de cerca de 1,5 metro de largura. A rocha era vulcânica e não do tipo que alguém escolheria para procurar fósseis. Pulamos de pedra para pedra até ficar de saco cheio e então observamos as rochas: quem sabe pudéssemos achar cristais ou minerais interessantes. Bill sumiu por trás de uma esquina, e eu admirei o basalto às nossas costas. Passados uns quinze minutos, ouvi um grito. Jamais me esquecerei da sugestão supérflua que Bill me fez: "Neil, talvez você queira dar um pulo aqui." Ao virar a esquina, vi a excitação estampada nos olhos de Bill. Depois vi as rochas a seus pés. Projetando-se delas havia milhares de pequenos fragmentos brancos. Ossos fósseis.

Era exatamente isso que procurávamos: um lugar com pequenos ossos. Descobrimos depois que as rochas vulcânicas não eram totalmente vulcânicas: fatias de arenito perpassavam o penhasco vulcânico. Haviām sido produzidas por antigos deslizamentos de lama associados a uma erupção vulcânica. Os fósseis estavam presos naquela lama velha.

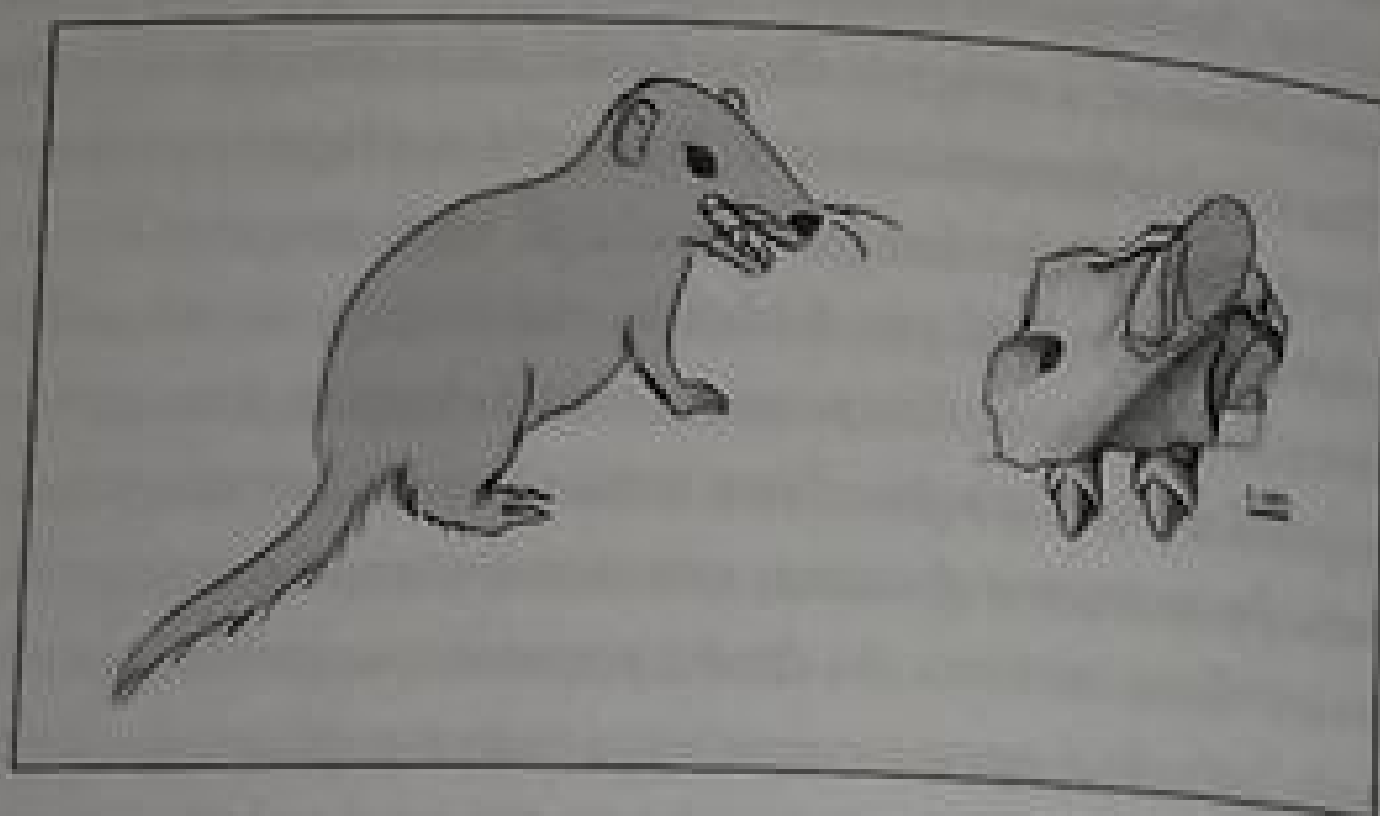
Levamos de volta para casa toneladas dessas rochas. Dentro delas havia mais tritilodontes, alguns crocodilos primitivos e outros répteis com aparência de lagartos. Os tritilodontes eram as jóias, claro, porque mostravam que alguns tipos de répteis já exibiam o nosso estilo mamífero de mastigação.

Os primeiros mamíferos, como os que a equipe de Farish descobriu na Arizona, tinham padrões muito precisos de oclusão. Desgastes nas cúspides de um dente superior se revelaram imagens-espelho dos mesmos desgastes num dente inferior. Esses padrões de desgaste são tão perfeitos que espécies

diferentes de mamíferos dos primórdios podem ser identificadas por seus padrões de desgaste e oclusão. Os mamíferos do Arizona de Farish possuem um padrão de cúspides e oclusão diverso daqueles da mesma idade encontrados na América do Sul, Europa ou China. Se tivéssemos apenas répteis vivos para comparar a esses fósseis, a origem da oclusão mamífera daria a impressão de um grande salto. Como mencionamos, crocodilos e lagartos não possuem nenhum tipo de padrão de oclusão combinada. É aqui que entram os tritilodontes. Quando voltamos no tempo, a rochas com cerca de 10 milhões de anos, como as da Nova Escócia, encontramos tritilodontes com uma versão incipiente desse tipo de mastigação. Nos tritilodontes, as cúspides individuais não se encaixam de maneira precisa, como acontece nos mamíferos. Em vez disso, toda a superfície interna do dente superior se atrita contra a superfície externa do dente inferior, quase como uma tesoura. Naturalmente, essas mudanças na oclusão não se deram num vácuo. Não é de surpreender que as primeiras criaturas a exibir um tipo mamífero de mastigação também exibissem características mamíferas na mandíbula inferior, no crânio e no esqueleto.

Como os dentes são tão bem preservados no registro fóssil, temos informações bastante detalhadas sobre como os principais padrões de mastigação — e a capacidade de utilizar novas dietas — surgiram com o tempo. A história dos mamíferos é a história de novas maneiras de processar alimentos. Logo após esbarrarmos nos tritilodontes nos registros fósseis, começamos a ver todo tipo de novas espécies mamíferas com novos tipos de dentes, bem como novas formas de oclusão e como usá-las. Por volta, aproximadamente, de 150 milhões de anos atrás, em rochas de todo o mundo, encontramos pequenos mamíferos roedores com um novo tipo de ordenação dentária, que pavimentou o caminho para a nossa própria existência. O que tornou especiais essas criaturas foi a complexidade da boca: a mandíbula possuía tipos diferentes de dentes ali implantados. Os dentes na parte frontal da mandíbula tinham uma aparência distinta dos que ficavam na parte de trás; a boca desenvolveu uma espécie de divisão de tarefas. Os incisivos se especializaram em cortar comida, os caninos, logo atrás, a perfurá-la, e os molares lá no fundo a triturá-la ou amassá-la. Esses pequenos mamíferos, que se pareciam com camundongos, possuíam dentro deles um pedaço fundamental da nossa história. Se você duvida disso, imagine-se comendo uma maçã se lhe faltar o dente incisivo ou, melhor ainda, uma cenoura grande na falta de molares. Nossa dieta diversificada, abrangendo de frutas a carnes, só é possível porque nossos distantes ancestrais mamíferos desenvolveram a boca com diferentes tipos de dentes capazes de uma oclu-

são precisa. E os estágios iniciais disso são, sim, vistos nos tritilodontes: os dentes da frente apresentam um padrão de lâminas e cúspides diferente do observado nos dentes de trás.



Um tritilodonte e um pedaço de sua mandíbula superior descobertos na Nova Escócia. Fragmento de mandíbula desenhado por Lazlo Meszoley.

OSSOS E DENTES – AS COISAS DURAS

É praticamente desnecessário dizer que o que torna os dentes especiais dentre todos os órgãos é a sua dureza. Os dentes têm que ser mais duros do que os pedaços de comida que eles partem. Imagine-se tentando cortar um bife com uma esponja. Sob vários aspectos, os dentes são tão duros quanto as pedras, e o motivo é que eles contêm uma molécula de cristal no interior. Essa molécula, conhecida como hidroxiapatita, impregna a infra-estrutura molecular e celular tanto dos dentes quanto dos ossos, tornando-os resistentes à flexão, compressão e outras tensões. Os dentes são muito duros porque sua camada externa, o esmalte, é muito mais rica em hidroxiapatita do que qualquer outra estrutura do corpo, aí incluídos os ossos. O esmalte confere aos dentes seu brilho característico. Claro que o esmalte é apenas uma das camadas que constituem nossos dentes. As camadas internas, como a polpa e a dentina, residem internamente ao esmalte do dente.

Existem várias criaturas com tecidos duros — caranguejos e lagostas, por exemplo. Mas eles não usam hidroxiapatita. As lagostas e os caranguejos utilizam outros materiais, como carbonato de cálcio ou quitina. Ao mesmo tempo, ao contrário de nós, esses animais possuem um exoesqueleto que lhes recobre o corpo. A nossa dureza é interna.

Nosso tipo particular de dureza, como dentes e ossos, é uma parte essencial de quem somos. Podemos comer, andar, respirar e até metabolizar certos minerais porque os nossos tecidos contêm hidroxiapatita. Por esses talentos somos gratos ao ancestral comum que partilhamos com todos os peixes. Todos os peixes, anfíbios, répteis, pássaros e mamíferos no planeta são como nós. Todos eles têm estruturas que contêm hidroxiapatita. Mas de onde vem tudo isso?

Temos aqui uma importante questão intelectual em pauta. Se soubermos onde, quando e como os ossos e os dentes contendo hidroxiapatita surgiram, estaremos em posição de entender por quê. Por que terá surgido o nosso tipo de tecido duro? Terá sido para proteger os animais do ambiente à sua volta? Para ajudá-los a se deslocar? As respostas a essas perguntas residem no registro fóssil, em rochas de aproximadamente 500 milhões de anos.

Os fósseis mais comuns em oceanos antigos, de 500 milhões a 250 milhões de anos, são chamados conodontes. Os conodontes foram descobertos na década de 1830 pelo grande biólogo russo Christian Pander, que reaparecerá alguns capítulos à frente. Eles são pequenas constituições conchosas com uma série de espículas que delas se projetam. Desde a época de Pander, os conodontes vêm sendo descobertos em todos os continentes e existem lugares onde é impossível quebrar uma rocha sem encontrar um grande número deles. Conhecem-se centenas de tipos de conodontes.

Durante muito tempo, os conodontes foram um enigma: os cientistas discordavam quanto à sua natureza: seriam animais, vegetais ou minerais? Todos tinham uma teoria própria, porém: afirmava-se que os conodontes eram pedaços de moluscos, esponjas, vertebrados e até mesmo vermes. A especulação se encerrou quando animais inteiros passaram a aparecer no registro fóssil.

O primeiro espécime que deu sentido a tudo foi encontrado por um professor de paleontologia que buscava alguma coisa no porão da Universidade de Edimburgo: ali estava uma laje de rocha contendo em seu interior o que parecia ser uma lampreia. Incrustados na parte da frente do contorno da lampreia havia conodontes. Outros fósseis com aparência de lampreias começaram a brotar de rochas na África do Sul e, mais tarde, na parte ocidental dos Estados Unidos. Essas criaturas tinham todas uma característica excepcional: conjuntos completos de conodontes na boca. A conclusão era absolutamente clara: os conodontes eram dentes. E não dentes quaisquer. Conodontes eram os dentes dos antigos peixes desprovidos de mandíbulas.

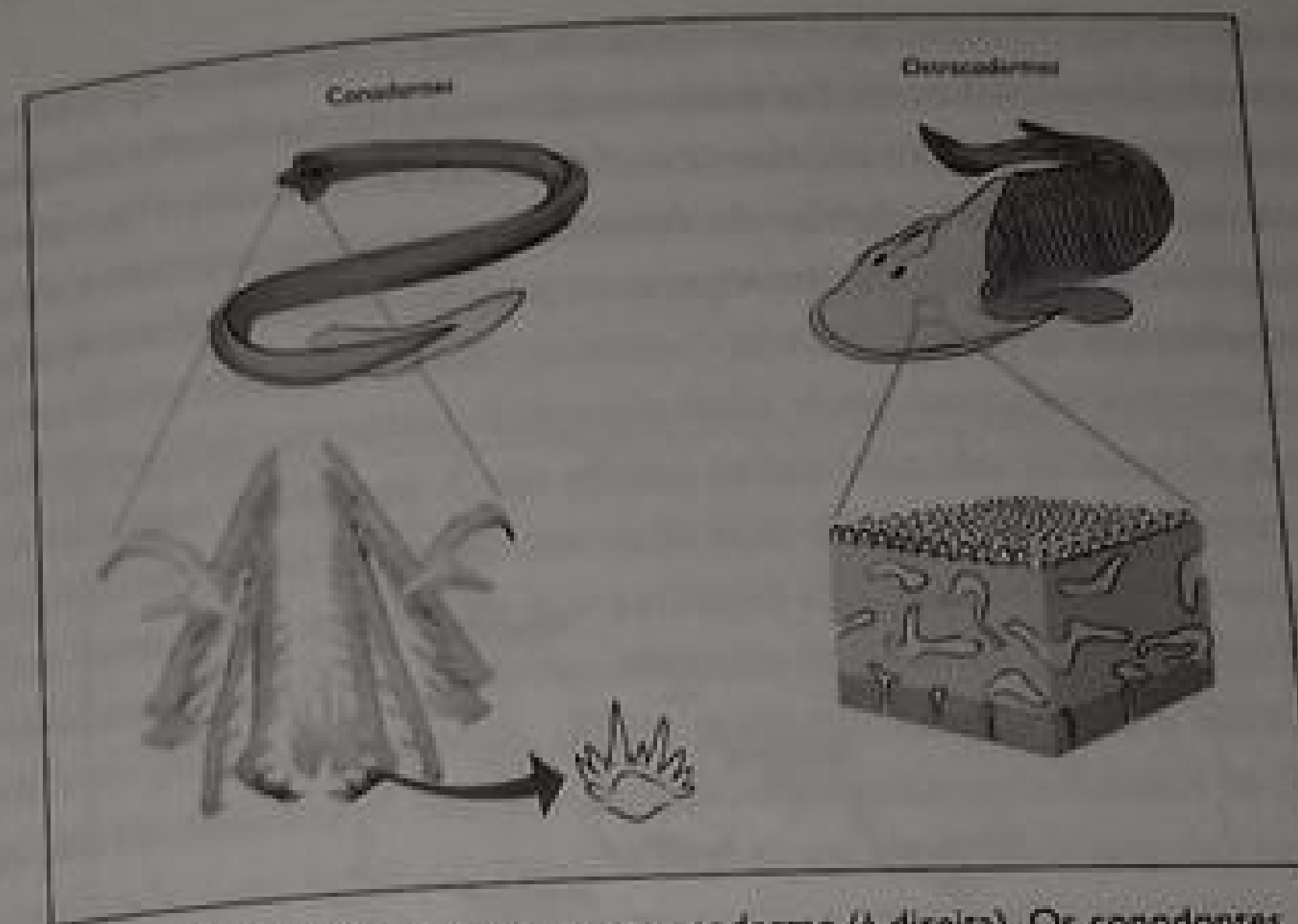
Já tínhamos no registro fóssil os dentes mais remotos do planeta mais de 150 anos antes de nos darmos conta do que eram. O motivo se resume à maneira como os fósseis são preservados. As partes duras, os dentes, por exemplo, costumam ser mais facilmente preservados. Partes moles, como músculos, seus cheios de esqueletos, conchas e dentes fósseis, mas pouquíssimos outros moles, estes em geral estão preservados apenas como impressões de tecidos. O nosso registro fóssil se encontra abarrotado de dentes conodontes, mas poucos corpos a que pertenciam os conodontes: eles não possuem tecidos duros. Esses animais tinham corpos moles.

Durante anos, os paleontólogos discutiram por que os esqueletos duros, que contêm hidroxiapatita, surgiram em primeiro lugar. Para os que acreditavam que os esqueletos começaram com mandíbulas ou espinhas dorsais, os conodontes fornecem uma verdade inconveniente. Os primeiros órgãos duros contendo hidroxiapatita foram os dentes. O osso surgiu não para proteger os animais, mas para comê-los. Com isso, o mundo peixe-coma-peixe começou de verdade. Primeiro, os peixes grandes comiam os pequenos, depois a guerra armada começou. Os peixes pequenos desenvolveram armaduras, os peixes grandes conseguiram mandíbulas maiores para partir as armaduras, e daí por diante. Os dentes e os ossos realmente alteraram o cenário competitivo.

As coisas ficam ainda mais interessantes quando observamos animais com cabeças ósseas. Quando progredimos no tempo a partir dos primeiros animais conodontes, vemos que aparência tinham os primeiros esqueletos com cabeça óssea. Eles pertenciam a peixes chamados ostracodermes, têm cerca de 500 milhões de anos e são encontrados em rochas de todo o mundo, do Ártico à Bolívia. Esses peixes se parecem com hambúrgueres com caudas carnudas.

A região da cabeça de um ostracoderme é um grande disco coberto por um escudo de osso, semelhante a uma armadura. Se eu abrisse uma gaveta de museu e lhe mostrasse um deles, você imediatamente notaria algo estranho: o esqueleto da cabeça é de fato brilhante, lembrando muito os nossos dentes ou as escamas de um peixe.

Uma das alegrias de ser um cientista é que o mundo natural tem o poder de espantar e surpreender. Nos ostracodermes, um grupo obscuro de antigos peixes desprovidos de mandíbula, reside um exemplo ímpar. Os ostracoder-



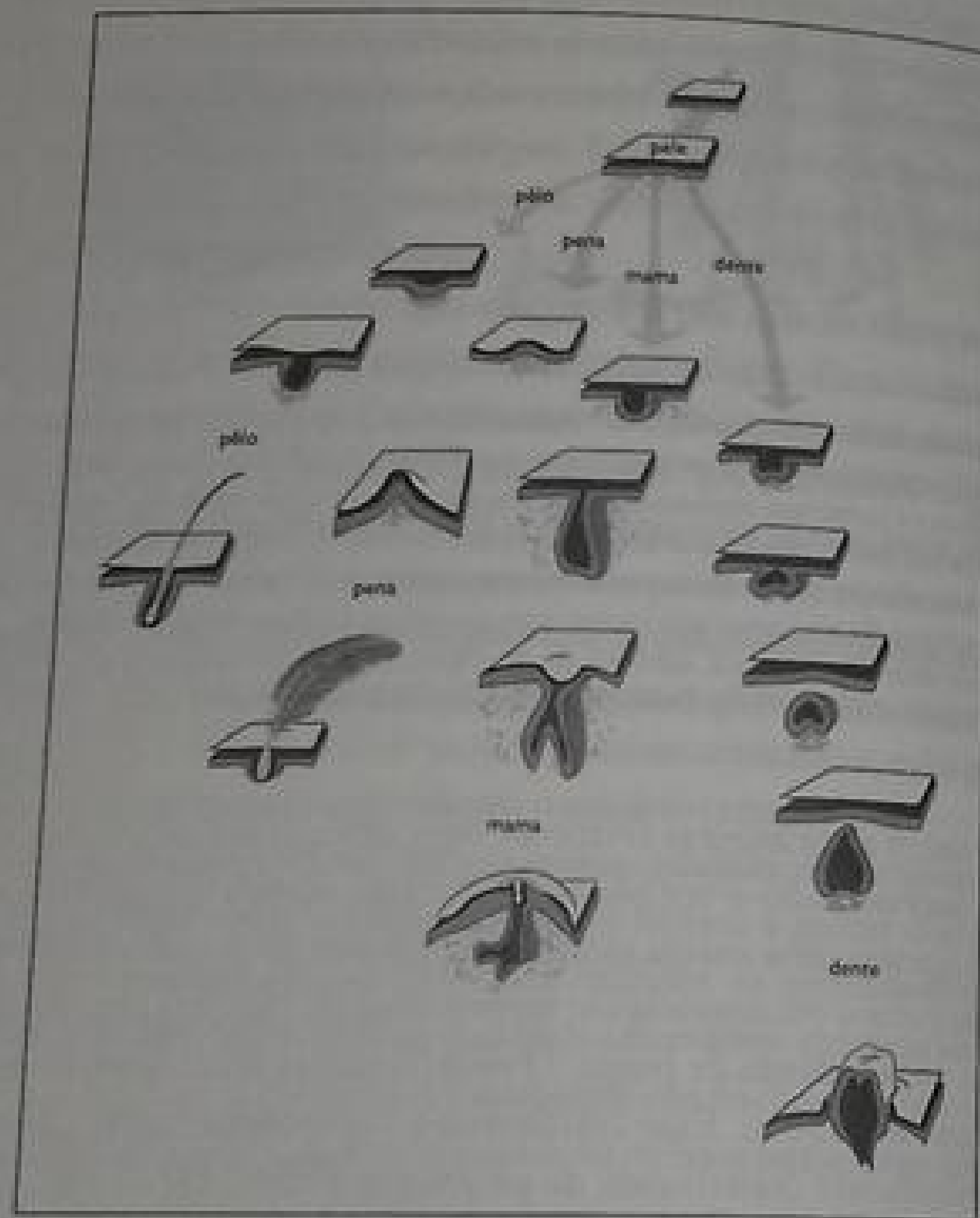
Um conodonte (à esquerda) e um ostracoderme (à direita). Os conodontes foram originalmente encontrados isolados. Depois, conforme os animais inteiros se tornaram conhecidos, descobrimos que muitos deles funcionavam juntos nas bocas desses animais. Os ostracodermes têm cabeças recobertas por um escudo ósseo. As camadas microscópicas desse escudo parecem compostas de pequenas estruturas com aparência de dentes. Reconstrução de um dente conodonte, cortesia do dr. Mark Purnell, Universidade de Leicester, e do dr. Philip Donoghue, Universidade de Bristol.

mes estão entre as primeiras criaturas com cabeças ósseas. Abrindo-se o osso do crânio, incrustando-o em plástico e botando-o sob um microscópio descobre-se não apenas uma antiga estrutura qualquer de tecido, mas praticamente a mesma estrutura encontrada em nossos dentes. Há uma camada de esmalte e até mesmo uma camada de polpa. O escudo todo é feito de milhares de dentes fundidos uns aos outros. Esse crânio ósseo – um dos primeiros no registro fóssil – é inteiramente constituído de pequenos dentes. Os dentes surgiram originalmente para morder criaturas; mais tarde, uma versão de dentes foi utilizada de uma forma nova para protegê-las.

DENTES, GLÂNDULAS E PENAS

Os dentes não só anunciaram um modo totalmente novo de vida como revelaram a origem de um modo totalmente novo de produção de órgãos. Os dentes se desenvolvem por meio de uma interação de duas camadas de tecido na nos-

sa pele em desenvolvimento.³ Basicamente, duas camadas se aproximam, as células se dividem, e as camadas mudam de formato e produzem proteínas. A camada externa cospe os precursores moleculares do esmalte, a camada interna, a dentina e a polpa do interior do dente.⁴ Com o tempo, a estrutura do dente é esboçada e depois puxada para gerar os padrões das cúspides e fendas que caracterizam cada espécie.



Dentes, mamãs, penas e pêlo se desenvolveram a partir da interação entre camadas de pele.

³Nota da Revisora Técnica: O autor se refere de forma simplista à formação embriológica complexa do sistema tegumentar humano – pele e seus anexos (glândulas sudoríparas, sebáceas e mamárias, unhas, pêlos e dentes) – que se origina do ectoderma e do mesoderma (folhetos embrionários).

⁴Nota da Revisora Técnica: O esmalte é originado do ectoderma, enquanto a dentina, cemento e polpa são originadas do mesoderma, em humanos.

A chave para o desenvolvimento dos dentes é que uma interação entre essas duas camadas de tecido, uma lâmina externa de células e uma camada interna frouxa de células, provoca a dobra do tecido e faz com que ambas as camadas secretem as moléculas que produzem o órgão. Na verdade, exatamente o mesmo processo está por trás do desenvolvimento de todas as estruturas que se desenvolvem dentro da pele: escamas, cabelos, penas, glândulas sudoríparas e até glândulas mamárias. Em cada caso, duas camadas se juntam, se dobram e secretam proteínas. Com efeito, as baterias das principais mudanças genéticas ativas nesse processo em cada tipo de tecido são as mesmas.

Este exemplo se assemelha à construção de uma nova fábrica ou processo de montagem. Quando inventaram a injeção de plástico, por alguma razão, ela foi usada na produção de tudo, desde peças de automóveis a ioiôs. Com os dentes não foi diferente. Uma vez surgido o processo que fabrica os dentes, ele foi modificado para produzir os diversos tipos de órgãos que existem dentro da pele. Vimos isso ser levado ao extremo nos ostracodermes. Pássaros, répteis e humanos não lhes ficam atrás, em muitos aspectos. Nunca teríamos escamas, penas ou mamãs se, para começar, não tivéssemos tido dentes. As ferramentas do desenvolvimento que produzem os dentes foram reprogramadas para produzir outras estruturas importantes de pele. Num sentido bastante real, órgãos tão diferentes quanto dentes, penas e mamãs se encontram inextricavelmente ligados pela história.

Um tema para esses quatro primeiros capítulos é a maneira como podemos acompanhar a origem do mesmo órgão em diferentes criaturas. No Capítulo 1, vimos que é possível fazer previsões e descobrir versões dos nossos órgãos nas rochas antigas. No Capítulo 2, vimos como é possível acompanhar ossos similares desde os peixes até os humanos. O Capítulo 3 mostrou como a verdadeira parte hereditária dos nossos corpos – o DNA e a receita genética que cria os órgãos – pode ser monitorada em várias criaturas diferentes. Aqui, nos dentes, nas glândulas mamárias e nas penas, descobrimos um tema similar. Os processos biológicos que criam esses órgãos distintos são versões da mesma coisa. Quando se observam essas semelhanças profundas entre órgãos e corpos diversos, começamos a admitir que os diferentes habitantes do nosso mundo não passam de variações de um mesmo tema.

PROGREDINDO

Faltavam dois dias para o meu exame final de anatomia e eu continuava no laboratório por volta de duas da manhã, decorando os nervos cranianos. Existem doze nervos cranianos e cada um deles se ramifica para fazer voltas e curvas bizarras no interior do crânio. Para estudá-los, seccionávamos o crânio da testa ao queixo e serrávamos alguns ossos da face. Assim é que lá estava eu segurando uma metade da cabeça em cada mão, acompanhando os caminhos sinuosos que os nervos trilham em nosso cérebro para chegar aos diferentes músculos e órgãos sensoriais.

Fascinavam-me dois dos nervos cranianos: o trigêmeo e o facial. O padrão complicado de ambos se resumia a algo simples, tão audaciosamente fácil que passei a ver a cabeça humana de uma nova maneira. Esse lampejo surgiu da compreensão de como eram as coisas nos tubarões. A elegância da minha percepção – embora não a sua novidade, visto que os anatomistas comparativos já a possuíam há um século ou mais – e a pressão da prova final dali a dois dias me levaram a esquecer onde eu estava. A certa altura, olhei à minha volta. Eram duas da manhã e eu estava sozinho no laboratório. Por acaso também me cercavam 25 corpos cobertos com lençóis. Pela primeira e última vez, senti medo. Fiquei num tal estado que os cabelos do meu pescoço se arrepiaram, meus pés cumpriram a sua função e em um microssegundo me vi no ponto do ônibus, esbaforido. Nem é preciso acrescentar que me senti ridículo. Lembro-me de dizer a mim mesmo: “Shubin, você se tornou um valentão.” Essa idéia não durou muito. Logo descobri que deixara as chaves de casa trancadas no laboratório.

O que me tornou tão valentão foi o fato de que a anatomia do cérebro é profundamente hipnotizadora, bela, para ser franco. Uma das alegrias da ciência é de vez em quando ver um padrão que revela a ordem do que inicialmente parecia caótico. Uma desordem se torna parte de um plano simples, e a gente sente estar vendo através de algo para encontrar sua essência. Este capítulo diz respeito a ver essa essência dentro da nossa cabeça. E, é claro, da dos peixes.

O CAOS INTERNO DA CABEÇA

A anatomia do cérebro não só é complicada como difícil de ver, já que, ao contrário de outras partes do corpo, os tecidos da cabeça ficam encapsulados na caixa óssea. É preciso, literalmente, serrar a face, a testa e o crânio para ver os vasos e órgãos. Tendo assim aberto uma cabeça humana, encontramos uma massa do que lembra linhas de pesca emaranhadas. Vasos e nervos dão voltas e curvas enquanto viajam através do crânio. Quilômetros de ramificações nervosas, músculos e ossos repousam nessa pequena caixa. À primeira vista, o arranjo todo é uma confusão desnordeante.

Nossos crânios se compõem de três partes ósseas¹ fundamentais: placas ósseas, blocos e bastões. As placas cobrem o nosso cérebro. Basta apalpar o topo da cabeça para senti-las. Essas grandes placas se encaixam como peças de um quebra-cabeça e formam boa parte do nosso crânio. Quando nascemos, as placas estão separadas; os espaços vazios entre elas, os fontículos,² são visíveis em bebês, pulsando às vezes com o tecido cerebral por baixo delas. Conforme crescemos os ossos aumentam, e quando chegamos aos dois anos de idade, já se fundiram.

Outra parte óssea do nosso crânio fica por baixo do cérebro, formando uma plataforma que o sustenta. Ao contrário dos ossos em forma de placa no topo, estes parecem blocos complicados e possuem muitas artérias e nervos a atravessá-los. O terceiro tipo de osso compõe nossas mandíbulas, alguns ossos dos ouvidos e outros na nossa garganta. Esses ossos começam seu desenvolvimento com a aparência de bastões, que afinal se fragmentam e mudam de forma para nos ajudar a mastigar, engolir e ouvir.

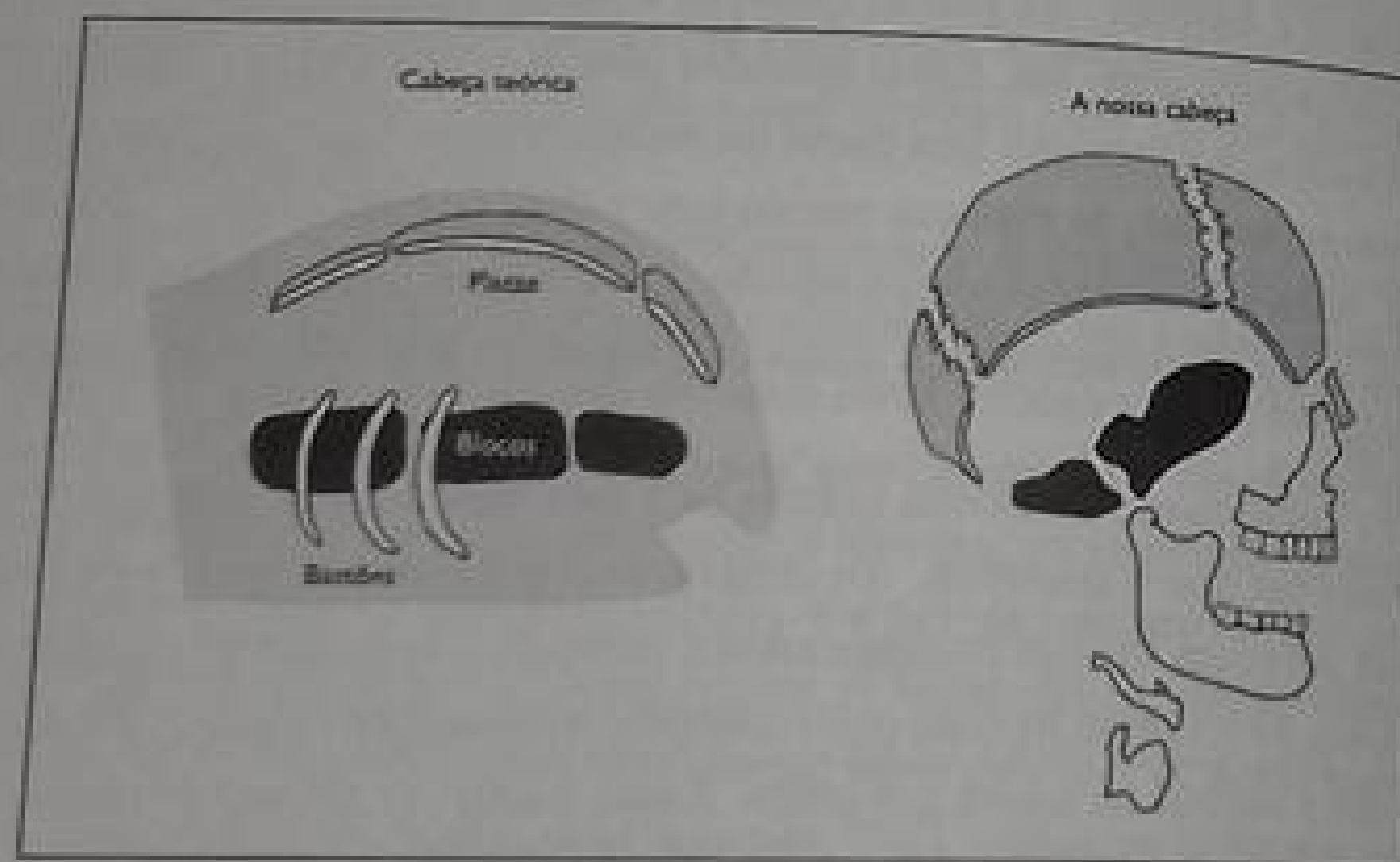
¹Nota da Revisora Técnica: O autor utiliza esta descrição simplificada para falar das seguintes estruturas embriológicas: membranas, bolsas e arcos faríngeos (ou branquiais).

²Nota da Revisora Técnica: Anteriormente denominadas fontanelas.

Dentro do crânio existe uma série de compartimentos e espaços diferentes que abrigam órgãos diversos. Obviamente, o cérebro ocupa o maior deles. Outros espaços contêm os olhos, partes dos ouvidos e nossas estruturas nasais. Boa parte do desafio de entender a anatomia da cabeça reside em observar esses diferentes espaços e órgãos em três dimensões.

Unidos aos ossos e órgãos na cabeça estão os músculos que usamos para morder, falar e mover nossos olhos, bem como a cabeça toda. Doze nervos saem desses músculos, cada um saindo do cérebro para se dirigir a uma região diferente dentro da nossa cabeça. Esses são os temidos nervos cranianos.

A chave para desvendar a estrutura básica da cabeça é encarar os nervos cranianos como mais uma confusão. De fato, quase todos eles são simples. Têm uma única função e se acham ligados a um músculo ou órgão. O nervo craniano que vai para as nossas estruturas nasais, o olfativo, tem uma tarefa: levar informações dos nossos tecidos nasais para o cérebro. Alguns nervos que vão para nossos olhos e ouvidos também são simples nessa medida: o nervo óptico tem a ver com a visão; o nervo vestibulococlear com a audição, outros nervos cranianos apenas servem aos músculos – trabalhando para mexer os olhos em suas órbitas, por exemplo, ou mover a cabeça sobre o pescoço.



Placas, blocos e bastões: o tema para os crânios. Todos os ossos em nossa cabeça podem ser rastreados até uma dessas coisas.

No entanto, quatro nervos cranianos há décadas provocam ataques nos estudantes de medicina. E com razão: os quatro têm funções muito complexas e adotam caminhos tortuosos através da cabeça para cumprir suas mis-

sões. O nervo trigêmeo e o nervo facial merecem uma menção especial. Ambos saem do cérebro e se dividem em uma rede desnorteante de ramificações. À semelhança de um cabo telefônico que pode servir de condutor para uma teclagem de um cabo, para a Internet e informações de voz, um único ramo do trigêmeo ou do nervo facial é capaz de conduzir informações sobre sensação e ação ao mesmo tempo. Fibras individuais para sensação e ação brotam de diferentes partes do cérebro e se consolidam em cabos (o que acabamos chamando de nervos trigêmeo e facial), depois se dividem novamente, mandando ramificações por toda a cabeça.

As ramificações do trigêmeo exercem duas funções importantes: controlam os músculos e transportam informações sensoriais de boa parte do nosso rosto para o cérebro. Os músculos controlados pelo nervo trigêmeo incluem os que usamos para mastigar, bem como os minúsculos músculos bem no fundo do ouvido. O trigêmeo também é o principal nervo para as sensações no rosto. O motivo por que um tapa na cara dói tanto, além do plano emocional, é porque o trigêmeo transporta para o cérebro a informação sensorial da pele. Seu dentista também conhece muito bem as ramificações do nervo trigêmeo. Ramificações diferentes vão para as raízes dos dentes. Uma única espetadela de anestésico ao longo de um dos ramos do nervo trigêmeo pode amortecer a sensação de diversas partes ao longo de uma fileira de dentes.

O nervo facial também controla os músculos e retransmite informações sensoriais. Como seu nome bem diz, ele é o principal nervo controlando os músculos da expressão facial. Usamos esses músculos diminutos para sorrir, fechar a cara, erguer e baixar as sobrancelhas, inflar as narinas e daí por diante. Eles possuem nomes lindamente evocativos. Um dos principais músculos que usamos para fechar a cara – ele baixa os cantos da boca – se chama abaixador do ângulo da boca. Outro nome formidável pertence ao músculo que utilizamos para franzir o cenho demonstrando preocupação: o corrugador do supercílio. Infle suas narinas, e você estará usando seu nasal. Cada um desses músculos, como todo e qualquer outro músculo de expressão facial, é controlado por ramificações do nervo facial. Coisas como um sorriso torto ou pálpebras que se fecham assimetricamente indicam a possibilidade de haver algo errado com o nervo facial de um dos lados do rosto de alguém.

Você provavelmente está começando a entender por que fiquei acordado até tão tarde estudando esses nervos. Nada a respeito deles parece fazer sentido. Por exemplo, tanto o trigêmeo quanto o nervo facial enviam minúsculas ramificações para os músculos no interior dos ouvidos. Por

que dois nervos diferentes, que inervam partes totalmente diversas do rosto e da mandíbula, enviam ramificações para músculos auditivos que encontram lado a lado? Mais bizarro ainda é o fato de que o trigêmeo e o nervo facial quase se entrecruzam quando enviam ramificações para o rosto e a mandíbula. Por quê? Com funções tão estranhamente redundantes e caminhos tortuosos, sua estrutura parece não ter pé nem cabeça, muito menos ainda, em como esses nervos se parecem com as placas, blocos e bases que constituem nosso crânio.

Ao pensar sobre esses nervos, lembrei-me dos meus primeiros dias aqui em Chicago, em 2001. Havia-me cedido um espaço para um laboratório de pesquisa em um prédio centenário, e o laboratório precisava de novos cabos de luz e telefone, reparos nos encanamentos e na ventilação. Recordo do dia em que os empreiteiros derrubaram as paredes para ter acesso às entranhas do prédio. A reação deles à rede de encanamento e fiação elétrica no interior da minha parede foi praticamente igual à minha ao abrir a cabeça humana e ver pela primeira vez os nervos trigêmeo e facial. A fiação, os cabos e dutos por dentro das paredes eram um caos. Ninguém em sua consciência podia ter projetado um prédio dessa forma, com cabos e dutos fazendo voltas e curvas bizarras por todo o prédio.

E a idéia era precisamente essa. Meu prédio foi construído em 1896 e as redes de serviços refletem uma planta antiga que foi sendo cada vez mais improvisada a cada reforma. Se você quiser entender a fiação elétrica e os encanamentos do meu prédio, será preciso entender a sua história, a maneira como ele foi reformado para cada nova geração de cientistas. Minha cabeça também tem uma história comprida, e essa história explica nervos complicados como o trigêmeo e o facial.

Para nós, esta história começa com um óvulo fertilizado.

A ESSÊNCIA EM EMBRIÕES

Ninguém começa a vida com uma cabeça: espermatozóide e óvulo (ovócito) se unem para criar uma única célula. Entre o momento da concepção e a terceira semana de vida, passamos dessa única célula para uma massa de células, depois para uma coleção de células no formato de prato, depois para algo que lembra vagamente um tubo e inclui diferentes tipos de tecidos. Entre o vigésimo terceiro e o vigésimo oitavo dia, a extremidade frontal do tubo engrossa e se dobra sobre o corpo, de modo que o embrião parece já estar na posição fetal.

A cabeça nesse estágio tem a aparência de uma esfera grande. A base dessa esfera encerra a chave para boa parte da organização básica de nossa cabeça.

Quatro pequeninas saliências se desenvolvem em torno da área que se tornará a garganta. Na altura da terceira semana, vemos os dois primeiros; os dois restantes surgem cerca de quatro dias mais tarde. Cada saliência parece bastante modesta vista de fora: uma simples bolota, separada da vizinha por uma pequena prega. Quando acompanhamos o que acontece com as bolotas e pregas, começamos a ver a ordem e a beleza da cabeça, incluídos aí o trigêmeo e o nervo facial.

Entre as células no interior de cada saliência, conhecidas como arcos, algumas irão formar tecido ósseo, e outras, músculo e vasos sanguíneos. Existe uma mistura complexa de células dentro de cada arco; algumas se subdividem ali mesmo, enquanto outras migram por um longo caminho para entrar no arco propriamente dito. Quando identificamos as células em cada arco conforme o local onde acabarão indo parar no adulto, as coisas começam a fazer um bocado de sentido.

No final das contas, os tecidos do primeiro arco formam as mandíbulas superior e inferior, dois ossículos do ouvido (*malleus* e *incus*, ou martelo e bigorna), e todos os vasos e músculos que os suprem. O segundo arco forma o terceiro ossículo do ouvido (o estribo), um ossinho da garganta,³ e a maioria dos músculos que controlam as expressões faciais. O terceiro arco forma ossos, músculos e nervos no fundo da garganta; nós os utilizamos para engolir. Finalmente, o quarto arco forma as partes mais profundas da nossa garganta, inclusive partes da laringe e os músculos e vasos que a cercam e a ajudam a funcionar.

Se pudesse encolher até ficar do tamanho da cabeça de um alfinete e viajar dentro da boca de um embrião em desenvolvimento, você veria reentrâncias que correspondem a cada saliência. Elas são quatro, e, como os arcos no exterior, as células nessas reentrâncias formam estruturas importantes. A primeira se alonga para formar a nossa tuba de Eustáquio e algumas estruturas no ouvido. A segunda forma a cavidade que abriga as amígdalas. A terceira e a quarta formam glândulas importantes, inclusive a paratireóide, o timo e a tireóide.

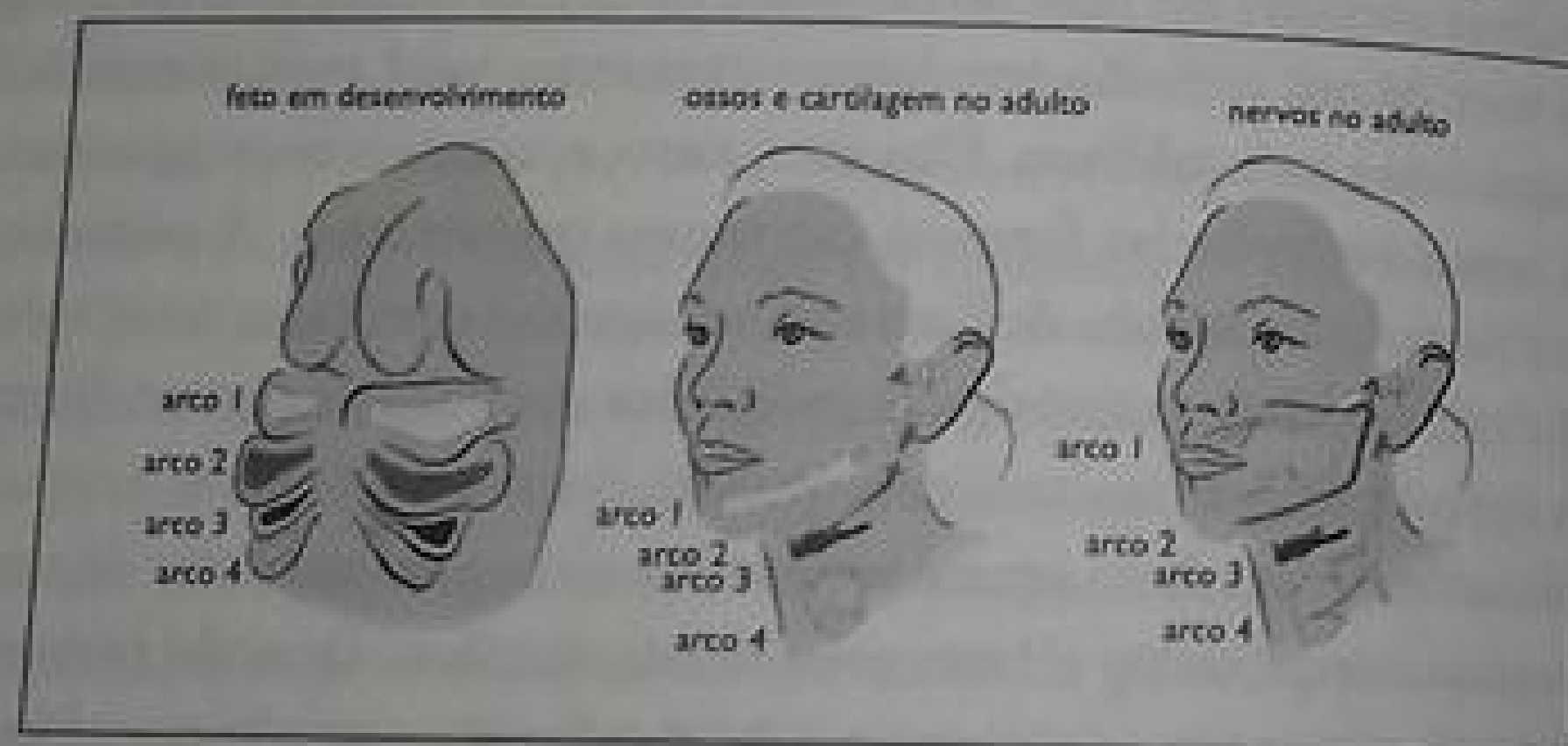
O que acabo de lhe dar é uma das grandes dicas para entender os nervos cranianos mais complicados e boas porções do cérebro. Quando pensar em nervo trigêmeo, pense em primeiro arco. Nervo facial, segundo arco. O trigê-

³Nota da Revisora Técnica: Osso hióide.

meo vai para ambas as mandíbulas e para o ouvido porque todas as estruturas que ele supre se desenvolveram originalmente no primeiro arco. O mesmo se aplica ao nervo facial e ao segundo arco. O que têm em comum os músculos da expressão facial com os músculos do ouvido supridos pelo nervo facial? Todos os caminhos complexos se relacionam com o fato de eles inervarem estruturas que surgiram em seus respectivos arcos. Esses nervos do terceiro e quarto arcos, entre os quais o glossofaringeo e o vago, seguem o mesmo padrão das estruturas na parte frontal, cada um se dirigindo para estruturas que se desenvolveram no arco ao qual estão ligados.

Essa planta fundamental da cabeça nos ajuda a entender uma das grandes lendas apócrifas em toda a anatomia. Na década de 1820, reza a lenda, Johann Goethe caminhava pelo cemitério judeu de Viena quando viu o esqueleto de um carneiro em decomposição. As vértebras se encontravam expostas e sobre elas repousava um crânio danificado. Goethe, num momento de epifania, percebeu que as rachaduras no crânio o faziam parecer um monte de vértebras emaranhadas. Para Goethe, aquilo revelou o padrão essencial interno: a cabeça é feita de vértebras que se fundiram e se transformaram num cofre para abrigar nossos cérebros e órgãos sensoriais. Essa foi uma idéia revolucionária porque vinculava cabeças e corpos como duas versões do mesmo plano fundamental. A noção devia dar como chuchu em cercas no início do século XIX, porque outros, entre os quais Lorenz Oken, supostamente tiveram a mesma idéia em um cenário similar.

Tanto Goethe quanto Oken perceberam algo muito profundo, embora não tivessem como sabê-lo então. Nosso corpo é segmentado, e esse padrão é mais



Se seguirmos os arcos branquiais de um embrião até a idade adulta, rastreamos as origens das mandíbulas, dos ouvidos, da laringe e da garganta. Ossos, músculos, nervos e artérias se desenvolvem a partir desses arcos branquiais.

claramente visível em nossas vértebras. Cada uma delas é um bloco que representa um segmento do nosso corpo. A organização dos nossos nervos também é segmentar, intimamente correlacionada com o padrão das vértebras. Os nervos saem da coluna vertebral para suprir o corpo. A configuração segmentar é óbvia quando se olha para os níveis da coluna vertebral que se ligam a cada parte do corpo. Por exemplo, os músculos da perna são supridos pelos nervos que saem de partes mais abaixo na coluna em relação àqueles que suprem nossos braços. Nossos arcos definem segmentos de ossos, músculos, artérias e nervos. Se observarmos no adulto, não veremos tal padrão. Só o vemos no embrião.

Nossos crânios perdem todos os indícios patentes de suas origens segmentares conforme passamos de embriões a adultos. Os ossos em placa do nosso crânio se formam acima dos nossos arcos branquiais, e os músculos, nervos e artérias, que possuíam todos um padrão segmentar muito simples no início, são reformados para fazer nossa cabeça adulta.

Ter um pouco de conhecimento sobre o desenvolvimento pode nos ajudar a prever onde procurar o que está faltando em crianças que têm certos defeitos congênitos. Por exemplo, as nascidas com síndrome do primeiro arco têm a mandíbula minúscula e ouvidos que não funcionam, sem martelo e bigorna. Faltam as estruturas que normalmente seriam formadas a partir do primeiro arco.

Os arcos são o mapa de referência para as partes principais do crânio, desde os nervos cranianos mais complicados aos músculos, artérias, ossos e glândulas em seu interior. Os arcos também constituem um guia para outra coisa: a nossa profunda ligação com os tubarões.

NOSSO TUBARÃO INTERIOR

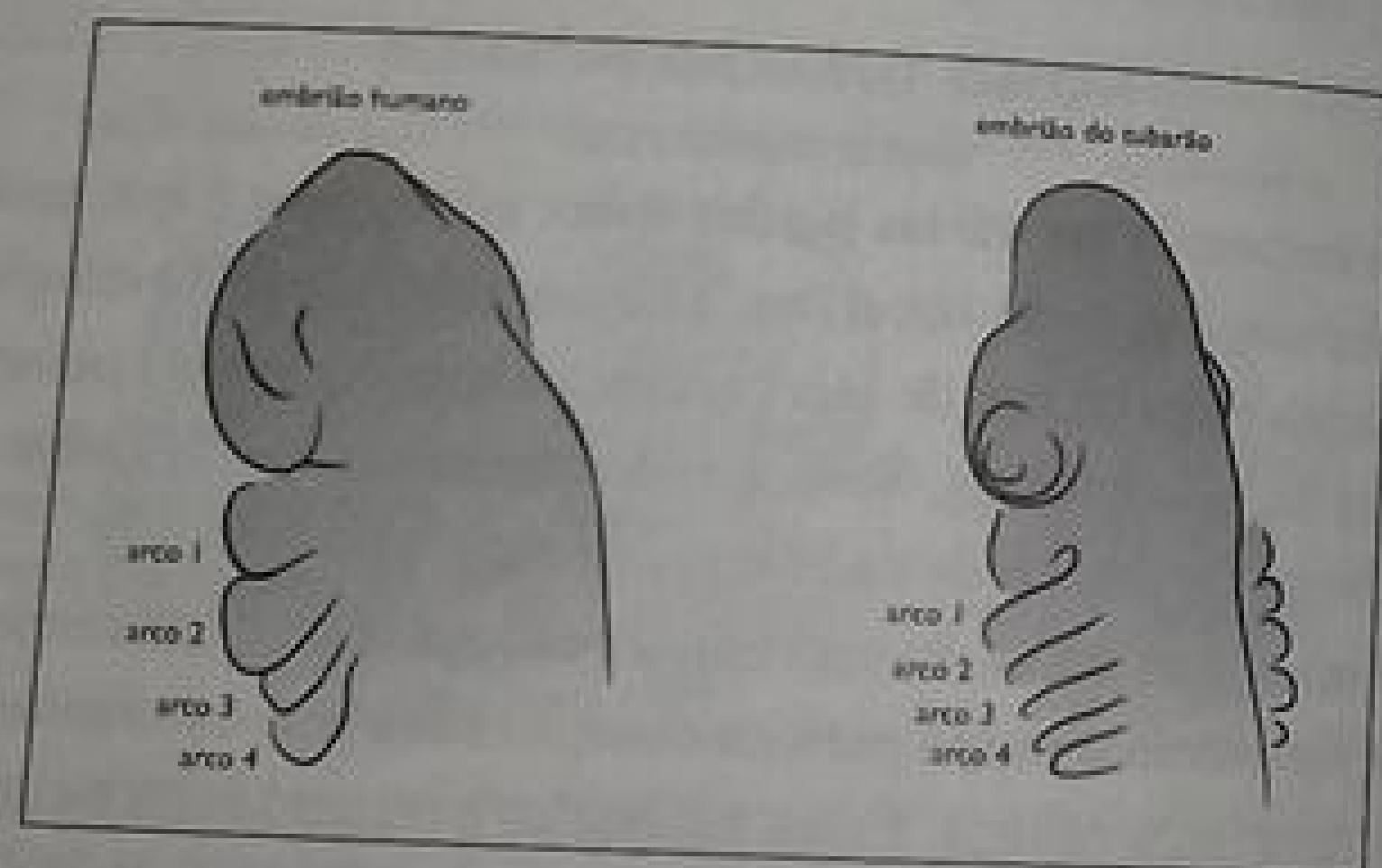
A mensagem embutida em várias piadas sobre advogados é que estes são um tipo especialmente voraz de tubarões. Dando aulas de embriologia durante um desses surtos recorrentes de tais piadas, eu me lembro de pensar que devíamos rir era de nós mesmos. Somos todos tubarões modificados – ou pior, existe um advogado dentro de cada um de nós.

Como vimos, boa parte do segredo da cabeça reside nos arcos, as saliências que nos fornecem o mapa para os complicados nervos cranianos e estruturas-chave dentro da cabeça. Essas saliências e reentrâncias de aparência insignificante seduzem a imaginação de anatomistas há 150 anos, porque parecem fendas branquiais nas regiões da garganta de peixes ou tubarões.

Os embriões de peixes também possuem essas protuberâncias e reentrâncias. Nos peixes, as reentrâncias acabam por fim se abrindo para formar os paços entre as guelras por onde flui a água. Em nós, normalmente, as reentrâncias se fecham. Em casos anormais, as fendas branquiais não se fecham e permanecem abertas como bolsas ou cistos. Um cisto branquial, por exemplo, costuma ser um cisto benigno cheio de fluido que forma uma bolsa aberta dentro do pescoço; a bolsa é criada porque o terceiro ou o quarto arco não se fecha. Em ocasiões raras, as crianças nascem com um vestígio real de uma cartilagem de arco branquial, um pequeno bastão que representa uma barra de arcada do terceiro arco. Nesse caso, os colegas cirurgiões estão operando um peixe interior que infelizmente voltou para nos puxar a perna.

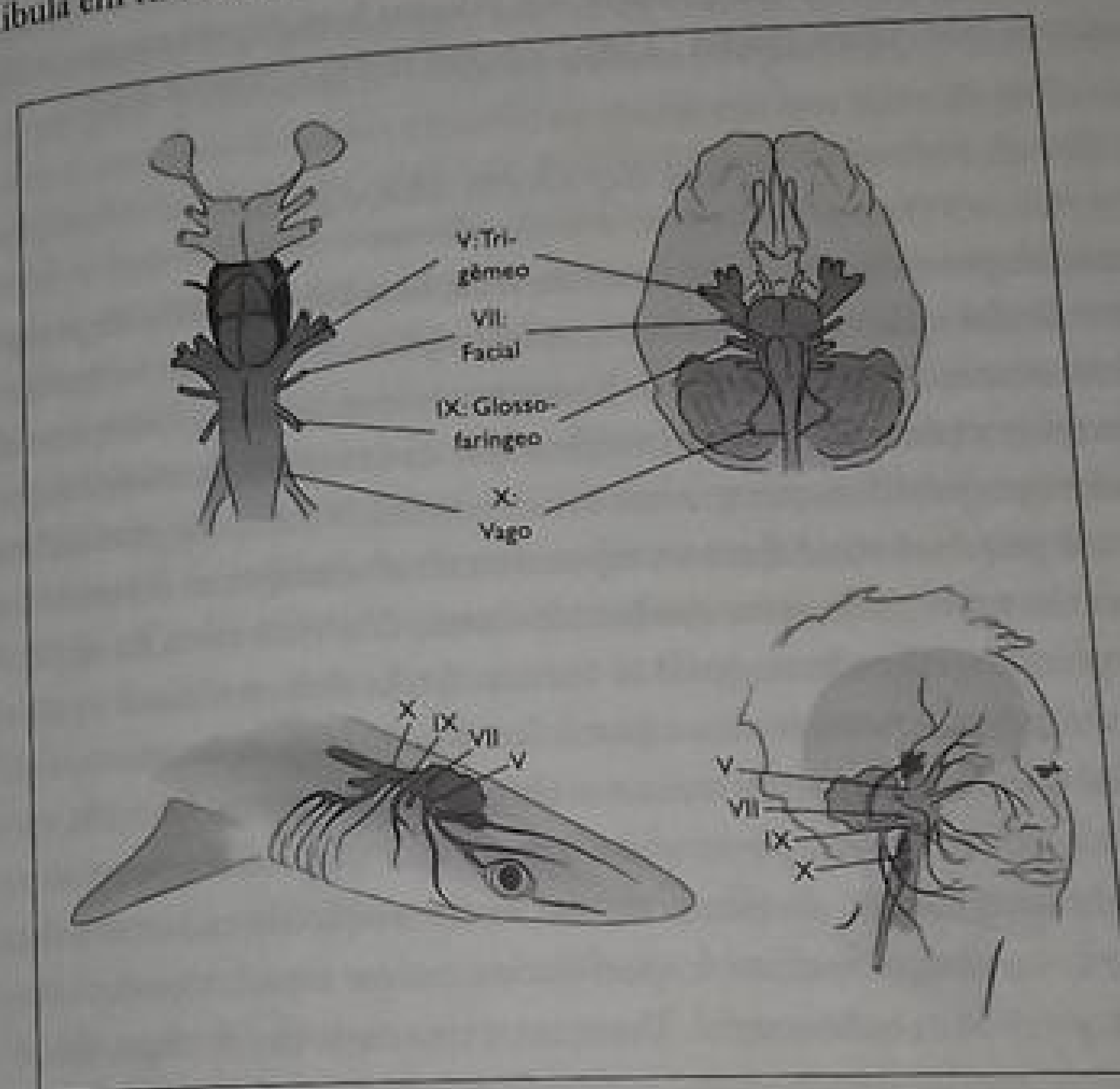
A cabeça de todos os animais, dos tubarões aos humanos, compartilha os mesmos quatro arcos durante o desenvolvimento. A riqueza da história reside no que ocorre dentro de cada arco. Aqui, é possível fazer uma comparação passo a passo entre a nossa cabeça e a dos tubarões.

Observando o primeiro arco num ser humano e num tubarão descobriremos um cenário bastante semelhante: mandíbulas. A principal diferença é que o primeiro arco dos humanos também forma alguns ossos do ouvido, o que não vemos nos tubarões. Não surpreende que o nervo craniano que supre a mandíbula de humanos e tubarões seja o primeiro nervo do arco, o trigêmeo. As células no interior do segundo arco branquial se dividem, mudam e dão origem a uma barra de cartilagem e músculo. Nos humanos, a barra de cartilagem se fragmenta para formar um dos três ossos do nosso ouvido médio (o estribo) e algumas outras pequenas estruturas na base da cabeça e garganta.



A região branquial de um tubarão em desenvolvimento e a de um humano em desenvolvimento são iguais no início.

Um desses ossos, chamado hióide, nos ajuda a engolir. Tome um trago, ouça música e agradeça às estruturas formadas a partir do seu segundo arco. Num tubarão, o bastão do segundo arco se fragmenta para formar dois ossos que sustentam a maxila e a mandíbula: um inferior, semelhante ao nosso hióide, e um superior, que sustenta a maxila. Se você já viu um grande tubarão branco tentando mastigar ruidosamente alguma coisa – um mergulhador numa gaiola, por exemplo –, provavelmente reparou que a maxila é capaz de distender-se e retrair-se conforme o tubarão morde. O osso superior desse segundo arco é parte do sistema de alavancagem de ossos, que giram para tornar isso possível. O osso superior é notável também sob outro aspecto: ele se assemelha a um dos ossos no nosso ouvido médio: o estribo. Ossos que sustentam a maxila e a mandíbula em tubarões são utilizados nos humanos para engolir e ouvir.



À primeira vista, os nossos nervos cranianos (canto inferior direito) parecem diferentes dos de um tubarão (canto inferior esquerdo). Se, porém, observarmos com atenção, descobriremos profundas semelhanças. Praticamente todos os nossos nervos estão presentes nos tubarões. Os paralelos vão ainda mais longe: nervos equivalentes em tubarões e humanos alimentam estruturas similares e até mesmo saem do cérebro na mesma ordem (cantos superiores esquerdo e direito).

Quanto aos terceiro e quarto arcos, descobrimos que muitas das estruturas que utilizamos para falar e engolir são, nos tubarões, partes de tecidos que sustentam as guelras. Os músculos e nervos cranianos que usamos para engolir e falar movem as guelras nos tubarões e nos peixes.

Nossa cabeça pode parecer incrivelmente complicada, mas é construída a partir de uma planta simples e elegante. Existe um padrão comum a todos os crânios da Terra, pertença ele a um tubarão, um peixe ósseo, uma salamandra ou um humano. A descoberta desse padrão foi um feito de monta da anatomia do século XIX, época em que os anatomistas andaram observando embriões de todo tipo de espécies sob o microscópio. Em 1872, o anatomista de Oxford Francis Maitland Balfour viu pela primeira vez o projeto básico da cabeça quando observou tubarões e notou as protuberâncias, os arcos branquiais e as estruturas internas. Infelizmente, ele faleceu logo depois em um acidente de alpinismo nos Alpes suíços. Tinha apenas trinta e poucos anos.

GENES DO ARCO BRANQUIAL

Durante as primeiras três semanas de vida, batalhões inteiros de genes são ativados e desativados nos nossos arcos branquiais e em todos os tecidos que se tornarão o nosso futuro cérebro. Esses genes instruem as células a produzir as diferentes porções da cabeça. Imagine que cada região da nossa cabeça ganha um endereço genético que a torna característica. Modifique esse endereço genético e é possível modificar os tipos de estruturas que se desenvolvem ali.

Por exemplo, um gene conhecido como *Otx* está ativo na região frontal onde o primeiro arco branquial se forma. Atrás dele, próximo à parte posterior da cabeça, uma série dos chamados genes *Hox* estão ativos. Cada arco branquial possui um complemento diferente de genes *Hox* em atividade. Com essas informações, podemos elaborar um mapa dos nossos arcos branquiais e da constelação de genes ativos na formação de cada um deles.

Agora, é possível realizar experiências: trocar o endereço genético de um arco branquial com o de outro. Tomemos um embrião de sapo, desativemos alguns genes, tornemos similares os sinais genéticos no primeiro e no segundo arco e teremos um sapo com duas mandíbulas: uma mandíbula se desenvolve onde um osso hióide normalmente estaria. Isso mostra o poder dos endereços genéticos na formação dos nossos arcos branquiais. Mudando o endereço, alteramos as estruturas no arco. O poder dessa abordagem é dispormos agora de condições para fazer experiências com o projeto básico da cabeça: podemos

manipular a identidade dos arcos branquiais quase ao nosso bel-prazer, alterando a atividade dos genes em seu interior.

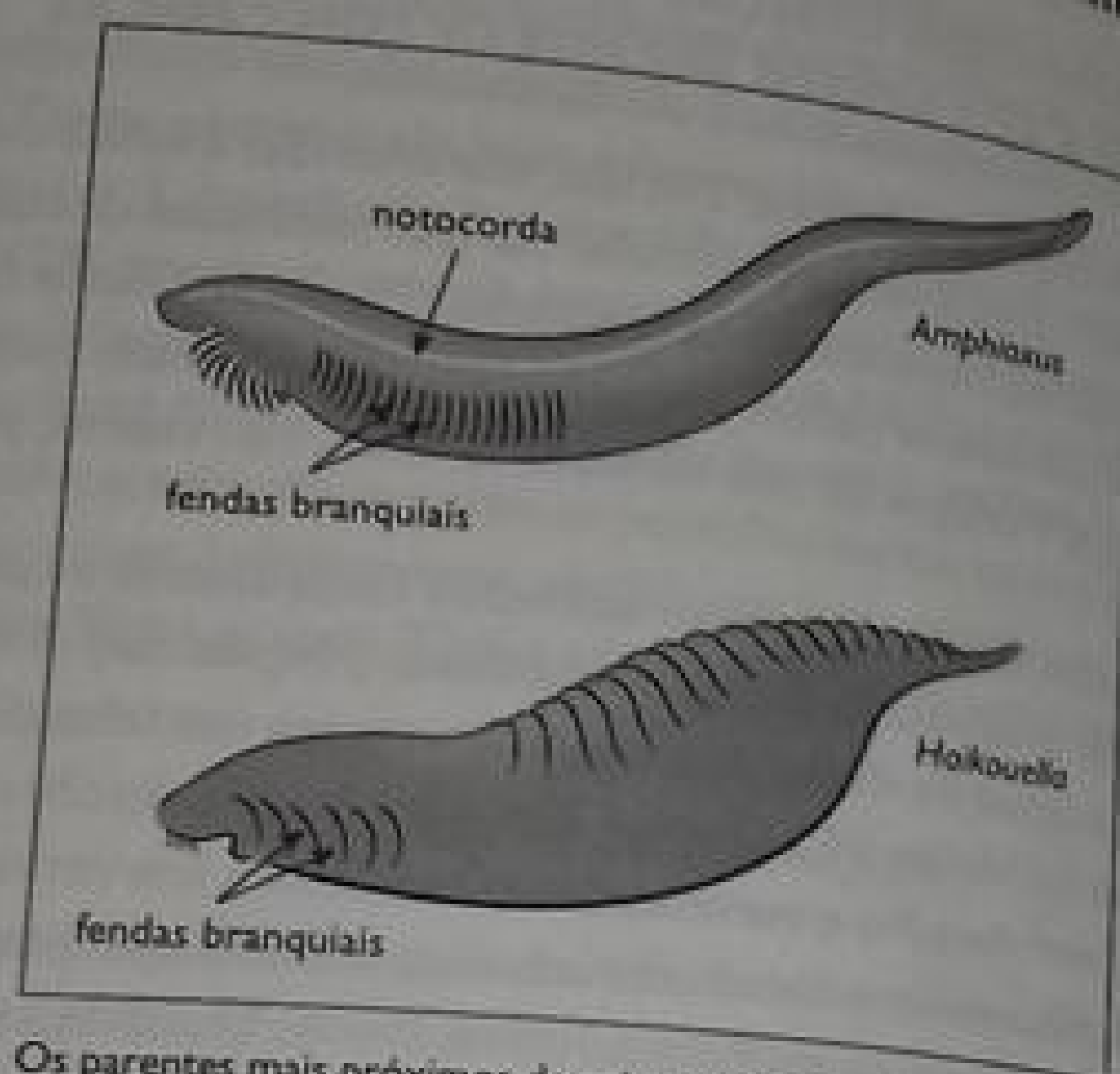
RASTREANDO CABEÇAS: DAS MARAVILHAS SEM CABEÇA AOS NOSSOS ANCESTRAIS COM CABEÇAS

Por que parar nos sapos e tubarões? Por que não estender a nossa comparação a outras criaturas, como insetos e vermes? Só que nenhuma dessas criaturas tem um crânio, muito menos nervos cranianos. Nenhuma delas tem sequer ossos. Quando trocamos os peixes por vermes, entramos num mundo muito mole e sem cabeça. Pedacos de nós mesmos lá estão, entretanto, se olharmos com atenção.

Aqueles dentre nós que ensinam anatomia comparativa a universitários começam em geral o curso com um slide de anfioxo (*Amphioxus*). A cada começo de ano letivo, centenas de slides de anfioxo aparecem nas telas de anfiteatros de universidades do Maine à Califórnia. Por quê? Você se lembra da velha dicotomia entre invertebrados e vertebrados? O anfioxo é um verme, um invertebrado, que partilha muitas características com animais que possuem coluna vertebral, como os peixes, os anfíbios e os mamíferos. O anfioxo não tem coluna vertebral, mas como todas as criaturas que a possuem, tem uma medula nervosa que lhe desce pelas costas. Além disso, um bastão acompanha o comprimento do seu corpo, paralelamente à medula nervosa. Este bastão, conhecido como notocorda, está cheio de uma substância gelatinosa e provê sustentação ao corpo. Como embriões, também temos notocorda, mas ao contrário daquele do anfioxo, o nosso se fragmenta e acaba se tornando parte dos discos que se inserem entre nossas vértebras. A ruptura de um disco faz com que a substância gelatinosa que um dia foi uma notocorda provoque uma devastação ao pinçar nervos ou interferir na capacidade de uma vértebra de deslizar ao longo de outra. Quando temos uma hérnia de disco, uma parte muito antiga do projeto do nosso corpo está se rompendo. Muito obrigado, anfioxo.

O anfioxo não é impar entre os vermes. Alguns dos melhores exemplos não se encontram nos oceanos de hoje, mas em rochas antigas da China e do Canadá. Enterrados em sedimentos com mais de 500 milhões de anos estão vermes que não possuem cabeça, cérebro complexo nem nervos cranianos. Talvez não pareçam grande coisa, mal passando de pequenos borrões na rocha, mas a preservação desses fósseis é incrível. Ao olhar pelo microscópio você verá impressões lindamente preservadas que exibem sua anatomia macia

em mínimos detalhes, às vezes até mesmo com impressões de pele. Eram tram, também, outra coisa maravilhosa. São as criaturas mais primitivas das das de notocorda e medula nervosa. Esses vermes nos dizem algo sobre a origem de partes do nosso corpo.



Os parentes mais próximos de animais dotados de cabeça são vermes com fendas branquiais. Acima o anfioxo (*Amphioxus*) e uma reconstrução de um verme fóssil (*Halkorella*) com mais de 530 milhões de anos. Ambos têm uma notocorda, medula nervosa e fenda branquial. O verme fóssil é conhecido a partir de mais de 300 espécimes individuais do sul da China.

Mas existe algo mais que partilhamos com esses vermezinhas: arcos branquiais. O anfioxo, por exemplo, os possui em abundância, e, associada a cada arco, uma pequena barra de cartilagem. Como as cartilagens que formam nossas mandíbulas, nossos ossos do ouvido e partes da nossa caixa de voz, esses bastões sustentam a fenda branquial. A essência da nossa cabeça remonta aos vermes, organismos que sequer possuem cabeça. O que faz o anfioxo com os arcos branquiais? Bombeia água através deles para filtrar para fora pequenas partículas de alimento. De um começo tão humilde se originam as estruturas básicas da nossa própria cabeça. Assim como os dentes, genes e membros que se modificaram e tiveram suas funções redefinidas com o passar do tempo, o mesmo aconteceu com a estrutura básica da nossa cabeça.

OS PROJETOS (CORPORAIS) MAIS BEM ELABORADOS

Somos um pacote de cerca de dois trilhões de células embaladas de um modo muito preciso. Nosso corpo existe em três dimensões, com as células e órgãos nos lugares corretos. A cabeça fica na parte superior. A coluna vertebral, nas costas. Nossas vísceras na parte de dentro, braços, nas laterais e pernas, na parte inferior. Esta arquitetura básica nos distingue das criaturas primitivas, organizadas como massas ou discos de células.

O mesmo desenho básico também é uma parte importante do corpo de outras criaturas. Como nós, peixes, lagartos e vacas têm corpo que são simétricos com frente/costas, parte de cima/parte de baixo e lado esquerdo/lado direito. Suas extremidades frontais (correspondentes à parte de cima de um humano ereto) sempre têm cabeça, com órgãos sensoriais e cérebro no interior. Essas criaturas têm uma coluna que lhes desce pelo corpo ao longo das costas. Também como nós, têm um ânus, que é a extremidade oposta à da boca. A cabeça fica na extremidade dianteira, na direção em que caracteristicamente nadam ou andam. Como se pode imaginar, a posição “ânus-na-dianteira” não funcionaria muito bem na maioria dos cenários, principalmente nos aquáticos. As situações sociais igualmente constituiriam um problema.

É mais difícil ver o nosso desenho básico em animais realmente primitivos — águas-vivas, por exemplo. As águas-vivas têm um tipo distinto de planta corporal: suas células se organizam em discos que têm uma parte de cima e uma parte de baixo. Por lhes faltar uma parte da frente e uma parte de trás, uma cabeça e uma cauda e um lado esquerdo e um direito, o arranjo do corpo das águas-vivas parece muito diferente do nosso. Nem vale a pena tentar compa-

rar nossa planta corporal com a de uma esponja. Você até pode tentar, mas o simples fato de fazer tal tentativa já revelaria um traço mais psíquico do que anatômico.

Para comparar corretamente os humanos com esses animais primitivos precisamos de algumas ferramentas. Assim como acontece com a cabeça e os membros, a nossa história está escrita em nosso desenvolvimento desde o óvulo até o adulto. Os embriões contêm as pistas para alguns dos profundos mistérios da vida. Têm também o talento para descarrilar meus planos.

A PLANTA PARTILHADA: COMPARANDO EMBRIÕES

Entrei na faculdade para estudar mamíferos fósseis e me vi, três anos mais tarde, estudando peixes e anfíbios para a minha monografia final. Minha queda em desgraça, se você preferir chamá-la assim, aconteceu quando comecei a observar embriões. Tínhamos montes de embriões no laboratório: larvas de salamandras, embriões de peixes e até ovos fecundados de galinhas. Regularmente eu os punha sob o microscópio para verificar o que acontecia lá dentro. Os embriões de todas as espécies se assemelhavam a pequenos lotes esbranquiçados de células, medindo não mais que 1/8 de polegada de comprimento. Era excitante acompanhar o progresso do desenvolvimento. À medida que o embrião crescia, a gema, seu suprimento de comida, diminuía cada vez mais. Quando a gema acabava, o embrião em geral estava grande o bastante para sair do ovo.

A observação do processo de desenvolvimento gerou em mim uma gigantesca transformação intelectual. Destes simples começos embrionários — pequenas bolotas de células — surgiam pássaros, sapos e trutas maravilhosamente complexos, constituídos de trilhões de células arrumadas do jeitinho certo. Mas não era só isso. Os embriões de peixes, anfíbios e galinhas não lembravam coisa alguma já vista por mim antes na biologia. Todos tinham uma aparência semelhante. Todos possuíam uma cabeça com arcos branquiais. Todos eram dotados de um pequeno cérebro cujo desenvolvimento tinha início a partir de três proeminências. Todos tinham brotinhos de membros. Na verdade, os membros viriam a se tornar a minha tese, o foco do meu trabalho nos três anos seguintes. Ali, ao comparar como o esqueleto se desenvolvia em pássaros, salamandras, sapos e tartarugas, eu descobria que membros tão distintos quanto as asas dos pássaros e as pernas dos sapos muito se pareciam durante o desenvolvimento desses animais. Ao ver esses embriões, o que eu via era uma arqu-

tetura compartilhada. As espécies acabavam adquirindo aparências diferentes, mas começavam de um ponto geralmente similar. Observando os embriões quase sempre eu tinha a impressão de que as diferenças entre mamíferos, pássaros, anfíbios e peixes eram pequenas em comparação a suas semelhanças fundamentais. Então, descobri o trabalho de Karl Ernst von Baer.

No século XIX, alguns filósofos naturalistas observavam embriões na tentativa de encontrar um projeto comum para a vida na Terra. Destacava-se entre esses observadores Karl Ernst von Baer. Nascido numa família de notoriedade acadêmica sugeriu que ele estudasse o desenvolvimento das galinhas e tentasse entender como os órgãos desse animal se desenvolviam.

Infelizmente, von Baer não dispunha de recursos para comprar incubadoras nem uma quantidade grande de ovos a fim de estudar as galinhas. A situação não era muito promissora. Era seu amigo mais abastado Christian Pander quem podia arcar com a realização das experiências. Ao observarem os embriões eles descobriram algo fundamental: *todos os órgãos na galinha podem ser rastreados a uma das três camadas de tecido no embrião em desenvolvimento.* Essas três camadas passaram a ser conhecidas como camadas germinativas, adquirindo um status quase lendário, que mantém até hoje.

As três camadas de Pander deram a von Baer os meios para fazer perguntas importantes. Todos os animais compartilham esse padrão? Será que o coração, os pulmões e músculos de todos os animais derivam dessas camadas? E — indagação importante — as mesmas camadas se desenvolvem nos mesmos órgãos nas diferentes espécies?

Von Baer comparou as três camadas dos embriões de galinha de Pander com tudo o mais em que conseguiu pôr as mãos: peixes, répteis e mamíferos. Sim, todo órgão animal se originava numa dessas três camadas. Significativo era o fato de que as três camadas formavam as mesmas estruturas em todas as espécies. O coração de todas as espécies se formava a partir da mesma camada. Outra dava origem ao cérebro de todos os animais, e daí por diante. Por mais diferente que fosse a aparência das espécies na fase adulta, na condição de pequeninos embriões todas passavam pelos mesmos estágios de desenvolvimento.

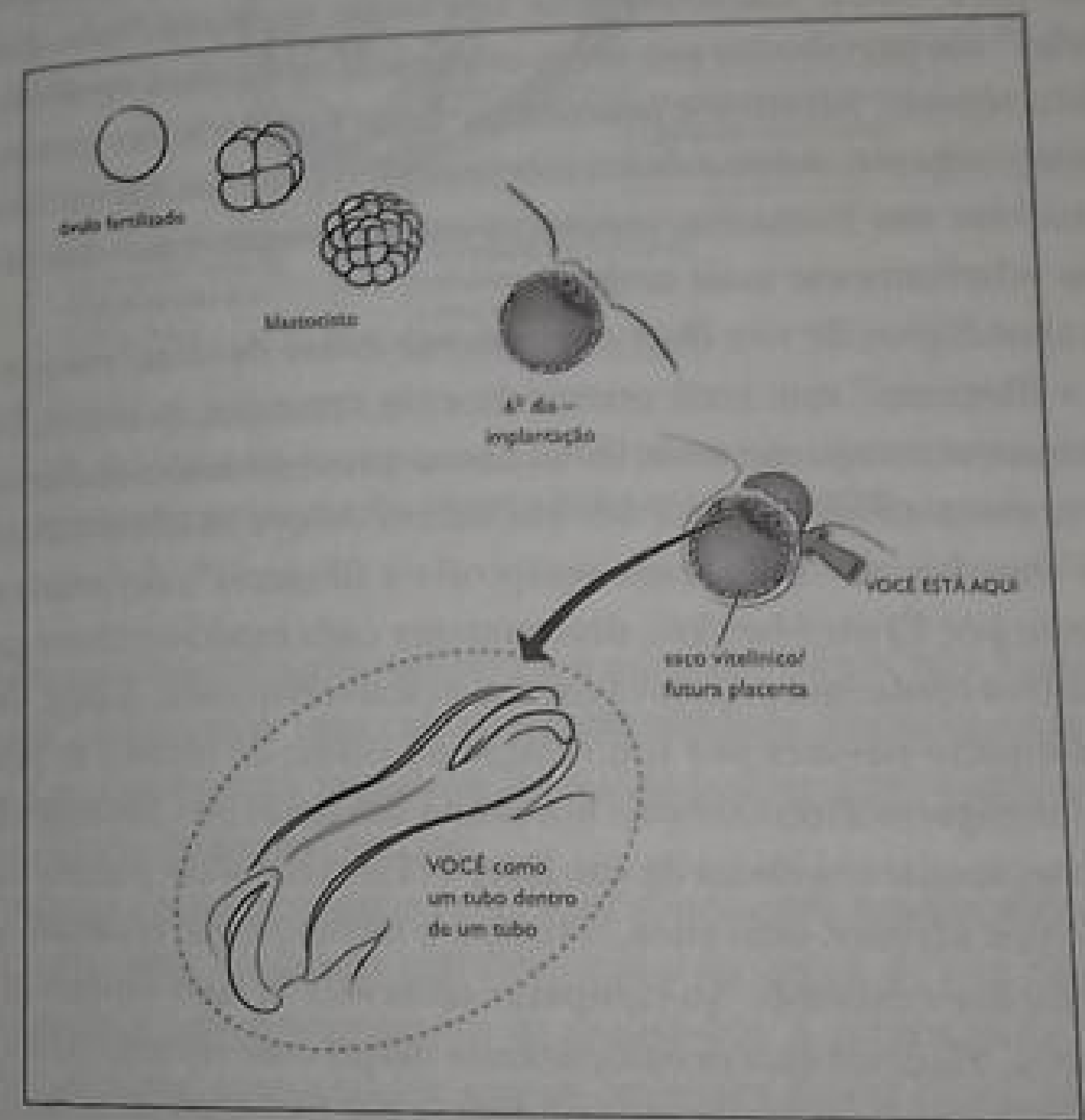
Para aquilatar plenamente a importância disso, precisamos focar novamente as nossas três primeiras semanas de vida. No momento da concepção, mudanças de peso ocorrem dentro do óvulo — o material genético do espermatozoide e do óvulo se fundem, e o ovo começa a se dividir. As células acabam

por formar uma bola. Nos humanos, por volta do quinto dia o corpo unicelular se divide quatro vezes para produzir uma bola de dezesseis células. Essa bola de células, conhecida como blastocisto, lembra um balão cheio de fluido. Uma fina parede esférica de células cerca um pouco de fluido no núcleo. Neste estágio blastocístico, aparentemente não existe ainda qualquer projeto corporal — não há parte da frente nem parte de trás e decerto ainda não existem órgãos ou tecidos diferentes. Por volta do sexto dia da nossa vida, o aglomerado de células se une ao útero da mãe e começa o processo de conexão a ele de modo que mãe e embrião possam juntar correntes sanguíneas. Por enquanto não há indícios de um projeto corporal. Um longo caminho separa essa bola de células de qualquer coisa reconhecível como um mamífero, réptil ou peixe, e menos ainda como ser humano.

Se tivermos sorte, nossa bola de células se implanta no útero da nossa mãe. Quando um blastocisto é implantado no lugar errado — quando ocorre uma “implantação ectópica” — os resultados podem ser perigosos. Cerca de 96% das implantações ectópicas acontecem nas tubas uterinas,¹ próximo ao local onde ocorre a concepção. Às vezes, o muco bloqueia a passagem fácil do blastocisto para o útero, fazendo com que ele se implante inadequadamente nas tubas. A gravidez ectópica é capaz de provocar rupturas de vários tecidos, caso não seja diagnosticada a tempo. Em casos muitíssimo raros, o blastocisto é expelido para a cavidade do corpo da mãe, o espaço entre as vísceras e a parede corporal. Em casos ainda mais raros, esses blastocistos se implantam na parte externa do revestimento do reto ou do útero da mãe, e o feto se desenvolve até nascer a termo! Embora esses fetos possam algumas vezes ser paridos através de uma incisão abdominal, esse tipo de implantação costuma ser muito perigosa, pois aumenta o risco de morte materna por hemorragia em 90%, comparada a uma implantação normal dentro do útero.

Seja como for, nesse estágio do desenvolvimento, somos criaturas de aparência extremamente humilde. Por volta da segunda semana após a concepção, o blastocisto se implantou, com uma parte da bola embutida na parede do útero e a outra livre. Imagine um balão empurrado contra uma parede: este disco chato se torna o embrião humano. Nosso corpo *inteiro* constitui unicamente a parte superior dessa bola, a parte que está de encontro à parede. A parte do blastocisto abaixo do disco abriga a gema. Nesse estágio do desenvolvimento, parecemos um prato, um simples disco de duas camadas.

Como este prato oval acaba adquirindo as três camadas germinativas de um feto e seguindo adiante para adquirir a aparência de um humano? Primeiramente, as células se dividem e se movem, fazendo os tecidos se dobrarem sobre si mesmos. A certa altura, quando os tecidos se movem e se dobram sobre si mesmos, nós nos transformamos em um tubo com uma proeminência pregueada na cabeça e outra na cauda. Se nos cortássemos ao meio nesse momento, encontrariamos um tubo dentro de um tubo. O tubo externo seria a parede do corpo, o interno, o nosso futuro trato digestivo. Um espaço, a futura cavidade do corpo, separa os dois tubos. Esta estrutura tubo-dentro-de-um-tubo permanece conosco a vida toda. O tubo interno se torna mais complicado, com um saco grande para conter um estômago e longas voltas e curvas intestinais. No tubo externo a complicação vem do cabelo, da pele, costelas e membros. Mas o projeto básico persiste. Podemos ser mais complicados do que éramos aos 21 dias de idade, mas continuamos um tubo dentro de um tubo.



Nossos primeiros dias, as primeiras três semanas após a concepção. Começamos a partir de uma única célula, passamos por uma bola de células e nos tornamos um tubo.

¹Nota da Revisora Técnica: Antes denominadas trompas de Falópio.

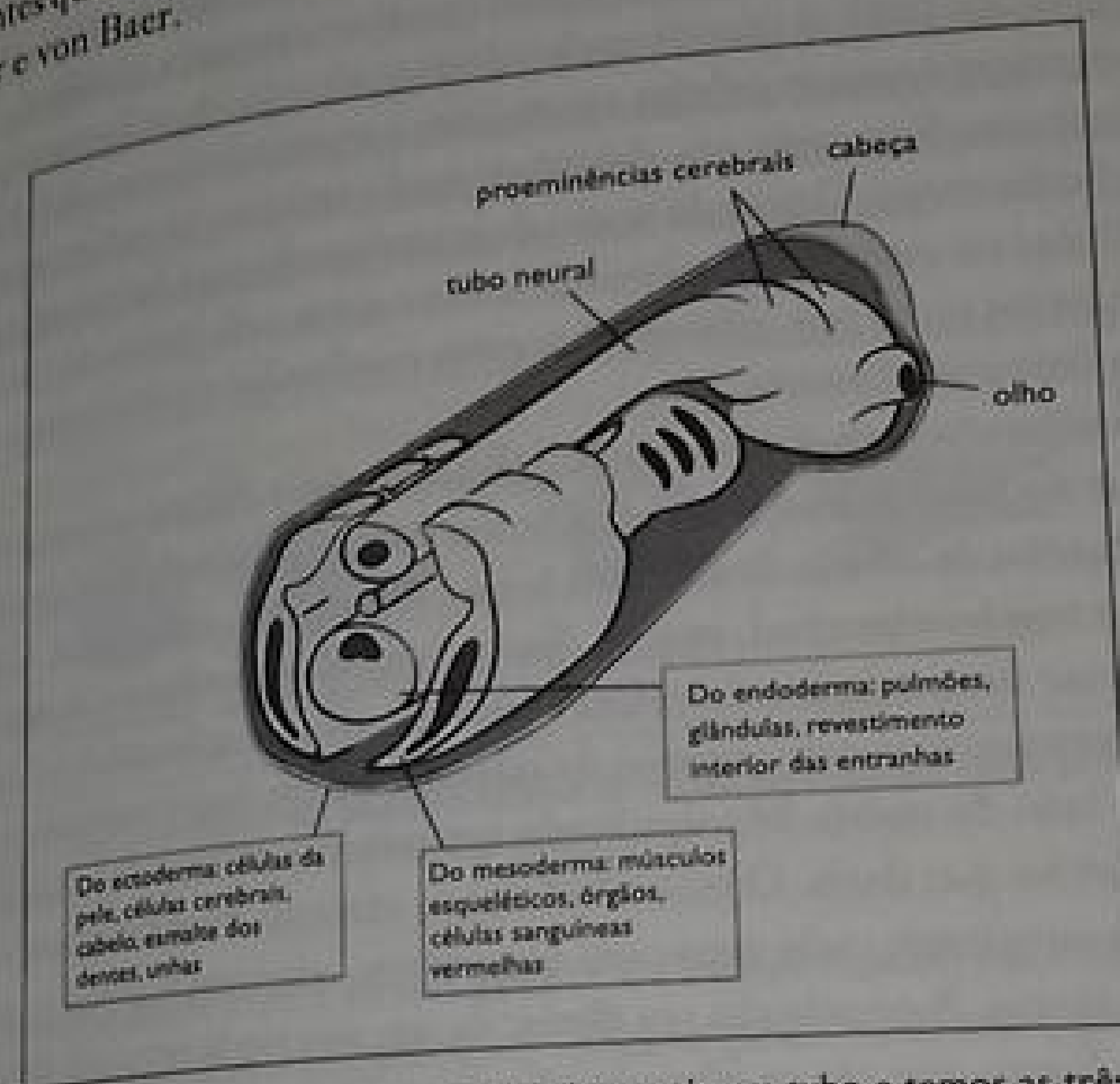
tro de um tubo, e todos os nossos órgãos derivam de uma das três camadas de tecido que surgiram na nossa segunda semana de vida.

Os nomes dessas três camadas importantíssimas resultaram de suas posições: a camada externa é chamada de ectoderma, a interna, de endoderma, e a intermediária, de mesoderma. O ectoderma forma em boa medida a parte externa do corpo (a pele) e o sistema nervoso. O endoderma, a camada interna, forma muitas estruturas interiores do corpo, inclusive nosso trato digestivo e várias glândulas a ele associadas. A camada intermediária, o mesoderma, forma o tecido entre as vísceras e a pele, inclusive boa parte do nosso esqueleto e dos músculos. Não importa se o corpo pertence a um salmão, a uma galinha, um sapo ou um camundongo, todos os seus órgãos são formados pelo ectoderma, pelo ectoderma e pelo mesoderma.

Von Baer viu como os embriões revelam os padrões fundamentais da vida. Confrontou dois tipos de características no desenvolvimento: características partilhadas por todas as espécies e características que variam de uma espécie para outra. Características tais como o arranjo "tubo-dentro-de-um-tubo" são partilhadas por todos os animais com coluna vertebral: peixes, anfíbios, répteis, pássaros e mamíferos. Essas características comuns aparecem relativamente cedo no desenvolvimento. As que nos diferenciam — cérebros maiores nos humanos, carapaças nas tartarugas, penas nos pássaros — surgem relativamente mais tarde.

A abordagem de von Baer em muito se difere da idéia "ontogenia recapitula a filogenia" que você provavelmente aprendeu na escola. Von Baer simplesmente comparou embriões e notou que os embriões de diferentes espécies se assemelhavam mais uns aos outros do que os adultos dessas espécies. A abordagem "ontogenia recapitula a filogenia", defendida décadas mais tarde por Ernst Haeckel, declarou que cada espécie trilhava sua história evolutiva conforme avançava em seu desenvolvimento. Assim, o embrião de um humano passava por um estágio de peixe, de réptil e de mamífero. Haeckel comparava um embrião humano a um peixe ou a um lagarto adulto. As diferenças entre as idéias de von Baer e Haeckel podem parecer sutis, mas não são. Nos últimos cem anos, o tempo e novas provas trataram von Baer com muito mais carinho. Ao comparar embriões de uma espécie com adultos de outra, Haeckel estava comparando maçãs com laranjas. Uma comparação mais lógica é aquela em que podemos por fim desvelar os mecanismos que impelem uma evolução. Para isso, comparamos embriões de uma espécie com embriões de outra. Os embriões de diferentes espécies não são com-

pletamente idênticos, mas suas semelhanças são profundas. Todos possuem áreas branquiais, notocorda e parecem um "tubo dentro de outro tubo" em algum estágio do seu desenvolvimento. E, o mais importante, embriões tão diferentes quanto peixes e pessoas possuem as três camadas germinativas de Pander e von Baer.



Com quatro semanas, somos um tubo dentro de um tubo e temos as três camadas germinativas que dão origem a todos os nossos órgãos.

Todas essas comparações nos levam à questão real em tela. Como o embrião "sabe" desenvolver uma cabeça na extremidade dianteira e um ânus na traseira? Que mecanismos impulsionam o desenvolvimento e tornam células e tecidos capazes de formar corpos?

A resposta a essas perguntas exige uma abordagem totalmente nova. Em lugar de meramente comparar embriões como na época de von Baer, tínhamos de descobrir uma nova maneira de analisá-los. A última parte do século XIX abriu as portas a uma era em que os embriões foram cortados, enxertados, abertos e tratados com praticamente todo tipo de elementos químicos imagináveis. Tudo em nome da ciência.

Os biólogos na virada do século XIX lutavam com perguntas fundamentais a respeito do corpo. Onde no embrião residem as informações para construir o corpo? Essas informações estão contidas em cada célula ou em conjuntos de células? Quais são essas informações – um tipo especial de elemento químico?

A partir de 1903, o grande embriologista alemão Hans Spemann começou a investigar como as células aprendiam a construir corpos durante o desenvolvimento. Sua meta era descobrir onde residem as informações para construção do corpo. O grande ponto de interrogação para Spemann era: todas as células no embrião dispõem de informações suficientes para construir corpos inteiros ou se tais informações estão confinadas a certas partes do embrião em desenvolvimento.

Trabalhando com ovos de tritão,² fáceis de obter e relativamente fáceis de manipular no laboratório, Spemann bolou uma experiência inteligente. Cortou uma mecha de cabelo de sua filha bebê e fez com ela um lacinho. Cabelo de bebê é um negócio incrível; macio, fino e flexível, constituía o material ideal para amarrar uma minúscula esfera como um ovo de salamandra. Spemann fez precisamente isso com um ovo de salamandra em desenvolvimento, separando um lado do outro. Manipulando um pouco o núcleo das células, separadas dele surgiram, cada uma com um projeto corporal normal e ambas totalmente viáveis. A conclusão era óbvia: de um ovo pode emergir mais de um indivíduo. É isso que são os gêmeos idênticos. Biologicamente, Spemann demonstrara que no embrião, em seu início, algumas células têm a capacidade de formar por conta própria um indivíduo totalmente novo.

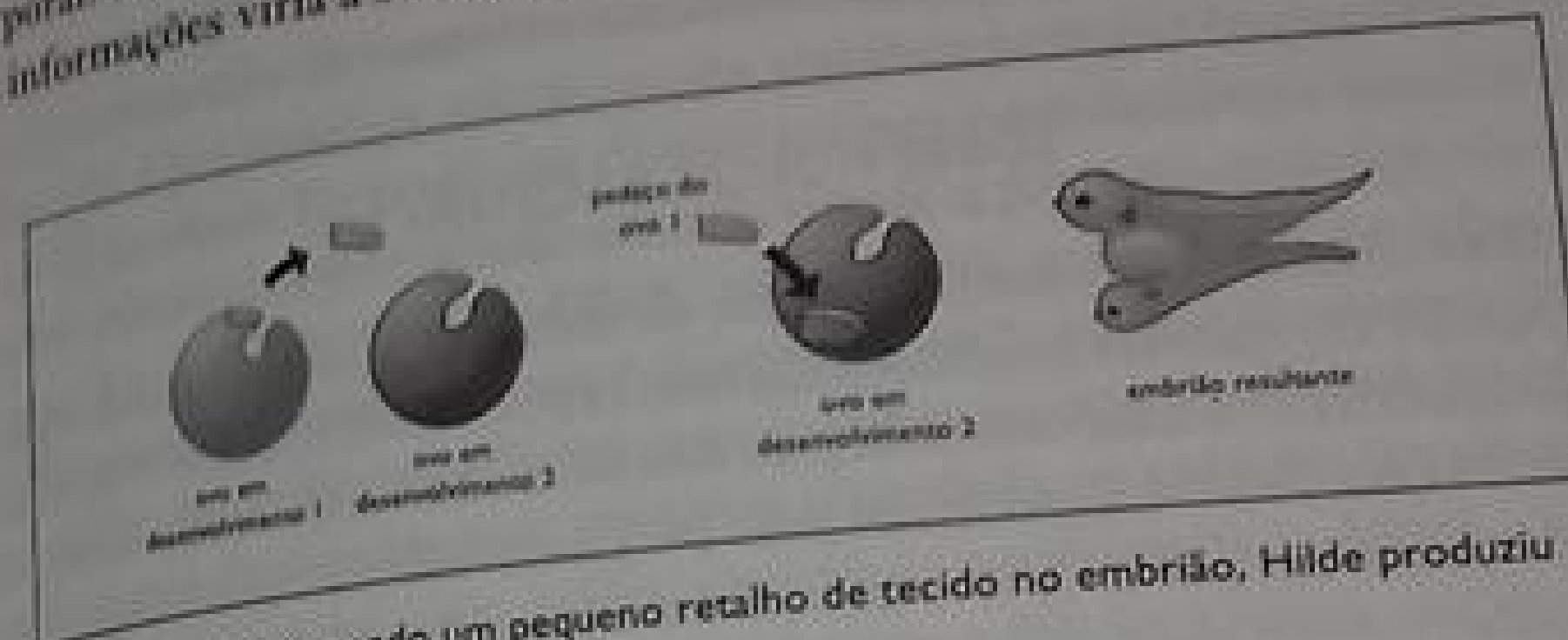
Essa experiência foi apenas o começo de uma fase inteiramente nova de descobertas.

Na década de 1920, Hilde Mangold, uma estudante universitária no laboratório de Spemann, passou a trabalhar com pequenos embriões. Sua coordenação motora a tornava capaz de conduzir experimentos incrivelmente demandantes. No estágio de desenvolvimento com que Hilde trabalhava, o embrião de salamandra é uma esfera de cerca de 1/16 de uma polegada de diâmetro. Ela amputou um minúsculo pedaço de tecido, menor que uma cabeça de alfinete, de uma parte do embrião e enxertou-o no embrião de outra espécie.

²Nota da Revisora Técnica: Pertencente à classe dos anfíbios, assim como a salamandra.

O que Hilde transplantou não foi um pedaço qualquer, mas uma área em que as células que viriam a formar boa parte das três camadas germinativas estavam se movendo e se dobrando. Hilde era tão habilidosa que os embriões enxertados efetivamente continuaram a se desenvolver, deixando-a agradavelmente surpresa. O retalho enxertado levou à formação de todo um novo corpo, incluindo uma coluna vertebral, costas, abdome e até cabeça.

Por que isso tudo é tão importante? Hilde havia descoberto um pequeno retalho de tecido capaz de orientar outras células a formar todo um projeto corporal. O retalhinho incrivelmente importante de tecido contendo todas essas informações viria a ser conhecido como o Organizador.



Simplesmente enxertando um pequeno retalho de tecido no embrião, Hilde produziu gêmeos.

A dissertação de Hilde viria a ganhar o Prêmio Nobel, mas não para ela. Hilde Mangold morreu tragicamente (o fogão a gasolina da sua cozinha pegou fogo) antes que sua tese fosse sequer publicada. Spemann ganhou o Prêmio Nobel de Medicina de 1935, e o prêmio cita “sua descoberta do Organizador e seu efeito sobre o desenvolvimento embrionário”.

Hoje, muitos cientistas consideram o trabalho de Hilde Mangold o mais importante experimento na história da embriologia.

Mais ou menos na mesma época em que Hilde realizava experiências no laboratório de Spemann, W. Vogt (também na Alemanha) articulava técnicas inteligentes para rotular células ou lotes delas, e assim permitir experiências que possibilitassem a observação do que acontece enquanto o ovo se desenvolve. Vogt conseguiu produzir um mapa do embrião que mostra onde cada órgão se origina no ovo. Vemos os antecedentes do projeto corporal nos destinos celulares do embrião incipiente.

Com os primeiros embriologistas, gente como von Baer, Pander, Hilde Mangold e Spemann, descobrimos que todas as partes do nosso corpo adulto

podem ser mapeadas até lotes individuais de células no simples prato de petri, as camadas, e a estrutura geral do corpo tem início na região Organizadora da cabeça, coberta por Hilde Mangold e Spemann.

Corte, fatie e aposte e você descobrirá que todos os mamíferos, pássaros, anfíbios e peixes possuem Organizadores. É possível até mesmo trocar, às vezes, o Organizador de uma espécie pelo de outra. Pegue a região Organizadora de uma galinha e a enxerte num embrião de salamandra e você terá salamandras gêmeas. Ou, como veremos adiante, até mesmo uma anêmona marinha.

Mas o que vem a ser um Organizador? O que em seu interior ensina as células como construir corpos? O DNA, é claro. E é nesse DNA que encontramos a receita interior que partilhamos com o restante da vida animal.

SOBRE MOSCAS E HOMENS

Von Baer observou o desenvolvimento de embriões, comparou uma espécie com outra e viu padrões fundamentais nos corpos. Hilde Mangold e Spemann fisicamente deformaram embriões para descobrir como seus tecidos constroem corpos. Na era do DNA, podemos fazer perguntas sobre a nossa própria constituição genética. Como nossos genes controlam o desenvolvimento dos nossos tecidos e dos nossos corpos? Se você algum dia achou que as moscas carregam pistas essenciais sobre os mais importantes genes do projeto corporal atavos no desenvolvimento humano. Empregamos esse tipo de raciocínio na descoberta de genes que produzem dedos das mãos e dos pés. Agora veremos o que ele tem a nos dizer sobre a maneira como são construídos os corpos.

As moscas têm um projeto corporal. Têm frente e costas, uma parte de cima e uma de baixo, e daí por diante. Suas antenas, asas e outros apêndices brotam do corpo no lugar certo. Salvo quando isso não acontece. Algumas moscas mutantes têm membros brotando da cabeça. Outras, asas repetidas e segmentos extras no corpo. Essas são algumas mutantes entre as moscas que nos explicam por que nossas vértebras mudam desde a extremidade da cabeça até a extremidade anal do nosso corpo.

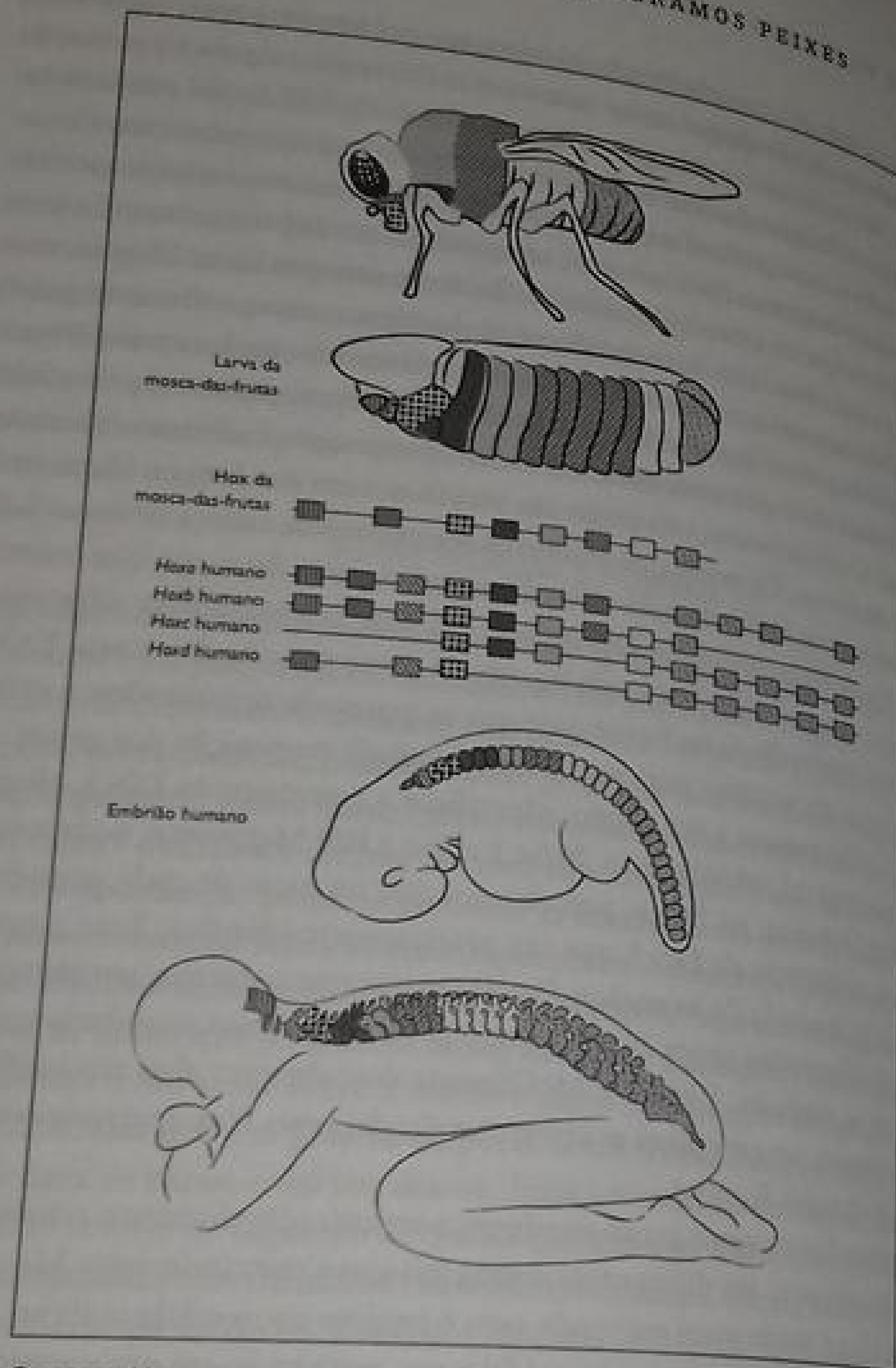
Há quem venha estudando moscas anormais há mais de cem anos na esperança de que elas nos digam algo sobre como os genes constroem corpos. Mutantes com um determinado tipo de anormalidade ganharam atenção especial. Essas moscas tinham órgãos em lugares errados — uma perna onde deveria existir uma antena; um conjunto extra de asas — ou lhes faltavam seg-

mentos no corpo. Algo estava confundindo o seu projeto corporal fundamental. Descobriu-se, afinal, que essas mutantes se deveram a algum tipo de erro no DNA. Recordemos que os genes são extensões de DNA que residem no cromossomo. Utilizando uma variedade de técnicas que nos permitem visualizar o cromossomo, podemos identificar o trecho do cromossomo responsável pelo efeito mutante. Basicamente, criamos mutantes para gerar toda uma população em que todos os indivíduos tenham um erro genético. Depois, empregando uma variedade de marcadores moleculares, comparamos os genes dos indivíduos com mutação com os daqueles sem mutação. Isso nos permite identificar a região e o provável trecho de cromossomo responsável pelo efeito mutante. Acontece que uma mosca tem oito genes que produzem mutantes desse tipo. Curiosamente, tais genes são vizinhos num dos longos filamentos de DNA da mosca. Os genes que afetam os segmentos da cabeça ficam ao lado dos que afetam os segmentos do meio da mosca, a parte do corpo que contém as asas. Esses fragmentos de DNA, por sua vez, encontram-se adjacentes aqueles que controlam o desenvolvimento da parte traseira da mosca. Existe uma ordem maravilhosa na forma com que os genes são organizados: a estrutura do corpo de anterior para posterior é igualada na posição dos genes.

A questão passou a ser, então, identificar a estrutura do DNA efetivamente responsável pela mutação. Mike Levine e Bill McGinnis, no laboratório Walter Gehring, na Suíça, perceberam que no meio de cada gene havia uma curta sequência de DNA que era praticamente idêntica. Essa pequena sequência é chamada de *homeobox*. Os oito genes que contêm a sequência *homeobox* são chamados genes *Hox*. Quando procuraram essa sequência genética em outras espécies, Levine e McGinnis descobriram algo tão uniforme que lhes causou uma surpresa genuína: *versões dos genes Hox aparecem em todos os animais dotados de corpo*.

Versões dos mesmos genes esculpem a organização dianteira-traseira dos corpos de criaturas tão diferentes quanto moscas e camundongos. Mexa com os genes *Hox* e você estará mexendo com o projeto corporal de maneira previsível. Se produzir uma mosca à qual falte um gene ativo em um segmento intermediário, ela ficará sem a região média do tronco ou esta se mostrará alterada. Produza um camundongo ao qual falte um dos genes que especifica os segmentos torácicos e partes das suas costas serão transformadas.

Os genes *Hox* também definem as proporções do nosso corpo — o tamanho das diferentes regiões da cabeça, do peito e da região lombar. Eles participam do desenvolvimento de órgãos individuais, dos membros, da genitália e



Os genes *Hox* em moscas e pessoas. A organização da cabeça-para-cauda do corpo é realizada sob o controle de diferentes genes *Hox*. As moscas possuem um conjunto de oito genes *Hox*, cada um deles representado como pequenos quadrados na figura. Os seres humanos possuem quatro conjuntos desses genes. Tanto nas moscas como nas pessoas, a atividade de um gene assemelha-se na sua posição no DNA: os genes ativos referentes à cabeça alojam-se em uma extremidade, os genes da cauda em outra extremidade e os genes que afetam o meio do corpo situam-se entre eles.

das vísceras. Mudanças que neles ocorram provocam mudanças na maneira como nosso corpo é montado.

Diferentes tipos de criaturas têm números diferentes de genes *Hox*. Moscas e outros insetos possuem oito, camundongos e outros mamíferos, vinte e oito. Os vinte e oito genes *Hox* nos camundongos são todos versões dos que encontramos nas moscas. Essa semelhança levou à idéia de que um bom número de genes *Hox* mamíferos surgiu da duplicação do complemento menor de genes na mosca. A despeito dessas diferenças em quantidade, os genes do camundongo estão ativos da frente para trás com uma ordem muito precisa, exatamente como estão os genes das moscas.

Podemos ir mais fundo ainda, aos acontecimentos que geram as camadas germinativas e que determinam o nosso eixo costas-abdome? A resposta, surpreendentemente, é positiva. E nos vincula a animais ainda mais simples do que as moscas.

O DNA E O ORGANIZADOR

Na época em que Spemann ganhou o Prêmio Nobel, o Organizador estava no auge. Os cientistas buscavam o misterioso elemento químico que podia induzir o projeto corporal inteiro. No entanto, assim como a cultura popular adota o iô-iô e a polca, a ciência também tem modismos que fenecem com o tempo. Na década de 1970, o Organizador já era encarado como pouco mais que uma curiosidade, um capítulo interessante na história da embriologia. O motivo dessa queda em desgraça foi que ninguém conseguia decifrar o mecanismo que o fazia funcionar.

A descoberta dos genes *Hox* na década de 1980 mudou tudo. Não só o Organizador está de volta, como também conhecemos um pouco do seu funcionamento interno. Com efeito, podemos comparar seu comportamento em nós com seu comportamento em animais realmente primitivos, como as águas-vivas.

No início dos anos 90, quando o conceito do Organizador já estava decididamente fora de moda, o laboratório de Eddie De Robertis na UCLA procurava genes *Hox* em sapos, utilizando técnicas como as de Levine e McGinnis. A busca era ampla e cobria vários tipos diferentes de genes. Um deles tinha padrão muito especial de atividade. Era ativo precisamente no local do embrião que contém o Organizador e ativado precisamente no momento certo do desenvolvimento. Nem imagino o que De Robertis sentiu ao descobrir esse

gene. Lá estava ele observando o Organizador e, ali, no Organizador, havia um gene que parecia especificamente controlá-lo ou estar vinculado a sua atividade no embrião. O Organizador estava de volta.

Os genes do Organizador começaram a aparecer em laboratórios por todo o lado. Enquanto conduzia um tipo diverso de experiência, Richard Harland, na Universidade de Berkeley, descobriu outro gene, que batizou de *Noggin*. Quando Harland pegou um pouco de *Noggin* e o injetou no local certo de um embrião, ele funcionou exatamente como o Organizador. O embrião desenvolveu dois eixos corporais, inclusive duas cabeças.

Serão a descoberta de De Robertis e o *Noggin* realmente os pedacinhos de DNA que geram o Organizador? A resposta é sim e não. Muitos genes, inclusive esses dois, interagem para organizar o projeto corporal. Tais sistemas são complexos, porque os genes podem desempenhar diferentes papéis durante o desenvolvimento. O *Noggin*, por exemplo, tem um papel no desenvolvimento do eixo corporal, mas também participa em um bocado de outros órgãos. Além disso, os genes não agem sozinhos para especificar comportamentos celulares complicados como os que vemos no desenvolvimento da cabeça. Os genes interagem com outros genes em todas as etapas do desenvolvimento. Um gene pode inibir a atividade de outro ou promovê-la. Às vezes, muitos genes interagem para ativar ou desativar outro. Felizmente, novas ferramentas nos permitem estudar simultaneamente a atividade de milhares de genes numa célula. Combinemos essa tecnologia com os novos métodos baseados em computação para interpretar a função do gene e passamos a ter um enorme potencial para entender como os genes criam células, tecidos e corpos.

Entender essas interações complexas entre batalhões de genes lança luz sobre os efetivos mecanismos que constroem os corpos. O *Noggin* nos serve como um ótimo exemplo. Ele sozinho não instrui célula alguma no embrião quanto à sua posição na parte de cima ou de baixo do eixo. Em vez disso, para tanto age em conjunto com vários outros genes. Outro gene, o *BMP-4*, é um gene da parte de baixo; é ativado nas células que fabricarão a parte de baixo, ou o abdome, de um embrião. Existe uma importante interação entre o *BMP-4* e o *Noggin*. Sempre que o *Noggin* está ativo, o *BMP-4* é incapaz de executar sua missão. A conclusão é que o *Noggin* não diz às células para se desenvolverem como "células da parte de cima do corpo", mas, sim, desliga o sinal que faria delas células da parte de baixo. Essas interações liga-desliga estão por trás de praticamente todos os processos de desenvolvimento.

UMA ANÊMONA MARINHA INTERIOR

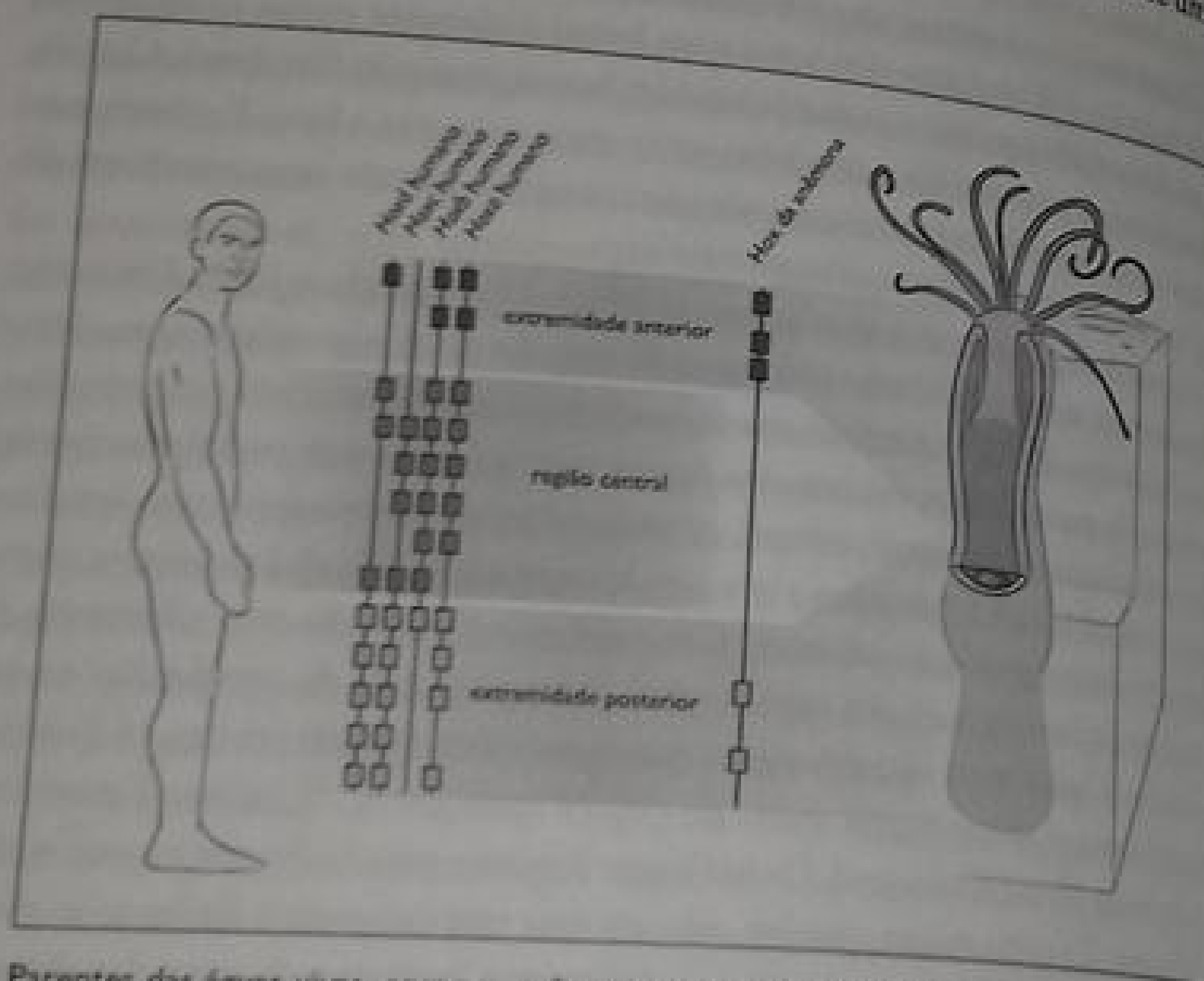
Uma coisa é comparar nosso corpo com o de sapos e peixes. Num sentido real, nós e eles somos muito parecidos: todos temos coluna vertebral, duas pernas, dois braços, uma cabeça, e daí por diante. E se nos compararmos a algo totalmente diferente, como, por exemplo, uma água-viva e seus parentes? A maioria dos animais tem eixos corporais definidos por suas direções de movimento ou pelo local onde ficam a boca e o ânus relativamente uns aos outros. Imagine o seguinte: a nossa boca fica no extremo oposto do corpo em relação ao ânus, e em peixes e insetos, costuma estar na direção "dianteira".

Como podemos tentar ver a nós mesmos em animais que não possuem coração nervoso? E que não têm ânus nem boca? Criaturas como as águas-vivas, peixes, corais e anêmonas marinhas têm bocas, mas não têm ânus. O orifício que lhes serve como boca também serve para excretar o lixo. Embora esse estranho arranjo possa ser conveniente para as águas-vivas e seus parentes, ele causa vertigem nos biólogos comparativistas.

Vários colegas meus, entre os quais Mark Martindale e John Finnerty, mergulharam nesse problema por meio do estudo do desenvolvimento desse grupo de animais. As anêmonas marinhas foram extremamente esclarecedoras, pois são parentes próximos das águas-vivas e têm um padrão corporal muito primitivo. Ao mesmo tempo, as anêmonas marinhas possuem um formato incomum, que à primeira vista nos levaria a considerá-las inúteis como parâmetro de comparação conosco. Uma anêmona marinha tem o formato de um tronco de árvore com um toco central e um punhado de tentáculos na extremidade. Essa forma estranha as torna especialmente atraentes, já que podem ter frente e costas e uma parte de cima e uma parte de baixo. Trace uma linha da boca à base do animal. Os biólogos deram a essa linha um nome: o eixo oral-aboral. Ter um nome, porém, não a torna mais que uma linha arbitrária. Se for real, é possível que o seu desenvolvimento lembre o de uma das dimensões do nosso próprio corpo.

Martindale e seus colegas descobriram que versões primitivas de alguns dos principais genes do nosso projeto corporal – os que determinam o nosso eixo cabeça-ânus – estão efetivamente presentes na anêmona marinha. E o mais importante: esses genes são ativos ao longo do eixo oral-aboral. Por sua vez, isso significa que o eixo oral-aboral dessas criaturas primitivas é geneticamente equivalente ao nosso eixo cabeça-ânus. Jamais imagináramos isso apenas olhando para uma anêmona marinha.

Um eixo resolvido, outro a resolver. Será que as anêmonas marinhas possuem algo análogo ao nosso eixo abdome-costas? Elas não parecem ter nada que se compare. Apesar disso, Martindale e seus colegas deram o primeiro passo de buscar na anêmona marinha genes que especificam o nosso eixo abdome-costas. Conheciam a aparência dos nossos genes, o que lhes deu uma imagem de busca. Não encontraram apenas um, mas vários genes que estivessem ativos ao longo de um eixo na anêmona marinha, o eixo não apresentava correlação com qualquer padrão segundo o qual os órgãos de um animal adulto são montados.



Parentes das águas-vivas, como as anêmonas marinhas, têm frente e costas como nós, montadas por versões dos mesmos genes.

Exatamente o que poderia ser esse eixo oculto não fica visível na aparência externa do animal. Se o cortamos ao meio, porém, encontramos outro eixo de simetria. Chamado eixo diretivo, aparentemente define dois lados distintos da criatura, quase um lado esquerdo e um direito. Este eixo era conhecido de anatomistas obscuros nos idos dos anos 20 e foi basicamente redescoberto pelo trabalho genético de Martindale e Finnerty.

Todos os animais são iguais, mas diferentes. Como uma receita de bolo passada de geração em geração – cada uma contribuindo para um bolo mais saboroso –, a receita de construção dos nossos corpos foi passada adiante e modificada, ao longo de zilhões de anos. Podemos não nos parecer muito com anêmonas marinhas e águas-vivas, mas a receita que nos produz é uma versão daquela que as produz.

Encontramos provas contundentes de uma receita genética comum para corpos animais quando trocamos genes entre as espécies. O que acontece quando trocamos um gene da construção do corpo de um animal com um projeto corporal complexo como o nosso com o de uma anêmona marinha? Lembremo-nos do gene *Noggin*, que em sapos, camundongos e humanos é ativado em locais que se desenvolverão para formar estruturas posteriores. Injetemos quantidades extras do *Noggin* de um sapo num ovo de sapo, e o sapo desenvolverá estruturas posteriores extras, às vezes até uma segunda cabeça. Em embriões de anêmonas marinhas, uma versão do gene *Noggin* também é ativada, numa extremidade do eixo diretivo. Agora, o experimento de um milhão de dólares: pegue o *Noggin* da anêmona do mar e injete no embrião de um sapo. O resultado: um sapo com estruturas posteriores extras, quase o mesmo resultado se o sapo fosse injetado com seu próprio *Noggin*.

Agora, porém, quando voltamos no tempo, parece que ficamos com uma enorme lacuna. Tudo neste capítulo tinha um corpo. Como nos comparar a coisas que não têm corpo algum – a microrganismos unicelulares?

AVENTURAS NA CONSTRUÇÃO DE CORPOS

Durante a maior parte da minha carreira universitária, sempre que não estava coletando fósseis em expedições, eu vivia de olho grudado num microscópio observando as células se juntarem para produzir ossos.

Pegava o membro em desenvolvimento de uma salamandra ou de um sapo e pincelava as células com tinturas que pintavam de azul a cartilagem em desenvolvimento e de vermelho os ossos. Depois era só deixar os demais tecidos claros, tratando o membro com glicerina. Eram belos preparativos: o embrião totalmente clarinho e todos os ossos irradiando as cores das tinturas. Era como observar criaturas feitas de vidro.

Durante esse tempo todo no microscópio, eu literalmente assistia à construção de um animal. Os embriões mais novinhos tinham minúsculos brotos de membros e as células no interior eram espaçadas uniformemente. Depois, em estágios posteriores, as células viravam uma massa dentro do broto de membro. Em embriões sucessivamente mais velhos, as células adquiriam formatos diferentes e os ossos se formavam. Cada uma daquelas massas vistas nos primeiros estágios virava um osso.

É difícil não ficar pasmo ao observar a montagem de um animal. Como acontece com uma casa de tijolos, um membro é construído pela junção de pedacinhos menores para chegar a uma estrutura maior. Mas existe uma enorme diferença. As casas têm um construtor, alguém que realmente sabe onde devem ficar todos os tijolos; membros e corpos, não. As informações que constroem membros não constam em nenhum projeto arquitetônico, mas estão contidas em cada célula. Imagine uma casa montada espontaneamente a partir de todas as informações contidas nos tijolos: é assim que os corpos animais são feitos.

Boa parte daquilo que fabrica um corpo está trancada dentro da célula. Na verdade, boa parte daquilo que nos faz únicos também reside ali. Nossos corpos parecem diferentes do corpo de uma doninha devido à maneira como nossas células se ligam umas às outras, à maneira como se comunicam e aos diferentes materiais que produzem.

Antes que possamos sequer ter um “projeto corporal” – quanto mais uma cabeça, um cérebro ou um braço – é preciso, para começar, haver um jeito de produzir um corpo. O que isso significa? Para fazer todos os tecidos e estruturas de um corpo, nossas células têm que saber como cooperar – como se unir para produzir uma massa.

Primeiro, consideremos o que é um corpo. Depois, passemos às três grandes perguntas sobre corpos: Quando? Como? Por quê? Quando surgiram os corpos, como apareceram, e, o mais importante, por que existem corpos, afinal?

HABEAS CORPUS: MOSTRE-ME O CORPO

Nem toda massa de células merece a honra de chamar-se corpo. Um emaranhado de bactérias ou um grupo de células de pele é algo muito diferente do conjunto de células que chamariamos de indivíduo. Essa é uma distinção essencial. Um exercício de raciocínio nos ajudará a ver a diferença.

O que acontece se tirarmos algumas bactérias de um emaranhado de bactérias? Ficamos com um emaranhado menor de bactérias. O que acontece se removermos algumas células do coração ou do cérebro, digamos de um ser humano ou de um peixe? Ficamos com um ser humano ou um peixe morto, dependendo das células que forem removidas.

Assim, o exercício de raciocínio revela uma das características definidoras dos corpos: nossos componentes funcionam juntos para produzir um todo maior. Mas nem todos os componentes dos corpos são iguais. Alguns são absolutamente indispensáveis à vida. Além disso, existe nos corpos uma divisão de trabalho entre os componentes: cérebro, coração e estômago têm funções distintas. Essa divisão de trabalho chega ao nível mais ínfimo das estruturas, incluindo aí as células, os genes e as proteínas que fabricam corpos.

O corpo de um verme ou de uma pessoa possui uma identidade que os componentes – órgãos, tecidos e células – não possuem. Nossas células da pele, por exemplo, estão continuamente se dividindo, morrendo e sendo descartadas. No entanto, você é o mesmo indivíduo que era há sete anos, ainda

que praticamente todas as suas células de pele sejam hoje diferentes, aí que você tinha então morreram e se foram, substituídas por novas. O mesmo se aplica a praticamente todas as células em nosso corpo. Como um rio que continua o mesmo apesar de mudanças em seu curso, no volume de água e na mesma no tamanho, continuamos a ser os mesmos indivíduos apesar da contínua rotatividade dos nossos componentes.

E a despeito dessa mudança contínua, cada um dos nossos órgãos “conhece” seu tamanho e seu lugar no corpo. Crescemos nas proporções corretas porque o crescimento dos ossos do braço é coordenado com o crescimento dos ossos nos dedos e no crânio. Nossa pele é macia porque as células podem se comunicar para manter a integridade e regularidade da própria superfície. Até termos uma verruga. As células dentro da verruga não estão seguindo as regras: elas não sabem quando parar de crescer.

Quando o equilíbrio de sintonia fina entre as diferentes partes do corpo se quebra, a criatura pode morrer. Um tumor canceroso, por exemplo, nasce quando um lote de células pára de cooperar com outros. Subdividindo-se incessantemente, ou deixando de morrer apropriadamente, essas células são incapazes de destruir o equilíbrio necessário responsável por uma pessoa viva. Os cânceres violam as regras que permitem que as células cooperem umas com as outras. Como um valentão que põe abaixo uma sociedade altamente cooperativa, os cânceres agem em seu próprio interesse até matarem a sua comunidade maior, o corpo humano.

O que tornou possível toda essa complexidade? Para que os nossos ancestrais distantes passassem de criaturas unicelulares para outras providas de corpos, como aconteceu há mais de um bilhão de anos, suas células tiveram que utilizar novos mecanismos para trabalhar em conjunto. Precisaram conseguir se comunicar entre si. Precisaram conseguir se unir de novas maneiras. E precisaram conseguir produzir coisas novas, como as moléculas que tornam nossos órgãos distintos. Essas características – a cola entre as células, as maneiras como elas podem “conversar” umas com as outras, e as moléculas que produzem constituem o kit de ferramentas para construir todos os diferentes corpos que vemos na Terra.

A invenção dessas ferramentas foi uma verdadeira revolução. A guinada de animais unicelulares para animais dotados de corpos revela um mundo totalmente novo. Novas criaturas com capacidades inteiramente novas surgiram: eram grandes, se deslocavam e desenvolveram novos órgãos que as ajudaram a sentir, comere e digerir o próprio mundo.

DESENTERRANDO CORPOS

É uma idéia humilhante para todos os vermes, peixes e humanos: a maior parte da história da vida é a história de criaturas unicelulares. A existência de praticamente tudo de que falamos até agora – animais dotados de mãos, cabeças, órgãos sensoriais e até de projetos corporais – corresponde apenas a uma fração da história da Terra. Aqueles de nós que ensinam paleontologia costumam usar a analogia do “ano terrestre” para ilustrar como é pequena essa fração. Tomemos toda a história de 4,5 bilhões de anos da Terra e a transformemos num único ano, tendo o dia 1º de janeiro como origem da Terra e a meia-noite de 31 de dezembro como o momento presente. Até junho, os únicos organismos existentes eram os microrganismos unicelulares, como algas, bactérias e amebas. O primeiro animal dotado de cabeça só apareceu em outubro. Os primeiros humanos, em 31 de dezembro. Nós, como todos os animais e plantas que já existiram, somos penetras recentes na festa da vida na Terra.

A vastidão dessa escala de tempo se torna abundantemente clara quando observamos as rochas do mundo. Rochas com mais de 600 milhões de anos são destruídas de animais ou plantas. Nelas encontramos apenas criaturas unicelulares ou colônias de algas. Essas colônias formam emaranhados ou filamentos; algumas colônias têm a aparência de maçanetas. De forma alguma podem ser confundidas com corpos.

As primeiras pessoas que viram os corpos mais antigos no registro fóssil não faziam idéia do que tinham diante dos olhos. Entre 1920 e 1960, fósseis realmente estranhos começaram a surgir em todo o mundo. Nas décadas de 1920 e 1930, Martin Gurich, um paleontólogo alemão, trabalhando no que é hoje a Namíbia, descobriu uma variedade de impressões de algo que se assemelhava a corpos de animais. Com formatos de discos e placas, essas coisas nada tinham de notáveis: podiam ter sido algas ou águas-vivas primitivas vivendo em oceanos remotos.

Em 1947, um geólogo de minas australiano chamado Reginald Sprigg chegou por acaso a uma localidade onde os lados inferiores das rochas continham impressões de discos, faixas e frondes.¹ Trabalhando em torno de uma mina abandonada nas Montanhas Ediacara do sul da Austrália, Sprigg desenterrou uma coleção desses fósseis e os descreveu meticulosamente. Com o

¹Nota da Revisora Técnica: Pode ser entendido como um talo foliáceo ou laminar de algas, líquens e hepáticas.

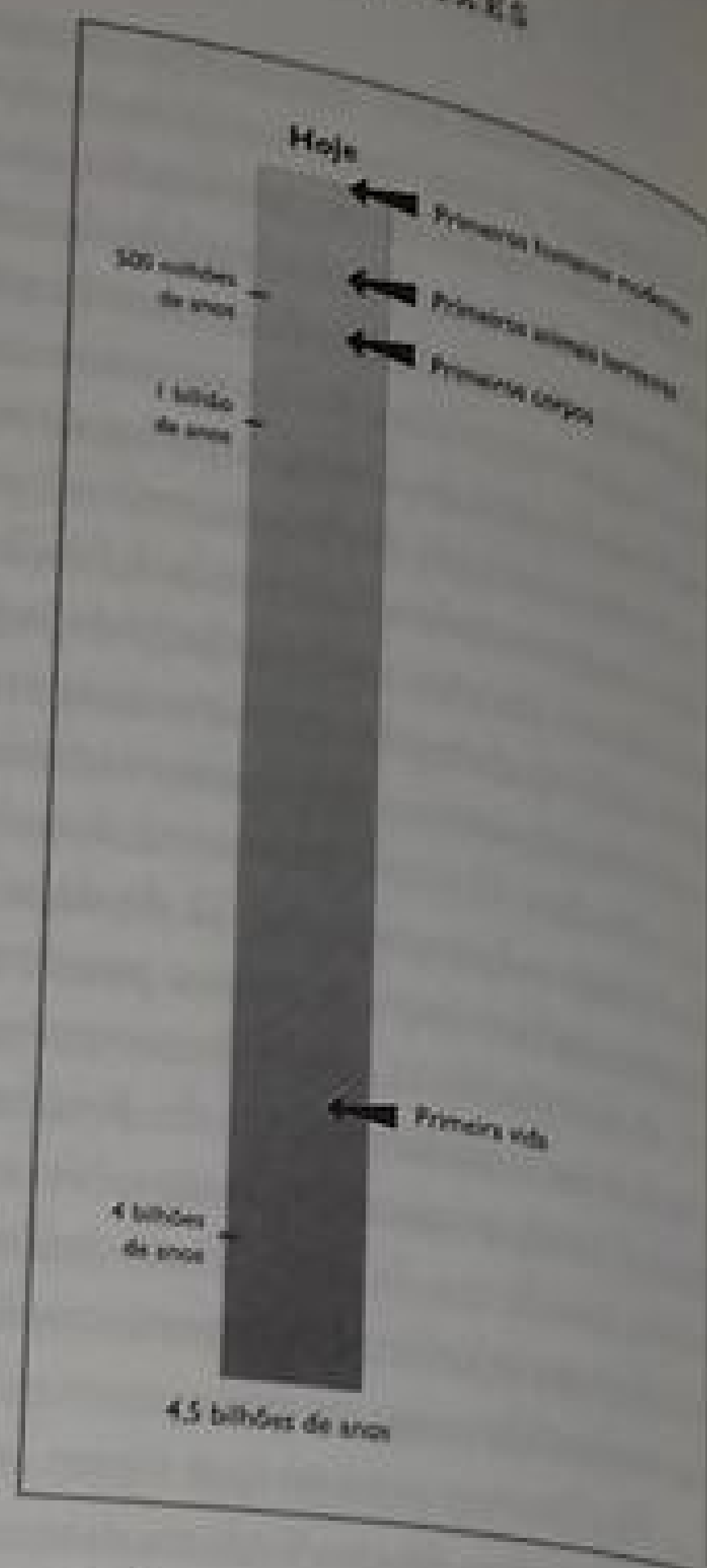
Uma escala temporal para os acontecimentos na história da vida. Observe o período extremamente longo durante o qual não há corpos na terra, mas apenas organismos unicelulares vivendo sozinhos ou em colônias.

tempo, impressões similares se tornaram conhecidas em todos os continentes do mundo, com exceção da Antártica. As criaturas de Sprigg pareciam estranhas, mas pouca gente realmente deu bola para elas.

O motivo para o coletivo desdém paleontológico foi achar-se que esses fósseis vinham de rochas relativamente jovens do Período Cambriano,² quando muitos fósseis animais com corpos primitivos já eram conhecidos. Os fósseis de Sprigg e Gurich passaram relativamente despercebidos, um conjunto que nada tinha de extremamente excitante, embora esdrúxulo, de impressões de um período já bem representado nos acervos de museus em todo o mundo.

Em meados da década de 1960, Martin Glaessner, um carismático ex-paleontólogo austríaco, mudou tudo isso. Glaessner mostrou que, sem dúvida alguma, esses fósseis tinham entre 15 e 20 milhões de anos mais do que se pensara originalmente. Não se tratava de uma coleção boba de impressões: na verdade, Gurich, Sprigg e outros estavam diante dos primeiros corpos.

Esses fósseis eram oriundos de um período conhecido como Pré-Cambriano, cujo nome literalmente significa "Antes da Vida". Nossa compreensão da antiguidade da vida simplesmente explodiu. As curiosidades paleontológicas se tornaram jóias científicas.



Os discos, faixas e frondes pré-cambrianos são nitidamente as mais antigas criaturas dotadas de corpos. Como esperávamos de outros remotos fósseis animais, incluíam representantes de alguns dos mais primitivos animais existentes hoje no planeta: esponjas e águas-vivas. Outros fósseis pré-cambrianos não se parecem com nada conhecido. Podemos dizer que são impressões de alguma coisa dotada de corpo, mas seus padrões de bolotas, estrias e formas não combinam com o de nenhuma criatura viva.

Uma mensagem muito clara se extrai daí: criaturas com muitas células começaram a povoar os mares do planeta há 600 milhões de anos. Essas criaturas possuíam corpos bem definidos e não eram apenas colônias de células. Têm padrões de simetria que, em alguns casos, lembram aqueles de formas vivas. Quanto aos que não podem ser diretamente comparados com formas vivas, não obstante, têm estruturas especializadas em diferentes partes do corpo. Isso implica que os organismos pré-cambrianos tinham um nível de organização biológica que à época era totalmente novo no planeta.

Provas dessas mudanças não são vistas apenas nos corpos fósseis, mas também nas próprias rochas. Com os primeiros corpos vieram os primeiros rastros. Impressos neles estão os primeiros sinais de que as criaturas realmente rastejavam e se contorciam pelo lodo remoto. Os primeiros rastros, pequenos arranhões em forma de faixa na lama, mostram que algumas dessas criaturas dotadas de corpos eram capazes de movimentos relativamente complicados. Não só tinham corpos com partes identificáveis, como também estavam efetivamente usando-os para mover-se de novas maneiras.

Tudo isso faz completo sentido. Vemos os primeiros corpos antes de vermos os primeiros projetos corporais. Vemos os primeiros projetos corporais primitivos antes de vermos os primeiros projetos corporais com cabeças, e daí por diante. Como o zoológico imaginário pelo qual passeamos no primeiro capítulo, as rochas do mundo são altamente ordenadas.

Como dissemos no início deste capítulo, estamos em busca do quando, como e por que dos corpos. As descobertas pré-cambrianas nos respondem quando. Para encontrar o como e, afinal, o por quê, precisamos adotar uma tática levemente diversa.

NOSSO PRÓPRIO CORPO DE PROVAS

Uma foto jamais captaria exatamente o quanto dos nossos corpos se encontra dentro daqueles discos, frondes e faixas pré-cambrianos. O que nós, huma-

²Nota da Revisora Técnica: Pertencente à Era Paleozóica.

nos, em toda a nossa complexidade, poderíamos jamais partilhar com impressões em rochas, principalmente as que se lembram águas-vivas amarratadas e rolos de filmes esmagados?

A resposta é profunda e, quando vemos as provas, inescapável: a "cola" que faz de nós quem somos — que viabiliza nossos corpos — não é diferente daquilo que formou os corpos das antigas impressões de Gurich e Sprigg. Com efeito, a armação de todo o nosso corpo se originou num lugar espantosamente antigo: os animais unicelulares.

O que mantém unida uma massa de células, sejam elas formadoras de uma água-viva ou de um globo ocular? Em criaturas como nós, essa cola biológica é incrivelmente complicada: ela não apenas mantém unidas as nossas células, como também permite que elas se comuniquem e formem boa parte da nossa estrutura. A cola não é uma única coisa, mas uma variedade de diferentes moléculas que se unem e residem entre as nossas células. No nível microscópico, ela dá a cada um dos nossos tecidos e órgãos sua aparência e função características. Um globo ocular parece diferente de um osso da perna, quer o observemos a olho nu ou sob um microscópio. Na verdade, boa parte da diferença entre um osso da perna e um olho está na forma como as células e os materiais se acham ordenados nas profundezas do seu interior.

Há vários anos, a cada outono torturo estudantes de medicina precisamente com esses conceitos. Os aflitos alunos do primeiro ano têm que aprender a identificar órgãos observando lâminas aleatórias de tecido sob um microscópio. Como eles fazem isso?

A tarefa é meio parecida com a de imaginar em que país você está olhando o mapa da rua de uma cidadezinha. É viável, mas precisamos das dicas certas. No caso dos órgãos, algumas das melhores pistas se encontram no formato das células e na maneira como elas se unem umas às outras. Também é importante ser capaz de identificar aquilo que existe entre elas. Os tecidos têm todo tipo de células diferentes, que se unem de formas diferentes: algumas regiões possuem faixas ou colunas de células; noutras, as células se encontram espalhadas ao acaso e unidas frouxamente umas às outras. Essas áreas, onde as células se encontram frouxamente encaixadas, costumam estar cheias de materiais que provêem a cada tecido suas propriedades físicas características. Por exemplo, os minerais que existem entre as células ósseas determinam a dureza do osso, enquanto as proteínas mais frouxas na parte branca dos nossos olhos tornam a parede do globo ocular mais maleável.

A capacidade dos meus alunos para identificar órgãos a partir de lâminas de microscópio, então, deriva do conhecimento de como as células estão arrumadas e do que existe entre elas. Para nós, há um significado mais profundo. As moléculas que tornam possíveis esses arranjos celulares são as moléculas que tornam possíveis os corpos. Se não houvesse um jeito de unir uma célula a outra, ou se não existisse nenhum material entre elas, não haveria corpos na Terra — apenas grupos de células. Isso significa que o ponto de partida para entender como e por que os corpos surgiram é observar essas moléculas: as moléculas que ajudam as células a ficarem presas umas às outras, as moléculas que lhes permitem comunicar-se entre si e as substâncias que se encontram entre as células.

Para entender a relevância dessa estrutura molecular para o nosso corpo, concentremo-nos detalhadamente numa parte: o esqueleto. O nosso esqueleto é um exemplo poderoso de como minúsculas moléculas são capazes de produzir um grande impacto sobre a estrutura dos nossos corpos e exemplifica princípios gerais que se aplicam a todas as partes do corpo. Sem esqueletos, seríamos massas disformes de gosma. Viver na terra não seria fácil, nem mesmo viável. O esqueleto torna possível uma parcela tão grande da nossa biologia e do nosso comportamento básicos que quase sempre nem nos lembramos dele. Toda vez que andamos, tocamos piano, inspiramos ou mastigamos alimentos, devemos agradecer ao nosso esqueleto.

Uma boa analogia para o funcionamento do esqueleto é uma ponte. A resistência de uma ponte depende do tamanho, formato e proporção de suas vigas e cabos, mas igualmente importante é o fato de que a resistência da ponte depende das propriedades microscópicas dos materiais de que ela é feita. A estrutura molecular do aço determina quão forte ele é e até que ponto se vergará sem quebrar. Da mesma forma, a resistência do nosso esqueleto se baseia no tamanho e formato dos nossos ossos, mas também nas propriedades moleculares dos ossos em si.

Vamos dar uma corrida para ver como funciona. Ao correr por uma trilha, nossos músculos se contraem, nossas costas, braços e pernas se movem e nossos pés pressionam o solo para nos impelir adiante. Nossos ossos e articulações funcionam como um gigantesco complexo de alavancas e roldanas que possibilita todos esses movimentos. Os movimentos do nosso corpo são governados pela física básica: a nossa capacidade de correr em grande parte se baseia no tamanho, formato e proporções do nosso esqueleto e na configuração das nossas articulações. A essa altura, parecemos uma grande máquina. E

como uma máquina, seu projeto equivale a suas funções. Um campeão de saltos tem proporções ósseas diferentes de um campeão de sumô. As proporções das pernas de um coelho ou de um sapo, principalmente para pular e saltar, são distintas das de um cavalo.

Agora, partamos para uma visão mais microscópica. Ponha uma fatia de fêmur sob o microscópio e você verá imediatamente o que dá ao osso suas características propriedades mecânicas. As células são altamente organizadas em locais determinados, principalmente na borda externa do osso. Algumas ficam juntas, enquanto outras estão separadas. Entre as células separadas, ficam os materiais que definem a resistência do nosso osso. Um deles é a rocha, ou cristal, conhecida como hidroxiapatita, que abordamos no Capítulo 4. A hidroxiapatita é dura como o concreto: resistente quando comprimida, menos resistente se for torcida ou vergada. Assim, como um prédio feito de tijolos ou concreto, os ossos têm seus formatos de modo a maximizar suas funções compressivas e minimizar a torção e flexão.

A outra molécula encontrada entre as nossas células ósseas é a proteína mais comum em todo o corpo humano. Se a ampliarmos 10 mil vezes com um microscópio eletrônico, veremos algo que lembra uma corda que consiste em feixes de pequenas fibras moleculares. Essa molécula, o colágeno, também tem as propriedades mecânicas de uma corda. A corda é relativamente forte quando puxada. Imagine um cabo-de-guerra. Ela desaba quando comprimida. Imagine os dois times do cabo-de-guerra correndo em direção ao meio. O colágeno, como a corda, é forte quando puxado, mas fraco quando as extremidades são empurradas ao mesmo tempo.

O osso é composto de células que se assentam num mar de hidroxiapatita, colágeno, e algumas outras moléculas menos comuns. Algumas células se mantêm juntas, outras flutuam nesse material. A resistência do osso se baseia na força do colágeno quando puxado e na força da hidroxiapatita quando comprimido.

A cartilagem, o outro tecido do nosso esqueleto, se comporta de uma forma meio diversa. Durante a nossa corrida, é a cartilagem nas nossas articulações que provê as superfícies macias onde nossos ossos deslizam uns contra os outros. A cartilagem é um tecido muito mais maleável do que o osso. Pode vergar-se e se amassar sob a aplicação de força. O funcionamento suave da articulação do joelho, como acontece com a maioria das articulações usadas durante a corrida, depende da existência de cartilagem relativamente macia. Quando a cartilagem saudável é comprimida, ela sempre retorna a seu forma-

to nativo, como uma esponja de cozinha. Essa característica serve de proteção para as nossas articulações. Durante cada passada da nossa corrida, toda a massa do nosso corpo bate contra o solo a determinada velocidade. Sem essas calotas protetoras nas articulações, nossos ossos raspariam uns contra os outros: um resultado bastante desagradável e desgastante da artrite.

A maleabilidade da cartilagem é uma propriedade de sua estrutura microscópica. A cartilagem em nossas articulações possui relativamente poucas células, que se encontram separadas por uma quantidade de enchimento entre elas. Como acontece com o osso, são as propriedades desse enchimento intersticial que em grande parte determinam as propriedades mecânicas da cartilagem.

O colágeno preenche grande parte do espaço entre as células de cartilagem (bem como as células de nossos outros tecidos). O que efetivamente confere à cartilagem sua maleabilidade é outro tipo de molécula, uma das mais extraordinárias do nosso corpo. Esse tipo de molécula, chamada de complexo proteoglicano, dá força à cartilagem quando ela é apertada ou comprimida. Com o formato de um gigantesco pincel tridimensional, possuindo uma longa haste e inúmeros pequenos ramos, o complexo de proteoglicanos é, na verdade, visível sob o microscópio óptico. Ela tem uma propriedade incrível com relação à nossa capacidade de andar e nos movermos, graças ao fato de que os ramos mais diminutos adoram se ligar à água. Um proteoglicano, assim, é uma molécula que incha com água, crescendo como um pedaço gigante de gelatina. Tomemos esse pedacinho de gelatina, enrolemos nele cordas de colágeno e teremos uma substância ao mesmo tempo maleável e com certa resistência à tensão. Isso, basicamente, é a cartilagem. Uma almofada perfeita para as nossas articulações. O papel das células de cartilagem é secretar essas moléculas quando o animal está em crescimento e conservá-las quando o animal pára de crescer.

As proporções entre os vários materiais definem boa parte das diferenças mecânicas entre osso, cartilagem e dentes. Os dentes são muito duros e, previsivelmente, existe uma grande quantidade de hidroxiapatita e relativamente pouco colágeno entre as células no esmalte. O osso possui relativamente mais colágeno e menos hidroxiapatita que o esmalte. Consequentemente, não é tão duro quanto os dentes. A cartilagem possui grande quantidade de colágeno e nenhuma hidroxiapatita e está carregada de proteoglicanos. É o mais mole dos tecidos do nosso esqueleto. Uma das principais razões para a aparência e o funcionamento do nosso esqueleto é o fato de essas moléculas estarem inseridas nos locais certos e nas proporções corretas.

O que tudo isso tem a ver com a origem do corpo? Uma propriedade é comum aos animais, quer tenham ou não esqueletos: todos, inclusive massas de células, possuem moléculas entre suas células, tipos especificamente distintos de colágenos e proteoglicanos. O colágeno parece especialmente importante: a proteína mais comum nos animais, ele responde por mais de 90% dos corpos por peso. A construção de corpos no passado remoto exigiu que moléculas como essas tivessem que ser inventadas.

Algo mais é essencial para os corpos: as células em nossos ossos têm que ser capazes de permanecer unidas e de conversar entre si. Como as células ósseas se unem e como as partes diferentes do osso sabem comportar-se de forma distinta? É aqui que reside boa parte do kit de construção de corpos.

As células ósseas, como todas as outras células em nosso corpo, unem-se umas às outras por meio de minúsculos encaixes moleculares, que existem numa vasta diversidade. Alguns unem células do jeito que a cola gruda as solas nos sapatos: uma molécula é firmemente unida à membrana externa de outra célula, uma outra à membrana externa de uma célula vizinha. Assim unida às duas membranas celulares, a cola forma um vínculo estável entre as células.

Outros encaixes moleculares são tão precisos que se unem de forma seletiva, apenas ao mesmo tipo de junção. Essa é uma característica extremamente significativa, pois ajuda a organizar nosso corpo de uma maneira fundamental. Esses encaixes seletivos permitem que as células se organizem por conta própria e garante que células ósseas se unam a células ósseas, pele a pele, e assim por diante. Eles podem organizar nosso corpo na ausência de outras informações. Se pusermos várias células, cada uma com uma natureza diversa desse tipo de encaixe, num prato e deixarmos as células crescerem, elas se organizarão sozinhas. Algumas formarão esferas, outras, lâminas, conforme são separadas pelo número e tipos de junções que possuem.

No entanto, sem dúvida a conexão mais importante entre as células reside na forma como elas trocam informações entre si. O padrão preciso do nosso esqueleto – com efeito, do nosso corpo – só é possível porque as células sabem como se comportar. As células têm que saber quando se dividir, quando fabricar moléculas e quando morrer. Se, por exemplo, células ósseas ou da pele se comportassem aleatoriamente – caso se dividam em demasia ou morram com frequência pequena demais – seríamos muito feios ou, pior, estaríamos mortos.

As células se comunicam entre si usando “palavras” escritas na forma de moléculas que se deslocam de célula para célula. Uma célula pode “falar” com a vizinha enviando moléculas e recebendo moléculas. Por exemplo, numa forma

relativamente simples de comunicação célula-para-célula, uma delas emite um sinal, neste caso uma molécula. Essa molécula se prenderá ao revestimento externo, ou membrana, da célula receptora do sinal. Uma vez presa à membrana externa, a molécula detonará uma reação em cadeia de acontecimentos moleculares que viajarão da membrana externa por toda a extensão necessária, em muitos casos, para chegar ao núcleo da célula. Recordemos que a informação genética fica dentro do núcleo. Consequentemente, este sinal molecular é capaz de ativar e desativar genes. O resultado final de tudo isso é que a célula receptora da informação altera então o seu comportamento: ela pode morrer, se dividir ou fabricar novas moléculas em reação à dica da outra célula.

No nível mais básico, essas são as coisas que tornam o corpo possível. Todos os animais dotados de corpo possuem moléculas estruturais, como colágenos e proteoglicanos, todos possuem o conjunto de encaixes moleculares que mantém as células unidas e todos têm as ferramentas moleculares que permitem que as células se comuniquem entre si.

Temos agora uma imagem de busca para entender o “como” da origem dos corpos. Para saber como os corpos surgiram, precisamos procurar essas moléculas nos corpos mais primitivos do planeta e depois, afinal, nas criaturas totalmente desprovidas de corpo.

A CONSTRUÇÃO DE CORPOS PARA BOLOTAS

O que um professor partilha com uma bolota? Observemos alguns dos corpos mais primitivos que hoje vivem para encontrar uma resposta.

Uma dessas criaturas goza da fama duvidosa de quase nunca ter sido vista *in natura*. No final da década de 1880, uma criatura estranhamente simples foi descoberta vivendo nas paredes de vidro de um aquário. Ao contrário de qualquer ser vivo, ela parecia uma massa de gosma. A única coisa passível de comparação com ela é a criatura alienígena do filme de Steve McQueen *A Bolha*. Lembre-se de que a Bolha era uma massa mole e amorfa, que depois de despencar do espaço sideral abocanhava suas presas: cães, gente e até pequenos restaurantes em cidadezinhas da Pensilvânia. A extremidade digestiva da Bolha ficava na parte de baixo e nunca a víamos, ouvindo apenas os gritos das criaturas presas ali. Encolha a Bolha para cerca de 200 a 1.000 células, cerca de 2 milímetros de diâmetro, e estará diante da criatura viva enigmática conhecida como placozoa. Os placozoos têm apenas quatro tipos de células, o que lhes dá um corpo muito simples com o formato de um prato pequeno. É um corpo

de verdade, porém. Algumas das células na parte de baixo são especializadas em digestão; outras têm flagelos, que latejam para fazer a criatura se mover. Fazemos pouca idéia do que eles costumam comer, onde vivem ou qual seja o seu habitat natural. No entanto, essas bolhas simples revelam algo extremamente importante: com alguns tipos de células especializadas, essas criaturas primitivas já possuem uma divisão de trabalho entre suas partes.

Muito do que é interessante com relação a corpos já existe nos placozoos. Eles têm corpos de verdade, embora primitivamente organizados. Verificando seu DNA e examinando as moléculas na superfície de suas células descobrimos que boa parte do aparato de construção do nosso corpo já está presente ali. Os placozoos têm versões das junções moleculares e ferramentas de comunicação celular que vemos em nosso próprio corpo.

O aparato de construção do nosso corpo é encontrado em bolhas mais simples do que algumas das antigas impressões de Reginald Sprigg. Poderíamos ir mais longe, chegar a tipos ainda mais primitivos de corpos? Da próxima vez que lavar pratos, pense nisto: a esponja que você empunha pode conter pistas da origem do seu próprio corpo. À primeira vista, as esponjas nada têm de notável. O corpo de uma esponja consiste na matriz da esponja em si, não um material vivo, mas uma forma de sílica (material vítreo) ou carbonato de cálcio (um material duro semelhante a uma concha) com um pouco de colágeno entremeando-o. De cara, isso torna as esponjas interessantes. Lembre-se: o colágeno é uma parte importante dos nossos espaços intercelulares, unindo células e vários tecidos. Talvez não pareça, mas as esponjas já possuem uma das marcas de identificação dos corpos.

No início do século XX, H. V. P. Wilson mostrou o quanto as esponjas são interessantes. Wilson chegou à Universidade da Carolina do Norte como o primeiro professor de biologia da instituição, em 1894. Havia formado um quadro de biólogos americanos aos quais caberia definir o campo da genética e da biologia celular na América do Norte para o século seguinte. Jovem, Wilson concentrou-se, por incrível que pareça, em esponjas. Ele as passou por uma espécie de crivo, que as decompôs até um conjunto de células desagregadas. Wilson pôs as células, já então completamente desagregadas, como células semelhantes a amebas, num prato e as observou. De início, elas rastejaram na superfície do prato. Então, algo surpreendente aconteceu: as células se juntaram. Primeiro, formaram bolas vermelhas confusas de células. Em seguida, adquiriram mais organização, com as células se arrumando em padrões definidos. Finalmente, a massa de células veio a

formar um corpo totalmente novo de esponja, com os vários tipos de células assumindo as posições adequadas. Se fôssemos como esponjas, o personagem de Steve Buscemi que acaba moído no cortador de madeira no filme *Fargo*, dos irmãos Cohen, estaria numa boa. Com efeito, talvez a experiência até o revigorasse, pois suas células poderiam se agregar para formar várias versões distintas dele mesmo.

São as células dentro das esponjas que as tornam úteis para a compreensão da origem dos corpos. O interior da esponja geralmente é um espaço oco. Água flui pelo espaço, dirigida por um tipo muito especial de célula. Essas células têm o formato de copos com a boca voltada para o interior da esponja. Minúsculos cílios que se estendem da borda do copo vibram e captam partículas de alimentos na água. Também se projetando da parte em forma de copo de cada uma dessas células existe um grande flagelo. A ação conjunta dos flagelos dessas pequenas células se movimentando desloca água e alimentos pelos diferentes espaços da esponja. Outras células no interior da esponja processam as partículas de alimentos. Outras tantas revestem o exterior e podem se contrair quando a esponja precisa alterar seu formato conforme mudam as correntes da água.

Uma esponja parece muito diferente de um corpo, porém possui muitas das propriedades mais importantes dos corpos: suas células têm uma divisão de trabalho; elas podem se comunicar entre si; e o conjunto de células funciona como um único indivíduo. Uma esponja é organizada, com diferentes tipos de células em lugares diferentes executando funções diferentes. Está muito longe de se parecer com um corpo humano com trilhões de células precisamente arrumadas, mas compartilha algumas características com o corpo humano. O mais significativo é que a esponja tem boa parte da adesão e comunicação celular e do arcabouço de aparato que temos. As esponjas são corpos, embora muito primitivos e relativamente desorganizados.

Como os placozoos e as esponjas, temos muitas células. Como eles, nossos corpos mostram uma divisão de trabalho entre suas partes. Todo o aparato molecular que mantém nosso corpo montado também se encontra presente: os encaixes que prendem as células, os vários dispositivos que as ajudam a comunicar-se entre si e muitas das moléculas que residem entre as células. Como nós e outros animais, os placozoos e as esponjas têm até mesmo colágeno. Ao contrário de nós, eles possuem versões muito primitivas de todas essas características: em lugar de vinte e um tipos de colágeno, as esponjas têm dois. Enquanto possuímos centenas de diferentes tipos de mecanismos de adesão

celular, as esponjas possuem apenas uma pequena fração desse número. As esponjas são mais simples que nós e têm menos tipos de células, mas o aparato básico de construção de corpos está presente nelas.

Os placozoos e as esponjas são o mais simples possível em termos de corpos atualmente. Para ir mais longe, teríamos que buscar as coisas que constroem nosso corpo em criaturas totalmente destituídas de corpo: microrganismos unicelulares.

Como se compara um microrganismo com um animal dotado de corpo? Será que as ferramentas que constroem corpos em animais estão presentes em criaturas unicelulares? Se estão e não constroem corpos, o que é que fazem?

A maneira mais direta de começar a responder tais perguntas requer que se observe o interior dos genes dos microrganismos em busca de alguma semelhança que seja com os animais. As primeiras comparações entre genomas animais e microbianos revelaram um fato impressionante: em muitos animais unicelulares, boa parte da maquinaria molecular responsável pela adesão, interação etc. entre as células simplesmente não existe. Algumas análises chegaram a sugerir que mais de oitocentos desses tipos de moléculas são encontrados unicamente em animais dotados de corpo. Ao que tudo indica, isso sustentaria a noção de que os genes que ajudam as células a se unir para fabricar corpos surgiram juntamente com a origem dos corpos. E à primeira vista, parece fazer sentido que as ferramentas para a construção de corpos surgissem em conjunto com os próprios corpos.

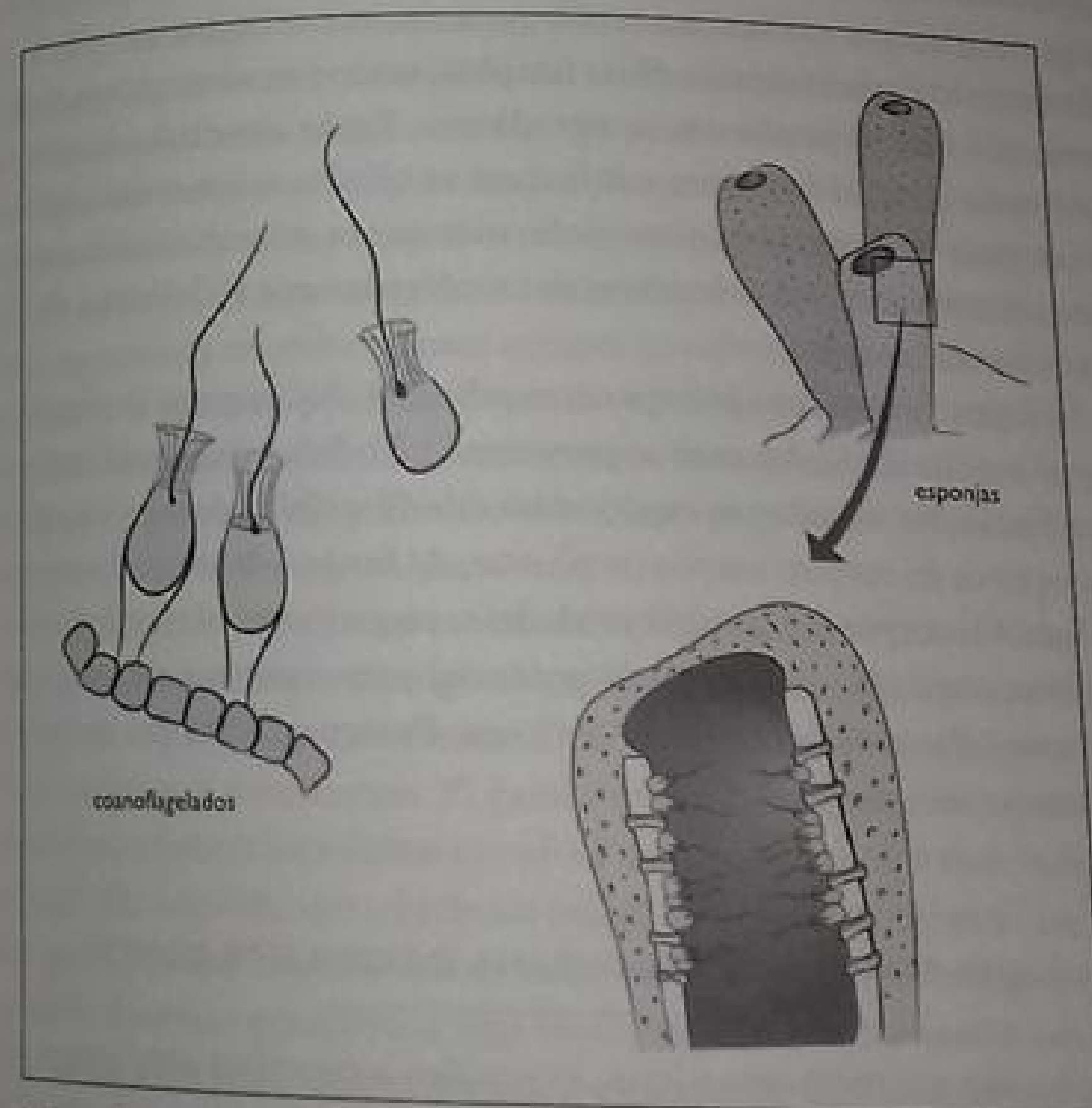
A história virou pelo avesso quando Nicole King, da Universidade da Califórnia – Berkeley, estudou os organismos chamados coanoflagelados. A escolha desse tema por Nicole não foi acidental. A partir do trabalho com DNA, ela sabia muito bem que os coanoflagelados são provavelmente os parentes micróbios mais próximos dos animais dotados de corpos, dos placozoos e das esponjas. Nicole também suspeitava que escondidas nos genes dos coanoflagelados residiam versões do DNA que fabrica nosso corpo.

Nicole foi auxiliada em sua busca pelo Projeto Genoma Humano, empreitada que havia conseguido mapear todos os genes em nosso corpo. O sucesso do Projeto Genoma Humano estimulou vários outros estudos de mapeamento: houve o Projeto Genoma do Camundongo, o Projeto Genoma da Mosca, o Projeto Genoma do Abelhão e existem em andamento projetos para sequenciar até os genomas de esponjas, placozoos e micróbios. Esses mapas representam uma mina de ouro em informações, pois nos capacitam a comparar os ge-

nes da construção de corpos em várias espécies diferentes. Também deram a Nicole as ferramentas genéticas para estudar seus coanoflagelados.

Os coanoflagelados se parecem com as células em formato de copo no interior de uma esponja. Na verdade, durante muito tempo, muita gente achou que eles não passavam de esponjas degeneradas – esponjas sem todas as outras células. Se fosse esse o caso, o DNA dos coanoflagelados lembraria o de uma esponja bizarra. Não é assim. Quando partes do DNA de coanoflagelados foram comparadas com o DNA de microrganismos e esponjas, a semelhança com o DNA do microrganismo revelou-se extraordinária. Os coanoflagelados são microrganismos unicelulares.

A distinção genética entre “microrganismo unicelular” e “animal dotado de corpo” ruíu totalmente graças ao trabalho de Nicole com os coanoflagelados. A maioria dos genes ativos nos coanoflagelados também está ativa em animais. Com efeito, muitos desses genes são parte da maquinaria que constrói corpos. Um punhado de exemplos revela o poder de tal compara-



Um coanoflagelado (à esquerda) e uma esponja (à direita).

ção. As funções de adesão e comunicação entre as células e até partes das moléculas que formam a matriz entre as células e as cascatas moleculares que transportam um sinal do exterior para o interior da célula estão todas presentes nos coanoflagelados. Os colágenos estão presentes nos coanoflagelados. Os diversos tipos de encaixes moleculares que prendem as células também estão presentes nos coanoflagelados, embora suas funções sejam levemente diferentes.

Os coanoflagelados chegaram até mesmo a fornecer a Nicole um mapa para a comparação do aparato de construção dos nossos corpos com o de outros microrganismos. A estrutura molecular fundamental que fabrica colágenos e agregados de proteoglicano é vista em vários tipos diferentes de micróbios. A bactéria *Streptococcus* – comum em nossas bocas (e esperamos que rara em outras partes) – tem em sua superfície celular uma molécula muito similar ao colágeno. Ela possui a mesma assinatura molecular, mas não se agrega para formar cordas ou lâminas como fazem os colágenos nos animais. Da mesma forma, alguns açúcares que fabricam complexos de proteoglicanos nas nossas cartilagens são encontrados nas paredes de diferentes tipos de bactérias. Suas funções, tanto nos vírus quanto nas bactérias, não são particularmente agradáveis. Estão associadas às maneiras como esses agentes invadem e infectam as células e, em muitos casos, se tornam mais virulentos. Muitas moléculas que os micróbios usam para nos atormentar são versões primitivas das moléculas que viabilizam a existência dos nossos corpos.

Isso gera um quebra-cabeça extraordinário. No registro fóssil nada vemos, salvo micróbios, durante os primeiros 3,5 bilhões de anos da história da Terra. Então, de repente, no espaço talvez de 40 milhões de anos, apareceram todos os tipos de corpos: corpos de plantas, de fungos, de animais; corpos por todo lado. Os corpos foram uma verdadeira coqueluche. Mas, se levarmos ao pé da letra o trabalho de Nicole, o potencial para construir corpos já existia muito antes dos corpos surgirem em cena. Por que a ânsia por corpos após tanto tempo sem corpo algum?

UMA TEMPESTADE PERFEITANA ORIGEM DOS CORPOS

Timing é tudo. As melhores idéias, invenções e conceitos nem sempre vencem. Quantos músicos, inventores e artistas estavam tão à frente do seu tempo

que fracassaram e foram esquecidos para serem redescobertos mais tarde? Não precisamos ir além do pobre Heron de Alexandria, que, talvez no século I d.C. inventou a turbina a vapor. Infelizmente, o invento foi encarado como um brinquedo. O mundo não estava pronto para ele.

A história da vida funciona do mesmo jeito. Há um momento para tudo, talvez até para os corpos. Para comprová-lo, precisamos entender por que, para começar, teriam surgido os corpos.

Uma teoria a esse respeito é extremamente simples: talvez os corpos tenham surgido quando os microrganismos desenvolveram novas formas para se comerem uns aos outros ou evitar serem comidos. Ter um corpo com muitas células permite que as criaturas cresçam. Crescer costuma ser uma maneira muito boa de evitar ser comido. Os corpos podem ter surgido precisamente como um tipo de defesa.

Os predadores desenvolvem novas maneiras de comer, e os organismos que são suas presas, novas maneiras de evitar esse malfadado destino. Essa atuação recíproca pode ter levado ao surgimento de muitas moléculas responsáveis pela construção do nosso corpo. Muitos micróbios se alimentam unindo-se e engolfando outros micróbios. As moléculas que permitem aos micróbios pegar suas presas e se agarrar a elas são prováveis candidatas à função das moléculas que formam as ligações das junções entre as células em nosso corpo. Alguns micróbios podem mesmo se comunicar entre si gerando componentes que influenciem o comportamento de outros micróbios. As interações predador-presa entre os micróbios quase sempre envolvem dicas moleculares, seja para manter a distância predadores potenciais, seja para servir como atrativo para seduzir a presa. Talvez sinais como esses tenham sido precursores dos tipos de sinal que nossas próprias células utilizam para trocar informações a fim de manter intactos o nosso corpo.

Poderíamos especular sobre isso *ad infinitum*, mas mais excitante seria alguma prova experimental tangível que demonstre como a predação poderia provocar o surgimento de corpos. Foi isso exatamente que Martin Boraas e seus colegas nos forneceram. Pegando uma alga, que normalmente é uma criatura unicelular, eles a deixaram viver no laboratório durante mais de mil gerações. Em seguida, introduziram um predador: uma criatura unicelular com um flagelo que engolfa outros microrganismos a fim de ingeri-los. Em menos de duzentas gerações, a alga teve como reação tornar-se uma massa de centenas de células; com o tempo, o número de células decresceu até sobrar apenas oito em cada massa. Oito revelou-se um número ótimo, pois

tornava as massas grandes o bastante para evitarem virar comida, porém pequenas o bastante para que cada célula pudesse captar luz para sobreviver. O mais surpreendente ocorreu quando o predador foi retirado: as algas continuaram a se reproduzir e a formar um indivíduo com oito células. Resumindo: uma versão simples de uma forma corporal multicelular havia surgido de um não-corpo.

Se uma experiência é capaz de produzir um corpo simples a partir de uma forma não-corpórea em vários anos, imagine o que poderia acontecer em bilhões de anos. A pergunta não mais é como podem ter surgido os corpos, mas por que não surgiram antes?

Respostas a esse quebra-cabeça talvez residam no ambiente antigo em que os corpos surgiram: o mundo talvez não estivesse preparado para a existência de corpos.

Um corpo é algo muito caro. Existem vantagens óbvias em tornar-se uma criatura com um corpo avantajado: além de evitar predadores, os animais dotados de corpo podem comer outras criaturas menores, ou ativamente cobrir distâncias maiores. Essas duas capacidades permitem aos animais exercer mais controle sobre o próprio meio ambiente. Mas ambas consomem bastante energia. Os corpos exigem ainda mais energia à medida que ficam maiores e quando incorporam grandes quantidades de colágeno. O colágeno demanda um volume relativamente grande de oxigênio para a sua síntese e teria aumentado em muito a necessidade desse importante elemento metabólico de nossos ancestrais.

Mas o problema era este: no passado remoto da Terra, os níveis de oxigênio eram muito baixos. Durante bilhões de anos os níveis de oxigênio na atmosfera não passaram nem perto dos de hoje. Então, mais ou menos há um bilhão de anos, a quantidade de oxigênio aumentou drasticamente, e permaneceu alta. Como sabemos disso? Pela química das rochas. Rochas com cerca de um bilhão de anos possuem a assinatura reveladora de terem sido formadas com crescentes quantidades de oxigênio. Estaria o aumento do oxigênio na atmosfera associado à origem dos corpos?

Talvez tenha sido preciso o equivalente paleontológico de uma tempestade perfeita para fazer surgirem os corpos. Durante bilhões de anos, os microrganismos desenvolveram novas maneiras de interagir com o próprio meio ambiente e entre si. Ao fazê-lo, esbarraram numa série de partes moleculares e ferramentas para a construção de corpos, embora as usassem para outras finalidades. O motivo da origem dos corpos também já existia:

há um bilhão de anos, os microrganismos tinham aprendido a comer uns aos outros. Havia um motivo para construir corpos, e as ferramentas para isso estavam lá.

Faltava algo. Esse algo era oxigênio suficiente na Terra para sustentar os corpos. Quando o oxigênio da Terra aumentou, os corpos apareceram por todo lado. A vida jamais seria a mesma.

FABRICANDO AROMAS

No início dos anos 80, houve uma tensão entre os biólogos moleculares e gente que trabalhava com organismos completos – os ecologistas, os anatomistas e os paleontólogos. Os anatomistas, por exemplo, eram vistos como ultrapassados, perdidamente enamorados por um tipo antiquado de ciência. A biologia molecular revolucionava a nossa abordagem da anatomia e da biologia do desenvolvimento a tal ponto que as disciplinas clássicas, como a paleontologia, pareciam bicos sem saída na história da biologia. Fui levado a sentir que devido ao meu amor por fósseis acabaria sendo substituído por um daqueles novos seqüenciadores automatizados de DNA.

Vinte anos mais depois, ainda escavo a terra e quebro rochas. Também coleto DNA e investigo seu papel no desenvolvimento. Os debates costumam começar como cenários ou-ou. Com o tempo, posturas ou-tudo-ou-nada deram origem a uma abordagem mais realista. Os fósseis e o registro geológico continuam a ser uma fonte poderosa de indícios sobre o passado. Nenhuma outra revela os verdadeiros cenários e estruturas de transição presentes durante a história da vida. Como vimos, o DNA é uma janela de extraordinário poder para o aprendizado da história da vida e da formação de corpos e órgãos. Seu papel é especialmente importante onde o registro fóssil se cala. Grandes partes do corpo – os tecidos moles, por exemplo – não se fossilizam prontamente. Nesses casos, o registro do DNA é praticamente tudo que temos.

Extraír o DNA dos corpos é incrivelmente fácil, tão fácil que você é capaz de fazê-lo em sua cozinha. Pegue uma xícara de tecido de alguma planta ou animal – ervilhas, digamos, ou de um bife ou um fígado de galinha –, acres-

cente um pouco de sal e água e jogue tudo num liquidificador para fazer uma papa do tecido. Depois adicione um pouco de sabão. O sabão decompõe as membranas que circundam todas as células no tecido que sejam pequenas demais para o liquidificador processar. Em seguida, ponha um pouco de amaciante de carne. O amaciante de carne decompõe algumas proteínas que se prendam ao DNA. Você terá, então, uma sopa oleosa de carne amaciada contendo DNA. Finalmente, junte um pouco de álcool comum à mistura. O resultado será duas camadas de líquido: uma papa oleosa no fundo, álcool cristalino na superfície. O DNA tem uma grande atração por álcool e se deslocará para ele. Se uma bola branca grudada aparecer no álcool, você fez tudo certo. Essa gororoba é o DNA.

Você estará então em condições de usar essa gororoba branca para entender muitas das conexões básicas que temos com o restante da vida. O artifício, com o qual gastamos incontáveis horas e dólares, se resume a comparar a estrutura e a função do DNA em diferentes espécies. Aqui entra a parte contra-intuitiva. Por meio da extração do DNA de *qualquer* tecido – do fígado, digamos – de espécies diferentes, é possível, efetivamente, decifrar, virtualmente, a história de qualquer parte do nosso corpo, inclusive do olfato. Trancado dentro desse DNA, seja ele do fígado, do sangue ou do músculo, se encontra grande parte do aparato que usamos para detectar odores em nosso meio ambiente. Recordemos que todas as nossas células contêm o mesmo DNA, a diferença é que alguns pedaços do DNA estão ativos, outros não. Os genes envolvidos no sentido do olfato se acham presentes em todas as nossas células, embora ativos apenas na área nasal.

Como sabemos, os aromas despertam no cérebro impulsos capazes de provocar um profundo impacto na forma como percebemos o mundo. Uma mera aragem pode nos trazer a lembrança das salas de aula da infância ou do aconchego do sótão mofado de nossos avós, e cada uma dessas situações pode trazer à tona sentimentos há muito arquivados. No nível mais essencial, os odores nos ajudam a sobreviver. O aroma de comida saborosa nos deixa com fome; o cheiro de esgoto nos dá náuseas. Somos programados para evitar ovos podres. Quer vender sua casa? Valerá muito mais a pena estar assando pão do que cozinhando repolho quando um candidato à compra aparecer para uma visita. Investimos coletivamente enormes somas no nosso olfato: em 2005, a indústria de perfumes gerou US\$24 bilhões só nos Estados Unidos. Tudo isso comprova como o olfato está profundamente enraizado em nós.

Nosso senso de olfato nos permite distinguir de cinco mil a dez mil odores. Alguns indivíduos podem detectar as moléculas do odor num pimentão verde, numa concentração menor que uma parte por trilhão. Isso é como identificar um grão de areia numa praia de mais de 1 quilômetro de comprimento. Como fazemos isso?

O que percebemos como cheiro é a reação do nosso cérebro a um coquetel de moléculas que flutuam no ar. As moléculas que acabamos percebendo como cheiro são minúsculas, leves o bastante para ficarem suspensas no ar. Quando respiramos ou farejamos, sugamos essas moléculas do odor para dentro das nossas narinas. Dali, as moléculas do odor passam para uma área atrás do nariz onde ficam presas no revestimento mucoso das passagens nasais. Dentro desse revestimento se encontra um retalho de tecido que contém milhões de células nervosas, cada uma com pequenas projeções na membrana. Quando as moléculas no ar se unem às células nervosas, são enviados sinais para o cérebro. Nossos cérebros registram esses sinais como um cheiro.

A parte molecular do olfato funciona como um mecanismo de fechadura e chave. A fechadura é a molécula do odor; a chave, o receptor na célula nervosa. Uma molécula capturada pelas membranas nervosas em nosso nariz interage com um receptor na célula nervosa. Apenas quando a molécula se une ao receptor o sinal é enviado ao cérebro. Cada receptor está sintonizado com um tipo diferente de molécula, de modo que um determinado odor pode envolver vários grupos de moléculas e, conseqüentemente, vários receptores que enviam sinais para o nosso cérebro.

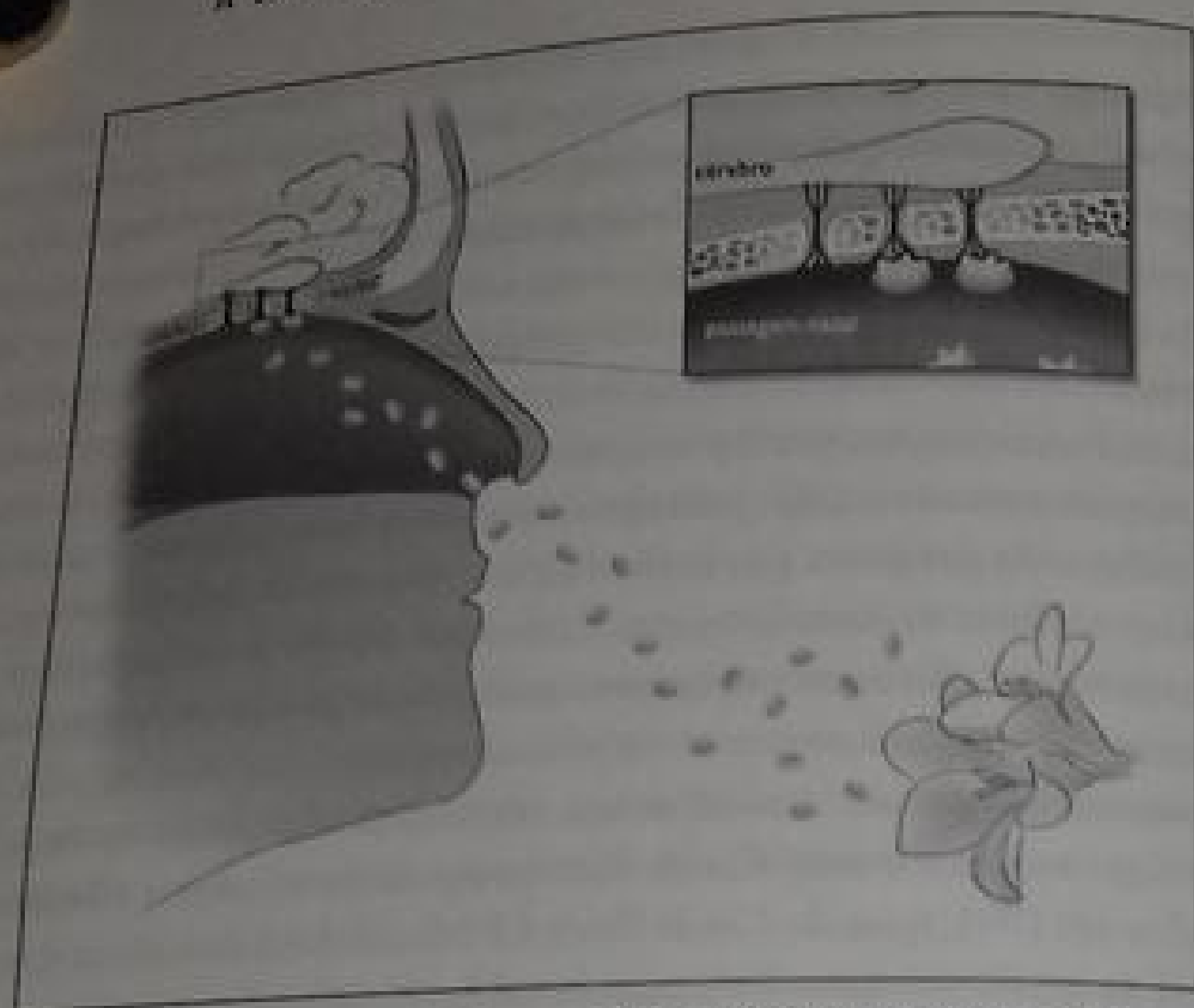
A melhor analogia para o cheiro vem da música: um acorde. Um acorde é feito de várias notas atuando juntas como uma só. Do mesmo modo, um odor é o produto de sinais vindos de inúmeros receptores sintonizados com diferentes moléculas de odor. Nosso cérebro percebe esses impulsos diferentes como um cheiro.

Como nos peixes, anfíbios, répteis, mamíferos e pássaros, boa parte do nosso sentido do olfato está guardada dentro do nosso crânio. Como os outros animais, temos um ou mais orifícios através dos quais levamos ar para o interior e, em seguida, para um conjunto de tecidos especializados onde os elementos químicos no ar podem interagir com os neurônios. Podemos rastrear os padrões desses orifícios, espaços e membranas desde os peixes até os humanos e encontrar um padrão geral. Os animais vivos mais primitivos dotados de crânio – peixes sem mandíbula, como lampreias e congros

– têm uma única narina que vai até um saco dentro do crânio. A água entra neste saco cego e é ali que o olfato tem lugar; a diferença principal entre nós e lampreias e congros é que estes extraem os odores da água em lugar do ar. Nossos parentes peixes mais próximos possuem um arranjo mais ou menos como o nosso: a água penetra numa narina e acaba indo parar numa cavidade ligada à boca. Peixes como o peixe pulmonado ou o *Tiktaalik* têm dois tipos de narinas: uma externa e uma interna. Nisso eles se parecem bastante conosco. Experimente sentar-se com a boca fechada e respirar. O ar entra pela narina externa e viaja pelas suas cavidades nasais para penetrar na parte posterior da garganta por meio de passagens internas. Nossos ancestrais peixes tinham narinas internas e externas também e, fato que a ninguém surpreende, são esses os mesmos peixes que possuem ossos dos braços e outras características em comum conosco.

Nosso sentido do olfato contém um registro profundo da nossa história como peixes, anfíbios e mamíferos. Um passo de peso para a compreensão disso se deu em 1991, quando Linda Buck e Richard Axel descobriram a grande família de genes que provê o nosso sentido do olfato.

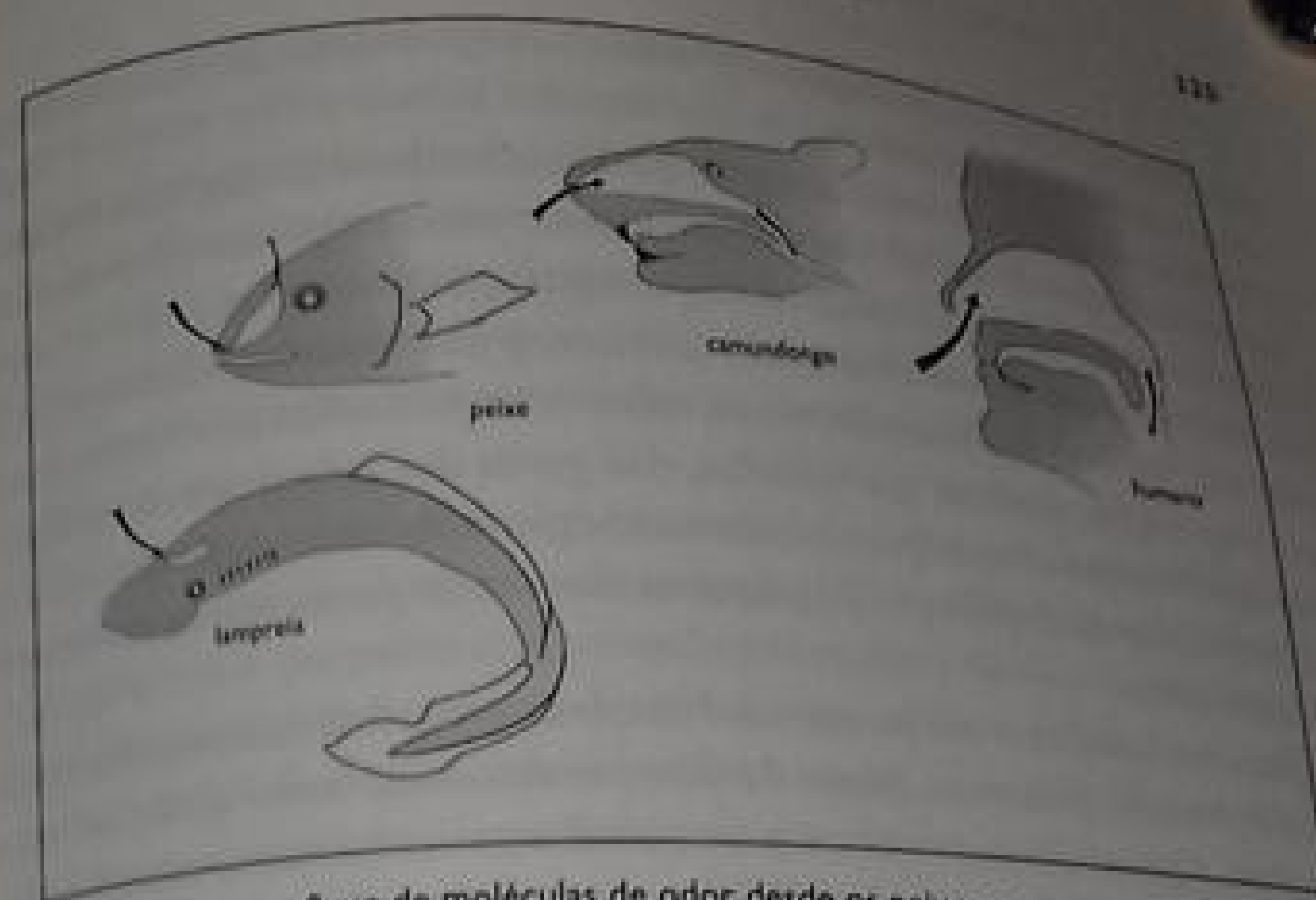
Linda e Richard lançaram mão de três grandes suposições para elaborar suas experiências. Primeiro, vislumbraram uma hipótese racional, baseada no trabalho realizado em outros laboratórios, sobre como devia ser a aparência dos genes que produzem odor. Experiências mostraram que os receptores de odor têm uma estrutura compatível com uma série de alças moleculares que os ajuda a transmitir informações através de uma célula. Essa foi uma ótima pista, pois Linda e Richard puderam então buscar no genoma de um camundongo cada gene responsável por essa estrutura. Em segundo lugar, partiram do princípio de que os genes desses receptores obrigatoriamente teriam uma atividade muito específica – deveriam estar ativos apenas nos tecidos envolvidos com os cheiros. Faz sentido: se algo está envolvido com o olfato, deve ficar restrito aos tecidos especializados nisso. Em terceiro lugar – e essa foi uma grande premissa –, Linda e Richard concluíram que não se tratava apenas de um único gene e nem mesmo de um pequeno punhado deles, era preciso haver muitos desses genes. Essa hipótese baseou-se no fato de que vários tipos diferentes de elementos químicos podem estimular diferentes odores. Se houvesse uma combinação um-para-um entre cada tipo de elemento químico e um receptor/gene especializado nele, seria preciso haver muitos, muitos genes. No entanto, diante dos dados de que os dois dispunham no momento, isso não era necessariamente verdadeiro.



As moléculas (ampliadas muitíssimas vezes) de uma flor viajam pelo ar. Essas moléculas se unem a receptores dentro do revestimento de nossas cavidades nasais. Uma vez grudadas ali, um sinal é enviado ao nosso cérebro. Cada aroma se compõe de várias moléculas diferentes grudadas a diferentes receptores. Nosso cérebro integra esses sinais quando sentimos um cheiro.

As três suposições de Linda e Axel se confirmaram plenamente. Os dois encontraram genes que tinham a estrutura característica do receptor que procuravam. Descobriram que todos esses genes estavam ativos apenas nos tecidos envolvidos com o olfato, o epitélio olfativo. E, finalmente, descobriram um número enorme desses genes. Foi um golaço. Linda e Richard descobriram algo fantástico: 3% de todo o nosso genoma é dedicado a genes para detecção de odores diferentes. Cada um deles cria um receptor para uma molécula de odor. Por esse trabalho, Linda Buck e Richard Axel dividiram o Prêmio Nobel em 2006.

As coisas ficaram realmente interessantes quando houve quem começasse a pesquisar genes de receptor olfativo em outras espécies. Acontece que tais genes são um registro vivo de algumas das maiores transições na história da vida. Tomemos a transição da água para a terra, há mais de 365 milhões de anos. Existem dois tipos de genes olfativos: um é especializado em identificar os aromas químicos na água, enquanto a especialidade do outro é o ar. A rea-



Orifícios nasais e o fluxo de moléculas de odor desde os peixes sem mandíbula até o homem.

ção química entre a molécula do odor e o receptor é diferente na água e no ar, daí a necessidade de receptores ligeiramente diferentes. Como seria de esperar, os peixes possuem receptores baseados em água em suas terminações nervosas nasais, enquanto os dos mamíferos e répteis são baseados no ar.

A história fica mesmo interessante quando observamos os peixes sem mandíbula, como as lampreias e os congros. Acontece que essas criaturas não possuem, ao contrário de peixes e mamíferos mais avançados, nem genes baseados "em ar" nem genes baseados "em água". Seus receptores combinam ambos os tipos. A implicação é clara: esses peixes primitivos surgiram antes que os genes do olfato se dividissem em dois tipos.

Os peixes desprovidos de mandíbula revelam outro ponto muito importante: eles têm um número muito pequeno de genes de odor. Peixes ósseos têm mais, e anfíbios e répteis mais ainda. O número de genes de odor aumentou com o tempo, de relativamente poucos nas criaturas primitivas, como os peixes sem mandíbula, para o enorme número observado nos mamíferos. Os mamíferos com mais de mil desses genes, dedicam uma enorme parte de todo o seu aparelho genético apenas ao olfato. Supostamente, quanto mais desses genes um animal possui, maior seu talento para discernir diferentes tipos de cheiros. Sob esse prisma, nosso grande número de genes de odor faz sentido – nossos irmãos mais peludos são altamente especializados

em farejar animais. Nenhuma surpresa aí, basta pensar no quanto podem ser úteis os cães rastreadores.

Mas de onde vêm todos os nossos genes extras de odor? Será que simplesmente surgiram do nada? Como tal expansão ocorreu parece óbvio quando observamos a estrutura dos genes. Se compararmos os genes de odor de um mamífero com o punhado deles existente num peixe destituído de mandíbula, os genes "extras" dos mamíferos são todos variações sobre um mesmo tema: parecem cópias, embora modificadas, dos genes dos peixes sem mandíbula. Isso significa que o nosso grande número de genes de odor surgiu por meio de várias rodadas de duplicação do pequeno número de genes presente nas espécies primitivas.

Isso nos conduz a um paradoxo. Nós, humanos, dedicamos cerca de 3% de todo o nosso genoma a genes de odor, exatamente como qualquer outro mamífero. Quando observaram a estrutura dos genes humanos mais detalhadamente, os geneticistas se viram diante de uma grande surpresa: trezentos desses três mil genes ficaram totalmente sem função devido a mutações que alteraram irreparavelmente suas estruturas (outros mamíferos fazem uso desses genes). Por que desenvolver tantos genes, já que muitos deles acabam se tornando inteiramente inúteis?

Os golfinhos e as baleias, por incrível que pareça, oferecem um insight que nos ajuda a resolver esse enigma. Como todos os mamíferos, os golfinhos e as baleias possuem pêlos, mamas e um ouvido médio com três ossos. Sua história mamífera também está registrada em seus genes olfativos: faltando-lhes os genes especializados em água como os dos peixes, os cetáceos têm genes mamíferos especializados em ar. Isso não surpreende, embora forneça indícios que apontam para suas origens mamíferas. O que é interessante é que os golfinhos e as baleias não mais utilizam suas passagens nasais para sentir cheiros. A antiga passagem nasal foi modificada e se tornou um espiráculo,¹ usado para respirar, não para sentir cheiro. Isso teve um efeito notável sobre os genes olfativos: todos os genes de odor de um cetáceo estão presentes, mas nenhum funciona.

O que aconteceu com os genes de odor dos golfinhos e das baleias também acontece com genes de várias outras espécies. As mutações surgem inesperadamente nos genomas, de geração para geração. Se uma mutação nocauteia a função de um gene, o resultado pode ser letal ou perigoso, mas o que

acontece quando uma mutação nocauteia a função de um gene que não faz nada? Existem várias teorias matemáticas que afirmam o óbvio: essas mutações simplesmente passarão em silêncio de geração para geração. E exatamente o que aparentemente aconteceu no caso dos golfinhos. Seus genes de odor desativaram suas funções meramente se acumularam ao longo do tempo. Os genes não têm função, mas continuam presentes no DNA como registros silenciosos de evolução.

No entanto os humanos têm um sentido de olfato. Por que então tantos dos nossos genes de odor foram desativados? Yoav Gilad e seus colegas responderam a essa pergunta comparando genes entre diferentes primatas. Ele descobriu que os primatas que desenvolveram visão colorida costumam ter grande quantidade de genes de odor desativados. A conclusão é óbvia. Nós, humanos, pertencemos a uma linhagem que trocou o olfato pela visão. Dependemos agora mais da visão do que do olfato, e isso se reflete no nosso genoma. Nessa troca, nosso sentido do olfato foi "desenfaturado", e muitos dos nossos genes olfativos perderam suas funções.

Carregamos um bocado de bagagem no nariz – ou, mais precisamente, no DNA que controla o nosso olfato. Nossas centenas de genes olfatórios são sobras dos ancestrais mamíferos que dependiam mais do olfato para sobreviver. Na verdade, podemos aprofundar ainda mais tais comparações. Como fotocópias que perdem a sua fidelidade conforme vão sendo repetidamente copiadas, nossos genes olfativos se tornam menos parecidos quando os comparamos aos de criaturas sucessivamente mais primitivas. Nossos genes são similares aos dos primatas, menos similares aos de outros mamíferos, menos similares aos dos répteis, dos anfíbios, dos peixes, e daí por diante. Essa bagagem é uma testemunha silenciosa do nosso passado. Dentro do nariz humano existe uma genuína árvore da vida.

¹Nota da Revisora Técnica: Ou respiradouro.

VISÃO

Uma única vez em toda a minha carreira encontrei o olho de uma criatura fóssil. Não foi durante uma expedição de campo. Eu estava nos fundos de uma loja de minerais numa cidadezinha no nordeste da China. Meu colega Gao Keqin e eu estudávamos as mais antigas salamandras conhecidas, belos fósseis coletados em rochas chinesas com cerca de 160 milhões de anos. Tínhamos acabado de encerrar uma expedição de coleta em alguns sítios que Gao conhecia. Os locais eram secretos, pois esses fósseis de salamandra têm grande valor monetário para os fazendeiros, que são os indivíduos que costumam encontrá-los. O que os torna especiais é que as impressões de tecidos moles, como brânquias, vísceras e a notocorda, em geral se encontram preservadas. Colecionadores particulares os adoram porque fósseis dessa qualidade são extremamente raros. Quando afinal aportamos na loja de minerais, Gao e eu já havíamos coletado para nós mesmos um bom número de salamandras antigas de rara beleza nos locais por ele indicados.

Esse negociante de minerais havia posto as mãos em um dos melhores fósseis de salamandra de todos os tempos. Gao queria que o vissemos e passou a maior parte do dia tentando acertar o negócio. A visita em si exalava um clima geral de ilicitude. Gao passou várias horas fumando com o cavalheiro, falando e gesticulando em chinês. Sem dúvida havia algum tipo de barganha em andamento, mas não entendendo chinês, eu não fazia idéia das propostas mútuas. Após várias reverências de cabeça e, por fim, um longo aperto de mão, me permitiram ir até a salinha dos fundos e admirar um fóssil sobre a mesa do lojista. Foi uma visão impressionante: o corpo de uma larva de salamandra,

com meras três polegadas de comprimento. Nele, dava para ver impressões do animal inteiro, até as pequenas conchas que haviam constituído sua última refeição. E, pela primeira e única vez na minha carreira, eu estava diante do olho de um antigo fóssil animal.

Os olhos raramente chegam ao registro fóssil. Como já vimos, os melhores candidatos à preservação como fósseis são as partes duras dos animais — os ossos, dentes e escamas. Busquemos uma abordagem melhor. Existe uma diversidade notável de órgãos e tecidos que os animais utilizam para captar luz, desde simples órgãos fotorreceptores nos invertebrados até os olhos compostos de vários insetos, além do nosso próprio olho tipo câmera. Como fazer uso dessa variação para entender como a nossa capacidade de enxergar se desenvolveu ao longo do tempo?

A história dos nossos olhos se parece muito com a de um carro. Tome-mos, por exemplo, um Chevrolet Corvette. Podemos rastrear a história do modelo como um todo — o Corvette —, bem como a história de cada uma de suas partes. O Corvette tem uma história, que começa com suas origens em 1953 e prossegue através dos diferentes modelos criados a cada ano. Os pneus usados no Corvette também têm uma história, assim como a borracha utilizada em sua fabricação. Isso fornece uma ótima analogia para corpos e órgãos. Nossos olhos possuem uma história na condição de órgãos, mas o mesmo acontece com as partes componentes dos olhos, as células e tecidos, bem como os genes que fabricam essas partes. Quando identificamos essas múltiplas camadas de história em nossos órgãos, entendemos que somos simplesmente um mosaico de pedacinhos encontrado em praticamente tudo que existe no planeta.

Boa parte do processamento das imagens que vemos acontece, com efeito, no interior do nosso cérebro: o papel do olho é captar luz de uma forma que ela possa ser levada ao cérebro para ser processada como imagem. Os nossos olhos, como os de todas as criaturas dotadas de crânio e coluna vertebral, são pequenas câmeras. Depois que a luz exterior penetra no olho, ela é projetada em uma tela atrás do globo ocular. A luz viaja através de várias camadas enquanto atravessa esse caminho. Primeiro, passa pela córnea, uma fina camada de tecido claro que cobre o cristalino. A quantidade de luz que penetra no olho é controlada por um diafragma, chamado íris, que se abre e contrai pela ação de músculos involuntários. A luz passa então através do cristalino, que, como faz uma câmera, foca a imagem. Músculos minúsculos cercam o cristalino; conforme se contraem, esses músculos alteram o formato do cristalino, focan-

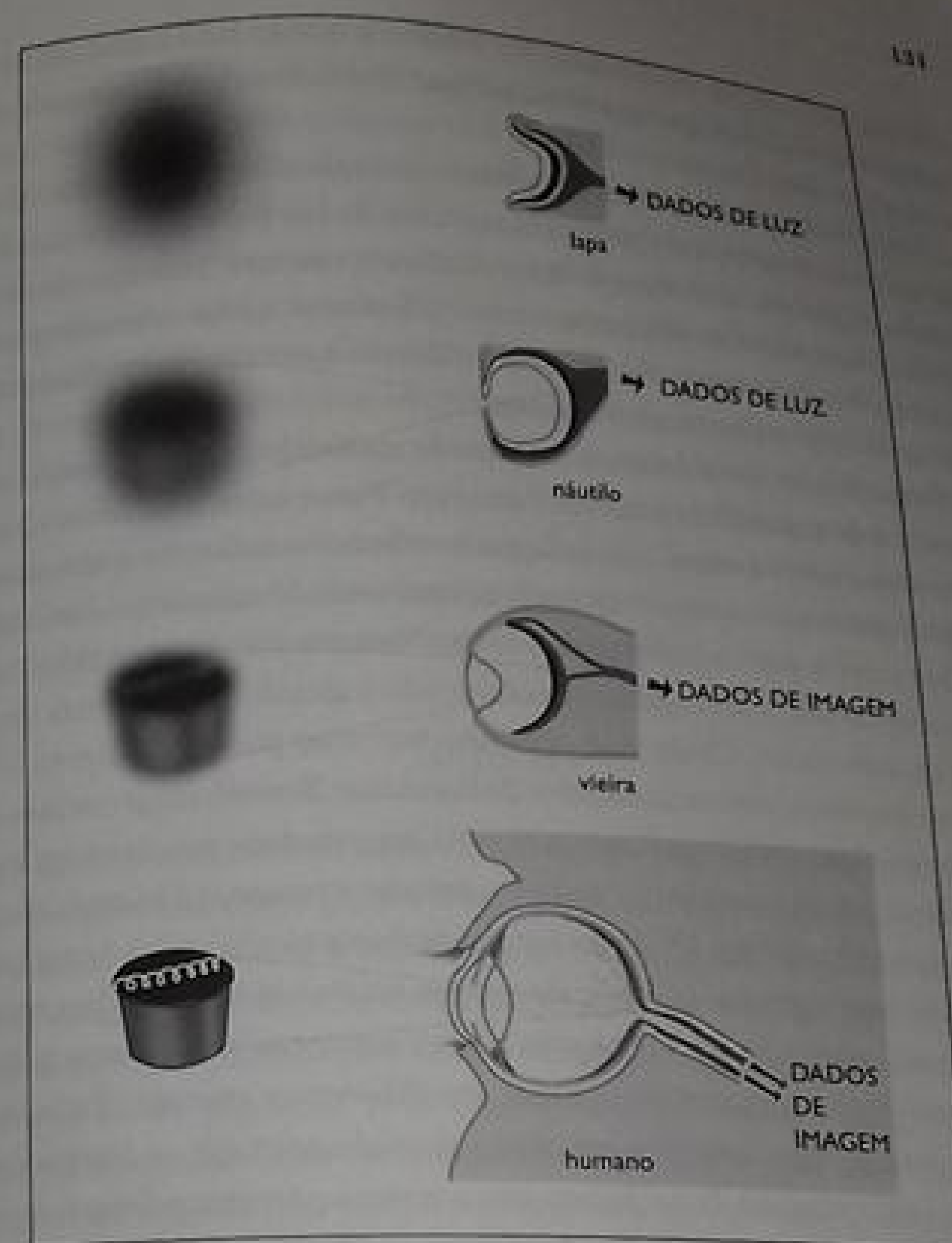
do, assim, imagens próximas e distantes. Um cristalino saudável é claro e constituído de proteínas especiais que lhe conferem seu formato característico e a propriedade de captar luz. Essas proteínas, conhecidas como cristalinas, têm vida excepcionalmente longa, permitindo que a lente do cristalino continue funcionando quando envelhecemos. A tela em que toda a luz é projetada, a retina, é carregada de vasos sanguíneos e receptores de luz. Esses receptores de luz enviam sinais para o nosso cérebro por meio de células coletoras sensíveis à luz. Existem dois tipos dessas células fotossensíveis: um é muito sensível à luz, o outro, menos. As células mais sensíveis registram apenas em preto-e-branco; as menos sensíveis registram em cores.¹ Se olharmos à volta o mundo animal, podemos determinar quais os animais especializados em luz diurna e os especializados em luz noturna observando os percentuais de cada tipo de célula sensível à luz existentes em seus olhos. Nos humanos, como em outras criaturas, essas células respondem por cerca de 70% de todas as células sensoriais no corpo. Isso é uma comprovação do quanto a visão é importante para nós.

Nosso olho tipo câmera é comum a toda criatura dotada de crânio, desde os peixes até os mamíferos. Em outros grupos de animais, encontramos todo tipo de olhos diferentes, desde simples fragmentos de células especializadas em detectar luz até olhos com cristalino composto como os das moscas, passando por versões remotas do nosso próprio olho. A chave para entender a história dos nossos olhos é entender a relação entre as estruturas que produzem o nosso olho-câmera e aquelas que produzem todos os demais tipos de olhos. Para isso, estudaremos as moléculas que captam luz, os tecidos que utilizamos para enxergar e os genes que produzem a coisa toda.

AS MOLÉCULAS COLETORAS DE LUZ

O trabalho realmente importante nas células coletoras de luz ocorre dentro da molécula que efetivamente capta a luz. Quando absorve luz, essa molécula muda de formato e se fragmenta em duas partes. Uma deriva da vitamina A, a outra, de uma proteína conhecida como opsina. Quando se fragmenta, a opsina dá início a uma reação em cadeia que induz o envio de um impulso por um neurônio para o cérebro. Usamos opsinas diferentes para enxergar em pre-

¹Nota da Revisora Técnica: Estas células são denominadas, respectivamente, cones e bastonetes.



Os olhos adquirem foco: dos dispositivos primitivos de captação de luz em invertebrados ao nosso olho do tipo câmera com um cristalino. Conforme os olhos evoluem, a precisão visual aumenta.

to-e-branco e em cores. Assim como uma impressora a jato de tinta precisa de três a quatro tintas para imprimir as cores, precisamos de três moléculas coletoras de luz para enxergar em cores. Para a visão em preto-e-branco utilizamos apenas uma.

Essas moléculas coletoras de luz mudam de formato sob a luz e depois se recarregam no escuro e voltam ao seu estado normal. O processo leva alguns minutos. Todos sabemos disso por experiência própria: quando saímos de um lugar muito claro e entramos numa sala escura, é praticamente impossi-

vel enxergar objetos indistintos. O motivo é que as moléculas coletoras de luz precisam de tempo para se recarregar. Passados alguns minutos, a visão no escuro retorna.

Apesar da impressionante variedade de órgãos fotorreceptores, todo animal usa o mesmo tipo de molécula coletora de luz para exercer essa função. Insetos, humanos, moluscos e vieiras utilizam opsinas. Não apenas podemos rastrear a história dos olhos através das diferenças na estrutura de suas opsinas, como também temos bons indícios de que nos cabe, para começar, agradecer às bactérias por essas moléculas.

Basicamente, uma opsina é um tipo de molécula que carrega informações do exterior de uma célula para o seu interior. Para executar tal feito, ela precisa levar um elemento químico através da membrana celular. As opsinas utilizam um tipo especial de condutor que adota uma série de curvas e voltas conforme viaja do exterior para o interior da célula. No entanto, esse caminho tortuoso que o receptor faz pela membrana celular não é aleatório — ele revela uma assinatura característica. Onde esse caminho tortuoso pode ser observado? Ele é idêntico a partes de certas moléculas de bactérias. Semelhanças comuns e muito precisas nessas moléculas sugerem uma propriedade muito antiga de todos os animais e que se estende por todo o caminho e remonta à história que partilhemos com as bactérias. De certa forma, pedaços modificados de antigas bactérias estão presentes no interior de nossas retinas nos ajudando a enxergar.

Podemos mesmo rastrear alguns acontecimentos importantes na história dos nossos olhos examinando opsinas em diferentes animais. Tomemos um dos principais acontecimentos em nosso passado primata — o desenvolvimento da rica visão colorida. Nós, humanos, e nossos parentes primatas mais próximos, os macacos do Velho Mundo, temos um tipo bastante detalhado de visão colorida que depende de três tipos distintos de receptores de luz. A maioria dos outros mamíferos possui apenas dois tipos de receptores e por isso não é capaz de identificar tantas cores quanto as que identificamos. Acontece que podemos rastrear a origem da nossa visão colorida observando os genes que produzem os receptores. Os dois tipos de receptores que a maioria dos mamíferos possui são produzidos por dois tipos de genes. Dos nossos três genes produtores de receptores, dois se parecem muitíssimo com aqueles dos outros mamíferos. Isso aparentemente implica que a nossa visão colorida teve início quando um desses genes em outros mamíferos se duplicou e essas cópias se especializaram, com o tempo, em diferentes fontes de luz. Como você se lembrará, algo similar aconteceu com os genes do receptor de odor.

Essa guinada talvez esteja relacionada à mudança na flora da Terra há 55 milhões de anos. Vale a pena imaginar qual a serventia provável da visão colorida quando ela surgiu pela primeira vez. Os macacos que viviam em árvores seriam beneficiados, pois a visão colorida lhes permitiria distinguir melhor os vários tipos de frutas e folhas e escolher as mais nutritivas entre todas. A partir do estudo de outros primatas que possuem visão colorida, podemos calcular que o nosso tipo de visão colorida surgiu há cerca de 55 milhões de anos. Nessa época encontramos indícios fósseis de alterações na composição de florestas antigas. Antes disso, as florestas eram ricas em figueiras e palmeiras, que geram frutos saborosos, mas têm cores mais ou menos idênticas. Florestas posteriores passaram a abrigar uma diversidade maior de plantas, provavelmente com cores diferentes. Soa válido apostar que a virada para a visão colorida tenha a ver com a guinada de uma floresta monocromática para outra com uma palheta de cores mais rica em termos de alimentos.

TECIDOS

Os olhos animais vêm em dois sabores: um deles é visto nos invertebrados, outro, nos vertebrados, como peixes e humanos. A idéia central é que existem duas maneiras de aumentar a superfície coletora de luz no tecido ocular. Os invertebrados, como as moscas e os vermes, conseguem isso por meio de várias dobras no tecido, enquanto a nossa linhagem expande a área de superfície por meio de várias pequenas projeções que se estendem a partir do tecido como pequenas cerdas. Uma variedade de outras diferenças também se refere a esses diversos tipos de desenho. Sem os fósseis talvez nunca fôssemos capazes de conectar as diferenças entre os nossos olhos e os dos invertebrados, isto é, até 2001, quando Detlev Arendt decidiu estudar os olhos de um vermezinho muito primitivo.

Os poliquetas se encontram entre os mais primitivos vermes vivos que conhecemos. Têm um projeto corporal segmentado muito simples e também possuem dois tipos de órgãos sensíveis à luz: um olho e, enterrado na pele, uma parte de seu sistema nervoso, cuja especialidade é captar luz. Arendt desmontou esses vermes, tanto física quanto geneticamente. O conhecimento da sequência genética dos nossos genes opsina e da estrutura dos nossos neurônios coletores de luz forneceu a Arendt as ferramentas para estudar como são feitos os poliquetas. Ele descobriu que estes possuíam elementos de ambos os tipos de fotorreceptores animais. O “olho” normal era feito de neurônios e op-

sinas, como o olho de qualquer invertebrado. Os minúsculos fotorreceptores sob a pele eram outra história. Eles tinham opsinas “dos vertebrados”, e estrutura celular com pequenas projeções semelhantes a cerdas, mas numa forma primitiva. Arendt descobriu uma ponte viva, um animal com ambos os tipos de olhos, um dos quais – o do nosso tipo – existia numa forma muito primitiva. Quando observamos invertebrados primitivos, descobrimos que os diferentes tipos de olhos animais compartilham partes comuns.

GENES

A descoberta de Arendt levou a outra pergunta. Uma coisa é o fato de os olhos partilharem partes comuns, mas como olhos de aparência tão diferente – como os de vermes, moscas e camundongos – podem estar intimamente relacionados? Para responder, consideremos a receita genética que fabrica os olhos.

Na virada do século XX, Mildred Hoge registrava mutações em moscas-das-frutas quando descobriu uma mosca totalmente destituída de olhos. Essa mosca-mutante não representava um caso isolado, e Hoge se deu conta de que era possível criar toda uma linhagem delas, que batizou de *cegas*. Mais tarde, uma mutação similar foi descoberta em camundongos. Alguns indivíduos têm olhos pequenos, noutros faltam porções inteiras da cabeça e da face, incluídos aí os olhos. Uma anomalia similar em humanos é conhecida como aniridia. Aos afetados por ela faltam boas porções dos olhos. Nessas criaturas muito diferentes – moscas, camundongos e humanos – os geneticistas estavam encontrando tipos semelhantes de mutantes.

Um grande avanço se deu no início dos anos 90, quando os laboratórios aplicaram novas técnicas moleculares a mutantes cegos. Mapeando os genes, foi possível localizar os pedacinhos de DNA nas mutações. Sequenciado o DNA, descobriu-se que os genes da mosca, do camundongo e dos humanos responsáveis pelos mutantes *cegos* possuíam estruturas e seqüências de DNA similares. Em um sentido muito real, tratava-se do mesmo gene.²

O que aprendemos com isso? Os cientistas haviam identificado um único gene que, ao sofrer mutação, produzia criaturas com olhos pequenos ou destituídas de olhos. Isso significava que a versão normal do gene era um gatilho importante para a formação de olhos. Abria-se a oportunidade de realizar expe-

riências para levantar um tipo totalmente novo de indagação. O que acontece quando mexemos com o gene, ativando-o e desativando-o nos lugares errados? As moscas eram cobaias ideais para esse trabalho. Durante os anos 80, várias ferramentas genéticas muito potentes foram desenvolvidas por meio de experiências com moscas. Se você conhecesse um gene, ou uma seqüência de DNA, era possível produzir uma mosca à qual faltasse o gene ou, o contrário, uma mosca com o gene ativo nos lugares errados.

Empregando tais ferramentas, Walter Gehring começou a realizar experimentos com o gene *Eyeless*. Os membros da sua equipe conseguiram tornar ativo o DNA do gene *Eyeless* em praticamente em todos os lugares onde quiseram: nas antenas, nas pernas, nas asas. Ao fazê-lo, esses cientistas descobriram algo impressionante. Se ativassem o gene *Eyeless* nas antenas, um olho crescia ali. Se ativassem o mesmo gene num segmento do corpo, ali se desenvolvia um olho. Em todos os lugares em que ativavam o gene, surgia um novo olho. Para coroar, alguns dos olhos mal localizados demonstravam uma capacidade congênita para reagir à luz. Gehring havia descoberto um agente de peso na formação dos olhos.

As coisas ficaram de fato interessantes quando o laboratório de Gehring trocou os genes entre espécies. Eles pegaram o equivalente do *Eyeless* nos camundongos, o *Pax 6*, e o ativaram numa mosca. O gene do camundongo produziu um olho. E não apenas um olho qualquer, mas um olho de mosca. O laboratório de Gehring descobriu que era possível usar o gene do camundongo para detonar a formação de um olho extra de *mosca* em qualquer lugar: nas costas, numa asa, próximo à boca. O que Gehring descobriu, isso sim, foi um comutador mestre para o desenvolvimento de olhos que, tanto no camundongo quanto na mosca, era precisamente o mesmo. Esse gene, o *Pax 6*, deu início a uma complexa reação em cadeia de atividade genética que acabou levando a um novo olho de mosca.

Sabemos agora que o gene *Eyeless*, ou *Pax 6*, controla o desenvolvimento em todo ser dotado de olhos. Os olhos podem ter aparência diferente – alguns com cristalino, outros sem, alguns compostos, outros simples –, mas as guinadas genéticas que os produzem são as mesmas.

Esqueça o romantismo, a inspiração e as janelas para a alma. Quando olhar no olho de alguém, com suas moléculas, genes e tecidos derivados de micróbios, águas-vivas, vermes e moscas, você verá um zoológico inteiro.

²Nota da Revisora Técnica: Batizado de gene *Eyeless*.

AUDIÇÃO

A primeira vez que observamos o interior do ouvido temos uma decepção: a verdadeira maquinaria está profundamente escondida dentro do crânio, encerrada numa parede óssea. Quando se abre o crânio e se remove o cérebro, é preciso cortar com formão para retirar essa parede. Se você for realmente muito bom ou tiver bastante sorte, vai dar o golpe certo e vê-lo: o ouvido interno. Ele se parece àqueles pequenos caracóis que costumamos encontrar na terra do nosso jardim.

O ouvido pode não parecer grande coisa, mas é uma maravilhosa engenhoca de Rube Goldberg. Quando ouvimos, as ondas de som são canalizadas na aba exterior, o ouvido externo. As ondas sonoras penetram no ouvido e fazem a membrana timpânica vibrar. A membrana timpânica está presa a três ossículos, que balançam com ela. Um desses ossículos se encontra preso à estrutura em caracol por uma espécie de êmbolo. O balanço do osso do ouvido faz o êmbolo subir e descer. Isso movimenta uma parte do gel dentro do caracol. O gel em movimento curva os nervos, que enviam um sinal ao cérebro, que o interpreta como um som. Da próxima vez que você for a um concerto, imagine toda essa coisa voando dentro da sua cabeça.

Essa estrutura nos permite distinguir três partes no ouvido: externa, média e interna. O ouvido externo é a parte visível. O médio contém os ossículos do ouvido. Finalmente, o ouvido interno compreende os nervos, o gel e os tecidos que os circundam. Esses três componentes do ouvido nos permitem estruturar a nossa abordagem de forma bastante conveniente.



Das três partes do nosso ouvido, externa, média e interna, o ouvido interno é a mais antiga e aquela que controla os impulsos nervosos enviados ao cérebro.

A parte do ouvido que podemos ver, a aba onde empoleiramos os óculos, é um acréscimo evolutivo relativamente novo no corpo. Confirme isso em sua próxima visita ao zoológico ou a um aquário. Quantos tubarões, peixes ósseos, anfíbios e répteis possuem ouvidos externos? O pavilhão auricular – a aba do ouvido externo – só é encontrado em mamíferos. Alguns anfíbios e répteis possuem ouvidos externos visíveis, mas não têm pavilhão auricular. Quase sempre o ouvido externo não passa de uma membrana que lembra a superfície de um tambor.

A elegância do nosso vínculo com os tubarões e peixes ósseos se revela quando olhamos o interior dos nossos ouvidos. Os ouvidos parecem um local improvável para situar um vínculo ser humano-tubarão, principalmente porque os tubarões não os possuem. Mas essa conexão existe, começemos com os ossos do ouvido.

O OUVIDO MÉDIO – OS TRÊS OSSOS DO OUVIDO

Os mamíferos são muito especiais. Com pêlos e glândulas produtoras de leite, podemos ser facilmente diferenciados de outras criaturas. Muita gente se surpreende ao descobrir que alguns dos traços mais característicos dos mamíferos residem no interior do ouvido. Os ossos do ouvido médio dos mamíferos não se comparam aos de nenhum outro animal: os mamíferos possuem três ossos, enquanto os répteis e anfíbios têm apenas um. Os peixes não têm nenhum. De onde vieram os ossos do nosso ouvido médio?

Um pouco de anatomia: recordemos que os três ossos do nosso ouvido médio são conhecidos como martelo, bigorna e estribo. Como já vimos, cada

um deles derivou dos arcos branquiais: o estribo, do primeiro arco, e o martelo e a bigorna, do segundo. É aqui que começa a nossa história.

Em 1837, o anatomista alemão Karl Reichert procurava embriões de mamíferos e répteis para entender como é formado o crânio. Ele acompanhou os arcos branquiais de diferentes espécies para entender onde estes terminavam nos vários crânios. Ao repetir vez após vez a operação, descobriu que a comparação réptil-mamífero não fazia sentido algum: dois dos ossos do ouvido nos mamíferos correspondiam a pedaços da mandíbula nos répteis. Reichert não acreditou no que estava vendo e a sua dissertação revelou seu entusiasmo. Ao descrever a comparação com o ouvido-mandíbula, sua prosa vai de uma descrição calma e normal da anatomia do século XIX e passa a expressar espanto e surpresa em relação à sua descoberta. A conclusão era inescapável: o mesmo arco branquial que formava parte da mandíbula de um réptil era responsável pela formação de ossos do ouvido nos mamíferos. Reichert defendeu uma idéia na qual ele próprio pouco acreditava: as partes dos ouvidos dos mamíferos seriam o mesmo que as mandíbulas dos répteis. Tudo se complica quando nos damos conta de que Reichert defendeu tal teoria décadas antes que Darwin apresentasse a dele. O que significa chamar estruturas em duas espécies diferentes de "as mesmas" sem uma noção de evolução?

Muito mais tarde, em 1910 e 1912, o anatomista alemão Ernst Gaupp retomou o trabalho de Reichert e publicou um estudo exaustivo sobre a embriologia dos ouvidos dos mamíferos. Gaupp forneceu mais detalhes e, considerada a época, interpretou o trabalho de Reichert dentro de um contexto evolutivo. A história de Gaupp era a seguinte: os três ossos do ouvido médio revelam o vínculo entre os répteis e os mamíferos. O único osso existente no ouvido médio do réptil equivale ao estribo dos mamíferos; ambos derivam do segundo arco. A informação explosiva, porém, era a de que os outros dois ossos do ouvido médio dos mamíferos – o martelo e a bigorna – evoluíram de ossos existentes na parte posterior da mandíbula do réptil. Se fosse esse realmente o caso, o registro fóssil deveria mostrar ossos se deslocando da mandíbula para o ouvido à época da origem dos mamíferos. O problema é que Gaupp trabalhou apenas com criaturas vivas e não reconheceu devidamente o papel que os fósseis poderiam ter em sua teoria.

A partir da década de 1840, uma série de novos tipos de criaturas fósseis foi sendo conhecida graças às descobertas na África do Sul e na Rússia. Em geral muito bem preservados, esqueletos inteiros de animais do tamanho de cães estavam sendo desenterrados. À medida que eram descobertos, alguns deles

foram encaixotados e despachados por navio para o grande Richard Owen, em Londres, para identificação e análise. Owen se impressionou porque essas criaturas apresentavam uma mistura de características. Partes do esqueleto de cada uma pareciam pertencer a répteis, outras partes – em especial os dentes – lembravam as de mamíferos. E essas não foram descobertas isoladas. Na verdade esses "répteis de aparência mamífera" estavam abundantemente preservados no registro fóssil. Não apenas eram muito comuns, como havia vários tipos deles. Nos anos posteriores a Owen, esses répteis de aparência mamífera surgiram em outros lugares do mundo, oriundos de diferentes períodos na história da Terra. Constituíram no registro fóssil uma bela série de transição entre répteis e mamíferos.

Até 1913, os embriologistas e paleontólogos trabalhavam separados uns dos outros. Nessa época, o paleontólogo americano W. K. Gregory, do Museu Americano de História Natural, viu um elo importante entre os embriões de Gaupp e os fósseis africanos. O mais reptiliano dos répteis de aparência mamífera possuía apenas um único osso em seu ouvido médio; como outros répteis, sua mandíbula era composta de muitos ossos. Algo notável veio à luz quando Gregory observou répteis de aparência mamífera, algo que teria feito Reichert desmaiar se estivesse vivo: uma série de formas demonstrou, sem nenhuma dúvida, que os ossos na parte posterior da mandíbula reptiliana com o tempo se tornaram cada vez menores até finalmente se encaixarem no ouvido médio dos mamíferos. O martelo e a bigorna evoluíram de ossos de mandíbula. O que Reichert e Gaupp observaram em embriões estava enterrado no registro fóssil o tempo todo, aguardando apenas ser descoberto.

Por que os mamíferos precisam de um ouvido médio com três ossos? Essa pequena ligação forma um sistema de alavancagem que permite aos mamíferos ouvir sons de frequência mais alta que os sons ouvidos por animais com um único osso no ouvido médio. A origem dos mamíferos envolveu não só novos padrões de mastigação, como vimos no Capítulo 4, mas novas formas de audição. Na verdade, tal guinada foi levada a cabo não pela evolução em si de novos ossos, mas pela reprogramação dos já existentes. Os ossos originalmente usados pelos répteis para mastigar evoluíram nos mamíferos para auxiliar a audição.

Já chega de martelo e bigorna. De onde, porém, vem o estribo?

Se eu meramente lhe mostrasse um humano e um tubarão adultos, você jamais imaginaria que esse ossinho lá no fundo do ouvido humano é a mesma coisa que uma haste grande na mandíbula superior de um peixe. No entanto, em ter-

mos de desenvolvimento, esses ossos são, sim, a mesma coisa. O estribo é um osso do segundo arco, da mesma forma que o osso correspondente num tubarão e num peixe – o hiomandibular. Mas o hiomandibular não é um osso do ouvido; recordemos que os peixes e os tubarões não possuem ouvidos. Nos nossos primos aquáticos, esse osso é uma haste larga que conecta a mandíbula superior (ou maxila) ao crânio. Independentemente das diferenças aparentes nas funções e forma dos ossos, as semelhanças entre o hiomandibular e o estribo também se estendem aos nervos que os suprem. O nervo fundamental para o funcionamento de ambos os ossos é o nervo do segundo arco, o nervo facial. Então, temos uma situação onde dois ossos muito diferentes possuem origem de desenvolvimento e padrões de inervação muito semelhantes. Existe uma explicação para isso?

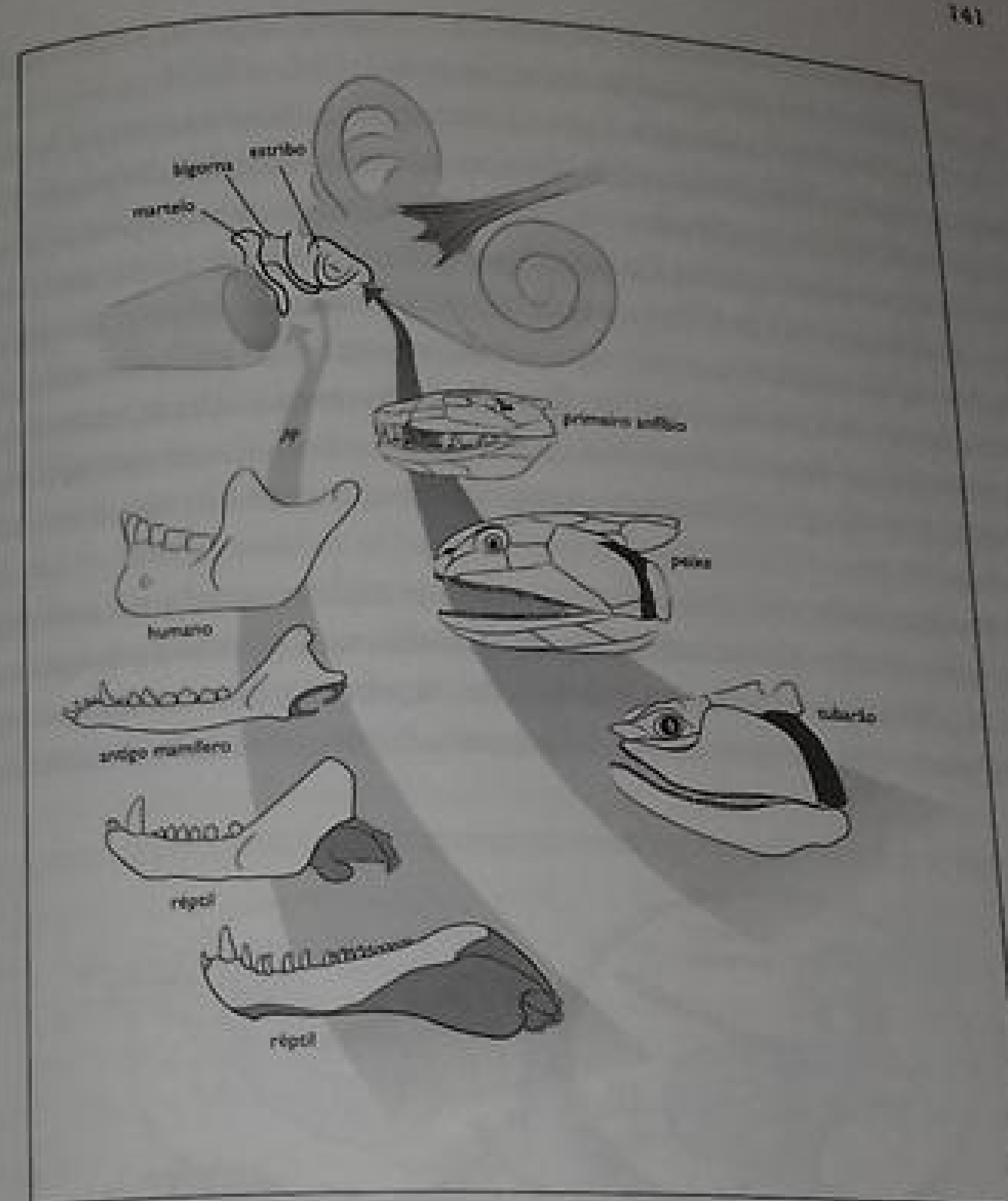
Mais uma vez, observemos os fósseis. Assim como rastreamos o hiomandibular dos tubarões até criaturas como o *Tiktaalik*, passando por anfíbios, poderemos vê-lo ficar cada vez menor e menor, e finalmente trocar de posição, da mandíbula superior, para ter seu papel na audição. O nome também muda. Quando ele é grande e sustenta a mandíbula, nós o chamamos de hiomandibular; quando é pequeno e funciona na audição, é conhecido como estribo. Essa troca acontece quando os descendentes dos peixes começaram a andar na terra. Escutar na água é diferente de escutar na terra, e as pequenas dimensões, bem como a posição do estribo, o tornam ideal para captar vibrações no ar. A nova capacidade surgiu por meio da modificação da mandíbula superior de um peixe.

O nosso ouvido médio contém um registro de duas das grandes transformações na história da vida. A origem do nosso estribo e sua transformação de um osso de sustentação de mandíbula em osso do ouvido teve início quando os peixes começaram a andar na terra. O outro grande acontecimento ocorreu por ocasião da origem dos mamíferos, quando os ossos na parte posterior da mandíbula de um réptil se tornaram os nossos martelo e bigorna.

Penetremos agora mais fundo no ouvido – no ouvido interno.

O OUVIDO INTERNO – O GEL SE MOVENDO E OS PÊLOS SE CURVANDO

Atravessemos o ouvido externo, penetremos mais fundo, além da membrana timpânica e dos três ossos do ouvido médio, para chegar às profundezas do crânio. Ali encontraremos o ouvido interno – tubos e alguns sacos cheios de gel. Nos humanos, como em outros mamíferos, os tubos ósseos apresentam o formato de caracol tão incrivelmente aparente no laboratório de anatomia.



Podemos rastrear os ossos desde os arcos branquiais até os nossos ouvidos, primeiro, durante a transição de peixes para anfíbios, e mais tarde durante a guinada de réptil para mamífero.

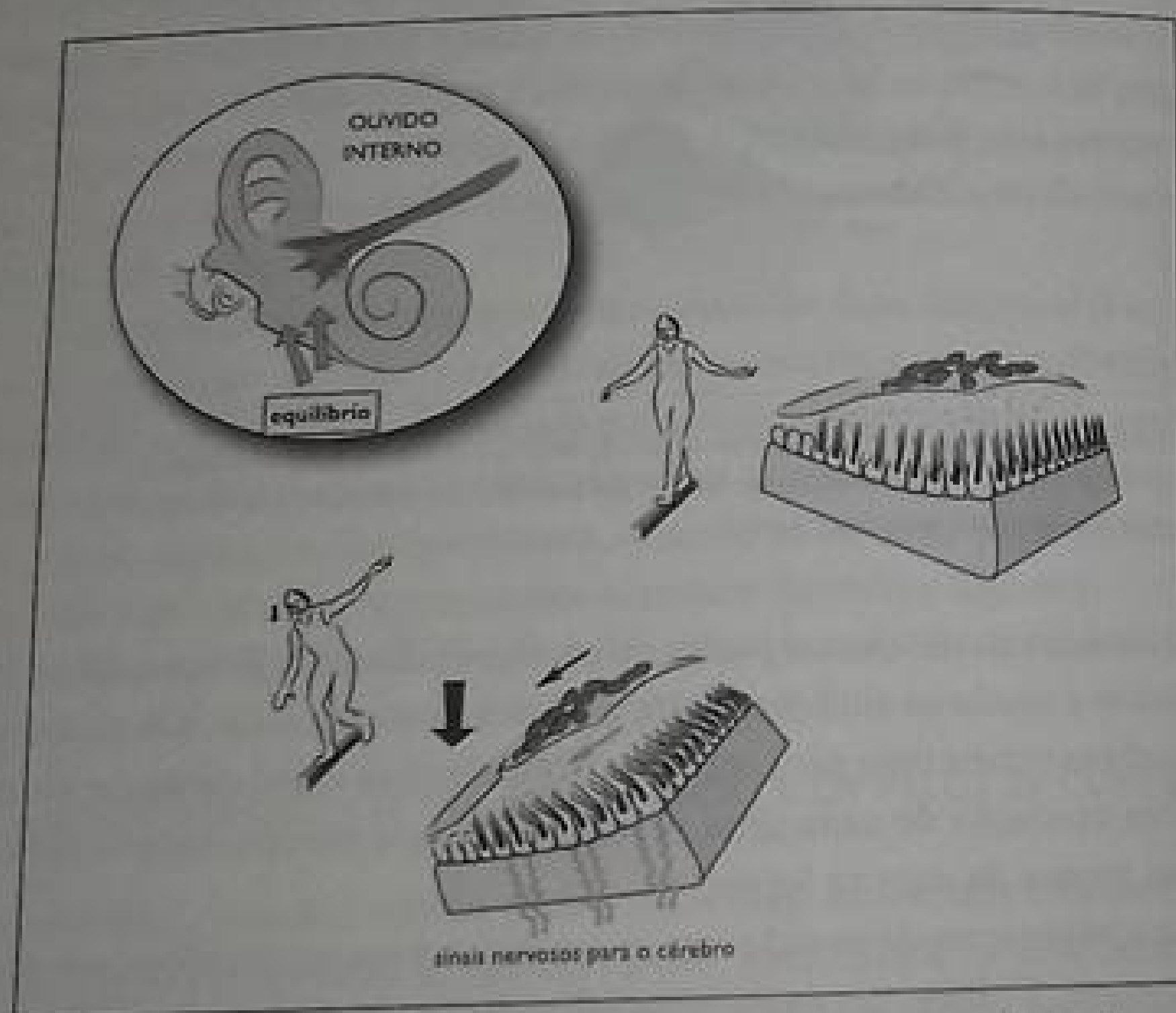
O ouvido interno possui partes diferentes dedicadas a funções diferentes. Uma parte é usada na audição, outra para nos dizer para que lado se inclina a nossa cabeça e mais uma para registrar quão rápido a nossa cabeça se mexe ou pára. Na execução de cada uma dessas funções, o ouvido interno funciona mais ou menos da mesma forma.

As várias partes do ouvido interno se encontram preenchidas com um gel que se mexe. Células nervosas especializadas enviam projeções pilosas para esse gel. Quando o gel se mexe, os pêlos nas extremidades das células nervosas se curvam. Quando isso acontece, as células nervosas enviam um impulso elé-

trico ao cérebro. Dependendo do local para onde tal impulso é enviado, nós o registramos como som, posição ou aceleração.

Para visualizar a estrutura que nos informa onde se encontra a nossa cabeça no espaço, imagine um globo de neve com a Estátua da Liberdade. O globo de neve é feito de plástico e cheio de gel. Quando o balançamos, o gel se mexe e a "neve" cai sobre a Estátua. Agora, imagine um globo de neve feito de uma membrana flexível. Pegue-o na mão e o incline, e tudo vai se agitar, fazendo com que o gel lá dentro balance. Isso, numa escala muito menor, é o que temos dentro dos nossos ouvidos. Quando inclinamos a cabeça, esses dispositivos se agitam, detonando a cadeia habitual de acontecimentos: o gel interior balança, as projeções pilosas nos nervos se curvam e um impulso é enviado ao cérebro.

Em nós, todo esse sistema se torna ainda mais sensível pela presença de minúsculas pedrinhas na superfície da membrana. Quando inclinamos a cabeça, as pedrinhas acentuam a agitação da membrana, provocando um movimento ainda mais intenso do gel. Isso aumenta a sensibilidade do sistema, ca-



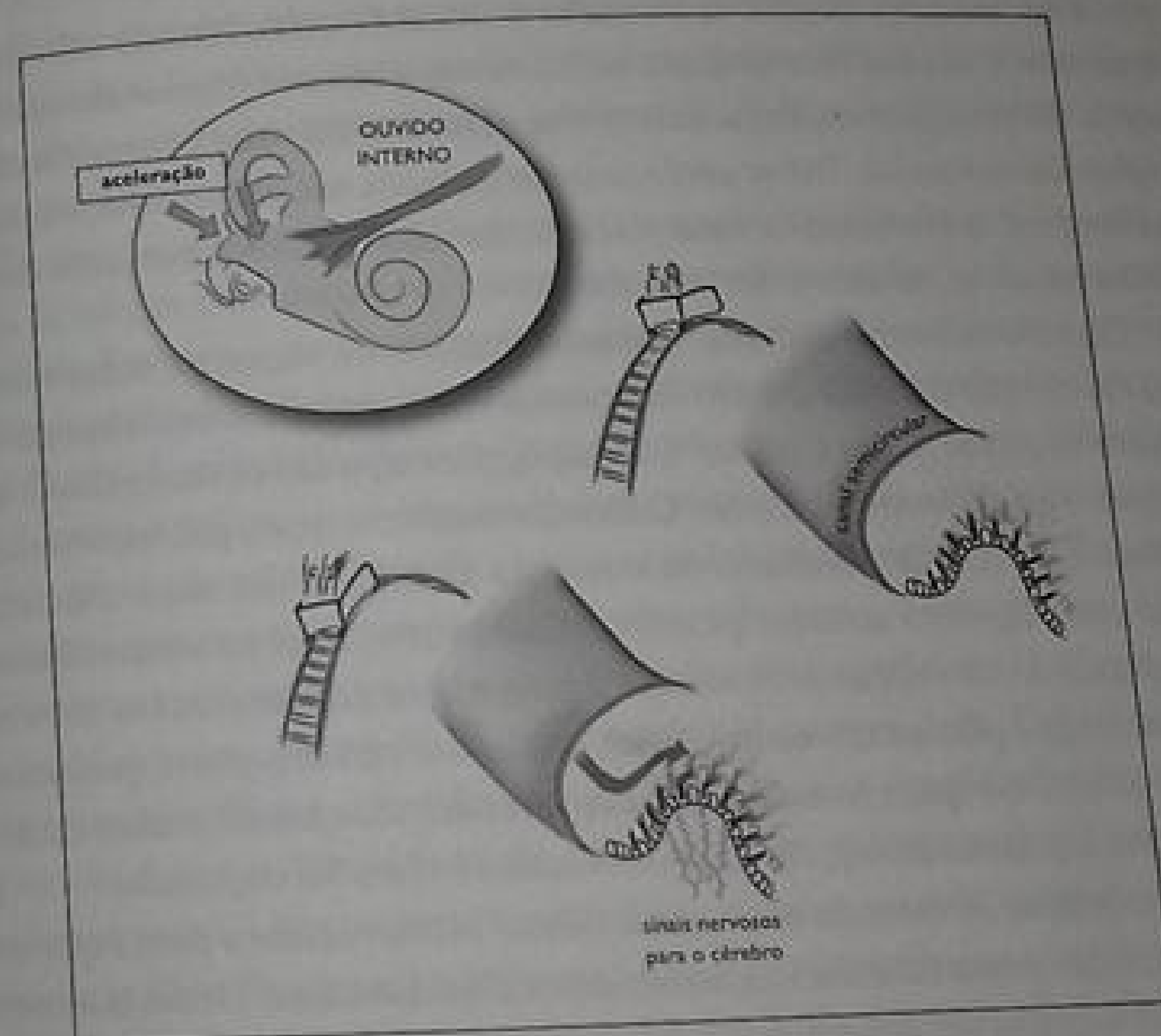
Toda vez que você inclina a cabeça, as minúsculas pedrinhas nos sacos cheios de fluido se mexem. Ao fazê-lo, elas encurvam as terminações nervosas dentro dos sacos, gerando o envio de um impulso para o cérebro.

pacitando-nos a perceber pequenas diferenças de posição. Incline sua cabeça e minúsculas pedrinhas dentro do seu crânio se mexerão.

Você bem pode imaginar como seria difícil viver no espaço sideral. Nossos sensores são sintonizados para funcionar na gravidade da Terra, não numa cápsula espacial destituída de gravidade. Flutuando no ar, com os olhos registrando uma versão de cabeça para cima e de cabeça para baixo e os sensores do nosso ouvido interno totalmente confusos, seria facilímo ficar enjoado. O enjoo espacial tem sido um sério problema justamente por causa disso.

A forma como percebemos a aceleração se baseia em uma outra parte do ouvido interno, ligada às duas anteriores. Existem três tubos cheios de gel dentro do ouvido. Toda vez que aceleramos ou paramos, o gel dentro dos tubos se mexe, encurvando as células nervosas e estimulando uma corrente.

Todo o sistema que utilizamos para perceber posição e aceleração se vincula aos músculos dos nossos olhos. O movimento dos olhos é controlado por oito pequenos músculos presos às paredes laterais do globo ocular. Os músculos se contraem para erguer e baixar o olho, dirigi-lo para a esquerda e para a



Toda vez que aceleramos, o fluido no ouvido interno balança. O balanço se transforma num impulso nervoso que é enviado ao cérebro.

direita. Podemos mexer nossos olhos voluntariamente contraindo esses músculos toda vez que resolvemos olhar numa nova direção, mas algumas das propriedades mais fascinantes desses músculos se referem às suas ações involuntárias. Eles fazem nossos olhos se mexerem o tempo todo, sem que sequer pensemos nisso.

Para constatar a sensibilidade desse vínculo olho-músculo, mexa a cabeça para trás e para frente mantendo os olhos nesta página. Fixe-os em determinado ponto enquanto mexe a cabeça.

O que aconteceu durante essa experiência? Seus olhos permaneceram fixos num único ponto enquanto sua cabeça se mexia. Esse movimento é tão comum que não o levamos em consideração, porém sua complexidade é incrível. Cada um dos oito músculos em ambos os olhos reage ao movimento da cabeça. Sensores na nossa cabeça, que descreverei adiante, registram a direção e a velocidade do movimento dela. Esses sinais são levados ao cérebro, que, então, envia sinais aos nossos olhos mandando-os atirar. Pense nisso da próxima vez que fixar seu olhar em algo enquanto mexer a cabeça. Esse sistema pode falhar, e as falhas têm muito a ver com o nosso bem-estar geral.

Uma maneira simples de entender o vínculo ouvido interno-olho é interferir nele. Uma das formas como os humanos o fazem é ingerir álcool em demasia. Beber álcool em demasia nos leva a fazer coisas tolas porque nossas inibições são reduzidas. Beber *um bocado* em demasia nos dá tonturas, e as tonturas em geral são indícios de uma péssima manhã no dia seguinte, uma ressaca, e mais tonturas, náusea e dor de cabeça.

Quando bebemos demais, injetamos montes de etanol na nossa corrente sanguínea, mas o fluido dentro das nossas tubas auditivas inicialmente contém muito pouco. Com o passar do tempo, porém, o álcool se espalha do sangue para o gel do ouvido interno. O álcool é mais leve que o gel, logo o resultado disso equivale ao resultado de entornar álcool em um copo com azeite. Assim como se mexe no copo quando o álcool entra, o gel no interior do ouvido *rodopia*. A convecção provoca um desastre nos destemperados entre nós. Nossas células pilosas são estimuladas, e o nosso cérebro pensa que estamos nos mexendo. Só que não estamos nos mexendo, mas atirados num canto ou empoleirados numa banqueta de bar. Nosso cérebro foi enganado.

O problema se estende aos nossos olhos. Nosso cérebro pensa que estamos rodando e passa tal informação aos músculos dos olhos. Os olhos se movimentam e oscilam em uma direção (em geral, para a direita). Se você abrir os olhos de um bêbado fora do ar, provavelmente verá esta contração estereotipi-

ca, chamada de nistagmo. A polícia sabe muito bem disso, e muitas vezes procura pelo nistagmo em motoristas que são parados por dirigir de forma errática.

Ressacas de monta envolvem uma reação ligeiramente diversa. No dia seguinte ao porre, seu fígado realizou um trabalho realmente eficiente, removendo o álcool da corrente sanguínea. Eficiente demais, pois ainda restou álcool nas tubas do ouvido. Esse álcool, então, se espalha novamente do gel para a corrente sanguínea e, ao fazê-lo, mais uma vez põe o gel em movimento: mais tonturas. Observe durante a ressaca o mesmo bêbado cujos olhos você viu oscilarem na noite anterior. Seus olhos talvez ainda se movimentem de forma oscilante, mas na direção oposta.

Podemos agradecer por isso à história que partilhamos com tubarões e peixes. Se algum dia você tentou pegar uma truta, já deu de cara com um órgão que, provavelmente, é o antecessor do nosso ouvido interno. Como todo pescador sabe, as trutas se mantêm apenas em determinadas partes de um córrego, pontos onde, em geral, são capazes de conseguir uma boa refeição sem se expor a predadores. Esses locais costumam ficar na sombra e nos redemoinhos. Peixes grandes adoram se reunir atrás de rochas volumosas ou troncos caídos na água. As trutas, como todos os peixes, possuem um mecanismo que lhes permite sentir a correnteza e o movimento da água à volta, quase como uma sensação de tato.

Dentro da pele e dos ossos do peixe, arrumados em fileiras que descem ao longo da cabeça e do corpo, se encontram pequenos órgãos com receptores sensoriais. Esses receptores se agrupam em pequenos feixes dos quais enviam pequenas projeções pilosas para um saco cheio de gelatina, um órgão chamado neuromasto. Aqui vale lembrar do globo de neve com a Estátua da Liberdade. Um neuromasto é como um desses globos, pequenininho, com nervos se projetando em seu interior. Quando a água corre à volta do peixe, ela deforma esse saquinho e com isso curva as projeções pilosas do nervo. Mais ou menos como faz o sistema em nossos ouvidos, esse aparelho envia então um sinal para o cérebro e dá ao peixe uma noção do que a água faz em torno dele. Tubarões e peixes podem identificar a direção em que flui a água, e alguns tubarões são até capazes de detectar distorções nela, como as produzidas por outros peixes nadando por perto. Usamos uma versão desse sistema quando mexemos a cabeça com um olhar fixo num ponto, e o vimos ir por água abaixo quando abrimos os olhos do indivíduo ébrio mencionado antes. Se o ancestral que temos em comum com tubarões e peixes tivesse usado algum outro tipo de gel no ouvido

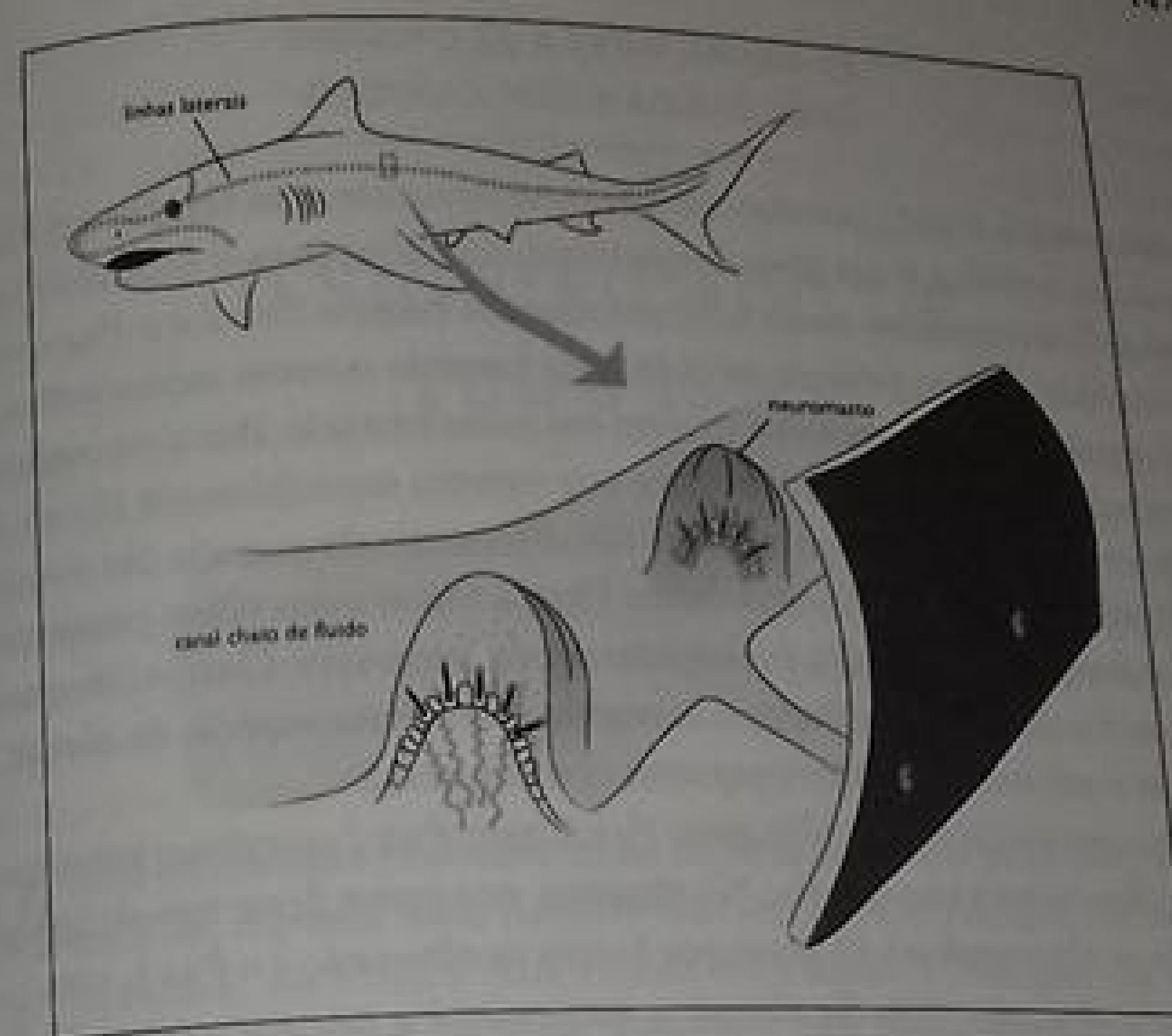
interno, um que, digamos, não balançasse quando se injetasse álcool, jamais teríamos tontura quando ficássemos bêbados.

Se você acha que nossos ouvidos internos e órgãos neuromastos são versões da mesma coisa, não está muito enganado. Ambos se originam do mesmo tipo de tecido durante o desenvolvimento, compartilhando, igualmente, a mesma estrutura. Mas qual surgiu primeiro, os neuromastos ou os ouvidos internos? Aqui, a prova se torna capciosa. Se examinarmos alguns dos primeiros fósseis dotados de cabeça, criaturas com cerca de 500 milhões de anos, descobriremos pequenos orifícios na sua armadura externa que sugerem que elas possuíam órgãos neuromastos. Infelizmente, pouco sabemos sobre os ouvidos internos dessas criaturas porque a preservação dessa área da cabeça deixa a desejar. Até que surjam mais indícios, nos restam duas alternativas: ou os nossos ouvidos internos se originaram de órgãos neuromastos ou foi o contrário. Ambos os cenários, em essência, refletem um princípio que vimos funcionar em outras partes do corpo. Os órgãos podem surgir para executar uma função e depois serem reprogramados ao longo do tempo para uma variedade de novos usos.

Em nossos ouvidos ocorreu uma expansão do ouvido interno. A parte do ouvido interno dedicada à audição, como em outros mamíferos, é grande e enroscada. Criaturas mais primitivas, como anfíbios e répteis, têm um ouvido interno simples e desenroscado. Nitidamente, nossos ancestrais mamíferos ganharam um tipo de audição novo e melhor. O mesmo se aplica às estruturas que percebem aceleração. Temos três canais para registrar aceleração porque percebemos o espaço em três dimensões. Os primeiros peixes conhecidos portadores desses canais – um tipo de peixe sem mandíbula, como o congro – tinha apenas um. Em seguida, em outros peixes primitivos, vemos dois. Finalmente, a maioria dos peixes, bem como outros vertebrados, passa a ter três, como nós.

Vimos que o nosso ouvido interno tem uma história passível de ser rastreada até os primeiros peixes. Mais notável ainda é o fato de que os neurônios no interior do gel de nossos ouvidos têm uma história ainda mais remota.

Esses neurônios, chamados células pilosas, têm características especiais que não se encontram em qualquer outro neurônio. Com finas projeções pilosas, consistindo de um longo “pêlo” e uma série de outros menores, esses neurônios residem com uma orientação fixa em nosso ouvido interno ou no neuromasto de um peixe. Ultimamente, houve quem procurasse essas células em outras criaturas e as encontrasse não só em animais que não possuem órgãos senso-



Uma versão primitiva de parte do nosso ouvido interno está embutida na pele dos peixes. Pequenos sacos – os neuromastos – distribuem-se em torno do corpo. Quando se curvam, fornecem ao peixe informações quanto à mudança do fluxo da água.

riais como os nossos, mas também em animais desprovidos de cabeça. Elas são vistas em organismos como anfioxos e ascídias, que não têm ouvidos, olhos, cabeças nem crânios. Então, células pilosas já estavam em cena executando outras funções antes que os nossos órgãos dos sentidos fizessem sua estréia.

Tudo isso está registrado em nossos genes, é claro. Caso humanos ou camundongos tenham uma mutação que nocauteie um gene chamado *Pax 2*, o ouvido interno não funciona direito. O *Pax 2* está ativado na região auditiva e parece dar início a uma reação em cadeia de atividade genética que leva ao desenvolvimento do ouvido interno. Procure esse gene em animais mais primitivos e você vai descobrir o *Pax 2* ativo na cabeça e – imagine! – nos neuromastos. O bêbado zonzó e os órgãos sensíveis à água dos peixes possuem genes em comum e, conseqüentemente, uma história em comum.

AS ÁGUAS-VIVAS E AS ORIGENS DOS OLHOS E DOS OUVIDOS

Assim como o *Pax 6*, que abordamos anteriormente com relação aos olhos, o *Pax 2* nos ouvidos é um gene importante, essencial para o desenvolvimento correto. É interessante notar que um vínculo entre o *Pax 2* e o *Pax 6* sugere que ouvidos e olhos possam ter tido uma história comum muito antiga.

É aqui que os cubozoários entram em nossa história. Bastante conhecidos dos nadadores na Austrália devido a seu veneno especialmente tóxico, essas espécies semelhantes às águas-vivas são diferentes da maioria das outras por possuírem olhos, mais de vinte deles. Quase todos esses olhos consistem em orifícios simples espalhados pela epiderme da água-viva. Outros olhos no corpo são incrivelmente similares aos nossos, com uma espécie de córnea, um cristalino e até uma estrutura nervosa como a nossa.

Essas águas-vivas não têm nem *Pax 6* nem *Pax 2*: surgiram antes que esses genes fizessem a sua estréia. No entanto, nos genes desse tipo de água-viva observamos algo notável. O gene que forma os olhos não é o *Pax 6*, como seria de esperar, mas um tipo de mosaico que possui a estrutura *tanto* do *Pax 6* *quanto* do *Pax 2*. Em outras palavras, esse gene parece uma versão primitiva do *Pax 6* e do *Pax 2* de outros animais.

Os principais genes que controlam nossos olhos e ouvidos correspondem a um único gene em criaturas mais primitivas, como as águas-vivas. E daí?, você poderia perguntar. O antigo vínculo entre genes dos olhos e dos ouvidos ajuda a entender o que vemos nas clínicas médicas atualmente: numerosos defeitos congênitos afetam *tanto* os olhos *quanto* o ouvido interno. Tudo isso é um reflexo moderno da nossa profunda ligação com criaturas como a venenosa medusa e seus remotos parentes.

CAPÍTULO II

O SIGNIFICADO DE TUDO ISSO

Minha introdução profissional ao meio acadêmico se deu no início dos anos 80, durante meu período universitário, quando me apresentei como voluntário no Museu Americano de História Natural na cidade de Nova York. Afora a trepidação de trabalhar nos bastidores com os acervos do museu, uma das experiências mais memoráveis foi assistir aos inflamados seminários semanais. Toda semana, um palestrante apresentava algum estudo esotérico sobre história natural. Em seguida à palestra, em geral um evento bastante discreto, os ouvintes dissecavam o assunto ponto a ponto. Era impiedoso. De vez em quando, a coisa toda parecia um churrasco humano, com o palestrante convidado posando de prato principal. Quase sempre, tais debates descambavam para sessões de gritaria com toda a fúria e pantomima operística de um velho filme mudo, arrematada por punhos fechados e pés batendo no chão.

Lá estava eu, nos sagrados salões acadêmicos, ouvindo palestras sobre taxonomia. Você sabe o que é taxonomia – a ciência de dar nomes às espécies e organizá-las no esquema de classificação que todos nós decoramos no curso básico de biologia. Eu não poderia imaginar um tópico menos relevante para a vida cotidiana e menos propenso a provocar apoplexia em eminentes cientistas veteranos, levando-os a perder um bocado da sua dignidade humana. A expressão “dá um tempo!” não podia se encaixar melhor.

A ironia é que hoje entendo por que eles ficavam nesse estado. Não conseguia atinar com a razão na época, mas eles discutiam um dos conceitos mais importantes em toda a biologia. Talvez não pareça suficiente para provocar

um terremoto, mas esse conceito se encontra na raiz do modo como comparamos criaturas distintas: um humano com um peixe, um peixe com um verme, uma coisa com outra coisa. A tentativa de responder tais perguntas nos levou a desenvolver técnicas que nos permitem rastrear nossas linhagens familiares, identificar criminosos por meio de provas de DNA, entender como o vírus da AIDS se tornou perigoso e até monitorar a disseminação do vírus da gripe em todo o mundo. O conceito que vou passar a discutir fornece o calço de boa parte da lógica deste livro. Uma vez entendido, percebemos o significado dos peixes, vermes e bactérias que vivem dentro de nós.

A articulação de idéias genuinamente importantes, das leis da natureza, começa com premissas simples em que esbarramos diariamente. De começos simples, idéias como essas se desenvolvem para explicar as coisas realmente grandes, como o movimento das estrelas ou o funcionamento do tempo. Nesse espírito, posso partilhar com você uma lei verdadeira sobre a qual todos concordamos. Essa lei é tão profunda que a maioria de nós não lhe dá o menor valor. No entanto, é o ponto de partida para praticamente tudo que fazemos na paleontologia, na biologia do desenvolvimento e na genética.

Essa super lei da biologia é que todo ser vivo no planeta tem pais.

Todos os indivíduos que você um dia conheceu têm pais biológicos, assim como todos os pássaros, salamandras ou tubarões que já possa ter visto. A tecnologia talvez mude isso tudo, graças à clonagem ou a algum método ainda por inventar, mas até agora essa lei se mantém. Expressando de forma mais precisa: todo ser vivo surgiu de algum conjunto parental de informações genéticas. Essa formulação define parentalidade de uma forma que chega ao efetivo mecanismo biológico da hereditariedade e nos permite aplicá-lo a criaturas como bactérias que não se reproduzem da maneira como nós o fazemos.

A abrangência dessa lei é o que lhe confere poder. Ei-lo, em toda a sua beleza: todos nós somos descendentes modificados de nossos pais. Descendo do meu pai e da minha mãe, mas não sou idêntico a eles. Meus pais são descendentes modificados dos pais deles, e daí por diante. Este padrão de descendência com modificação define a nossa linhagem familiar. E faz isso tão bem que podemos reconstituir a nossa linhagem familiar simplesmente colhendo amostras de sangue de indivíduos.

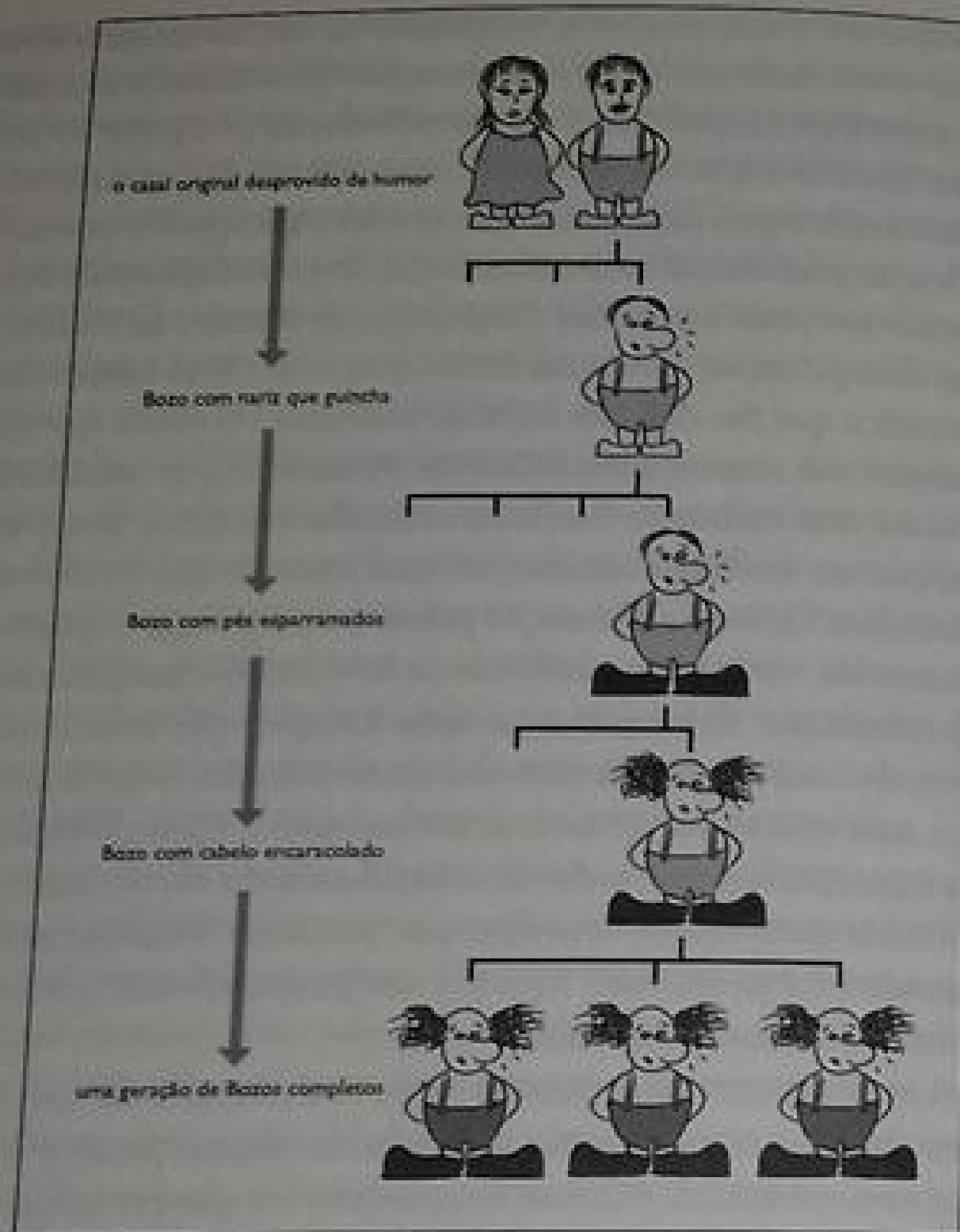
Imagine-se numa sala cheia de gente que você nunca viu antes. Dão a você uma tarefa simples: descobrir quão próximo é o parentesco de cada pessoa presente na sala com você. Como saber quem são seus primos distantes, seus primos superdistantes, seus tios-bisavós de septuagésimo quinto grau?

Para responder a essa pergunta, precisamos de um mecanismo biológico para orientar nosso raciocínio e nos fornecer uma forma de testar a exatidão da sua árvore genealógica hipotética. Esse mecanismo surge a partir da reflexão sobre a nossa lei da biologia. Conhecer o funcionamento da descendência com modificação é a chave para destrancar a história biológica, pois a descendência com modificação pode deixar uma assinatura, que somos capazes de detectar.

Tomemos um casal hipotético desprovido de humor, sem nada que os faça parecer com palhaços, que tenha filhos. Uma das filhas nasceu com uma mutação genética que lhe deu um nariz de borracha vermelha que guincha. Essa filha cresce e se casa com um felizardo. Passa seu nariz modificado para os filhos e todos têm narizes de borracha vermelha que guincham. Suponhamos, agora, que um dos filhos nasceu com uma mutação que lhe deu enormes pés esparramados. Quando tal mutação passar para a geração seguinte, toda a prole será como ele: terão um nariz de borracha vermelha que guincha e grandes pés esparramados. Avance uma geração. Imagine que uma dessas crianças, o bisneto do casal original, tenha uma outra mutação. Você já sacou: o garoto nasceu com cabelo cor de laranja encaracolado. Quando essa mutação passar para a geração seguinte, todos os seus filhos terão cabelo laranja encaracolado, um nariz de borracha vermelha que guincha e enormes pés esparramados. Quando você perguntar: "Quem é este palhaço Bozo?", estará falando dos tataranetos do nosso pobre casal.

Esse exemplo ilustra uma questão séria. A descendência com modificação pode construir uma árvore genealógica, ou linhagem, passível de ser identificada por características. Ela traz uma assinatura que reconhecemos imediatamente. Como um conjunto de bonequinhas russas, nossa linhagem hipotética formou grupos dentro de grupos, que reconhecemos por suas características impares. O grupo de tataranetos "Bozo completo" descendeu de um indivíduo que possuía apenas o nariz de palhaço e os grandes pés esparramados. Esse indivíduo pertencia a um grupo de "proto-Bozos", que descendeu de um indivíduo que possuía apenas o nariz de borracha vermelha que guincha. Este "pré-proto-Bozo" descendeu do casal original que não tinha uma aparência ostensivamente palhaça.

Esse padrão de descendência com modificação significa que você poderia facilmente formular a hipótese da árvore genealógica do palhaço Bozo sem que eu lhe dissesse coisa alguma. Se visse uma sala cheia das várias gerações de Bozos, concluiria que todos os parentes palhaços pertencem a um grupo de cabelos cor de laranja. Um subgrupo destes têm cabelo laranja e



A árvore genealógica do palhaço Bozo.

um nariz que guincha. Abrigado neste subgrupo existe mais um, o dos Bozos completos. A chave é que as características – cabelo laranja, nariz que guincha, enormes pés esparramados – permitem que você reconheça os grupos. Tais características são a sua comprovação dos diferentes grupos ou, neste caso, gerações, de palhaços.

Substitua essa família circense por traços reais – mutações genéticas e as alterações corporais que elas codificam – e você terá uma linhagem passível de ser identificada através de características biológicas. Se a descendência com modificação funciona assim, nossas árvores genealógicas possuem uma assinatura em sua estrutura básica. Tão potente é essa verdade que ela pode nos

ajudar a reconstituir árvores genealógicas com base apenas em dados genéticos, como atestam os vários projetos genealógicos em andamento hoje. Mas onde começam as nossas linhagens? Será que os Bozos começam no casal desprovido de humor? Será que a minha linhagem começa nos primeiros Shubins? Isso parece altamente arbitrário. Será que ela parte dos primeiros ucranianos ou dos italianos do sul? Ou, quem sabe, dos primeiros judeus ucranianos, da ralé da ralé de 3,8 bilhões de anos ou mesmo antes? Todos concordam que sua própria linhagem remonta a algum momento no tempo, mas a questão é: Quão remoto será esse momento?

Se a nossa linhagem remonta a essa remota ralé, e ao mesmo tempo obedece à nossa lei da biologia, deveríamos ter como recolher provas e fazer previsões específicas. Em lugar de um conjunto aleatório de criaturas, toda a vida na Terra deveria mostrar a mesma assinatura de descendência com a modificação que observamos entre os palhaços. Na verdade, a estrutura de todo o registro geológico também não deveria ser aleatória. Acréscimos recentes teriam que aparecer em camadas rochosas relativamente jovens. Assim como cheguei à minha árvore genealógica mais recentemente que o meu avô, também a estrutura da árvore genealógica da vida deveria ter seus paralelos no tempo.

Para ver como os biólogos efetivamente reconstituem o nosso parentesco com outras criaturas, precisamos sair do circo e voltar ao zoológico que visitamos no primeiro capítulo deste livro.

UM PASSEIO (MAIS LONGO) PELO ZOOLOGICO

Como vimos, nossos corpos não são montados aleatoriamente. Uso aqui a palavra "aleatório" em um sentido bastante específico. Quero dizer que a estrutura do nosso corpo definitivamente não é aleatória com relação aos outros animais que andam, voam, nadam e rastejam nesta Terra. Alguns animais partilham parte da nossa estrutura, outros não. Existe uma ordem quanto ao que partilhamos com o restante do mundo. Temos dois ouvidos, dois olhos, uma cabeça, um par de braços e um par de pernas. Não temos sete pernas ou duas cabeças. Nem rodas.

Um passeio pelo zoológico mostra de imediato a nossa ligação com o restante da vida. Na verdade, demonstra que podemos agrupar boa parte da vida do mesmo jeito que o fizemos com os palhaços. Visitemos apenas três atrações para começar. Primeiramente, os ursos polares. É possível elaborar uma lista comprida de traços que partilhamos com os ursos polares: pêlos, glândulas

mamárias, braços e pernas, um pescoço e dois olhos, entre outras coisas. Em seguida, passemos às tartarugas. Sem dúvida, existem semelhanças, mas a lista é um pouquinho menor. Partilhamos braços e pernas, pescoço e dois olhos (entre outras coisas) com as tartarugas, mas ao contrário de nós e dos ursos polares, as tartarugas não têm pêlos nem glândulas mamárias. Quanto ao casco da tartaruga, ele parece especial e exclusivo dela, exatamente como o pêlo branco era exclusivo do urso polar. Visitemos agora a ala dos peixes africanos. Seus moradores ainda se assemelham a nós, mas a lista de características em comum é ainda mais curta do que a que nos comparou às tartarugas. Como nós, os peixes têm dois olhos. Como nós, têm membros, mas estes se assemelham a nadadeiras, não a braços e pernas. Aos peixes faltam o pescoço que partilhamos com as tartarugas e os ursos polares. Faltam-lhes ainda o pêlo e as glândulas mamárias que temos em comum com os ursos polares.

Isso está começando a lembrar as bonequinhas russas com os grupos, subgrupos e sub-subgrupos que vimos no exemplo dos palhaços. Peixes, tartarugas, ursos polares e humanos partilham todos algumas características – cabeças, dois olhos, dois ouvidos e daí por diante. As tartarugas, os ursos polares e os humanos possuem todas elas e também pescoços, braços e pernas, ausentes nos peixes. Os ursos polares e os humanos formam um grupo ainda mais restrito, cujos membros apresentam todas essas características e também pêlos e glândulas mamárias.

O exemplo do palhaço Bozo nos fornece os meios para entender o significado do nosso passeio pelo zoológico. Nos Bozos, o padrão dos grupos refletia descendência com modificação. A implicação é que os filhos Bozos completos partilhavam um parente mais recente do que partilham com os filhos que têm apenas um nariz de palhaço. Isso faz sentido: o pai das crianças com nariz de palhaço é o tetravô dos Bozos completos. Aplicando a mesma abordagem aos grupos que encontramos durante o nosso passeio pelo zoológico concluímos que os humanos e os ursos polares devem partilhar um ancestral mais recente do que partilham com as tartarugas. Tal previsão é verídica: o mamífero mais antigo é mais recente que o réptil mais antigo.

A questão central aqui é decifrar a árvore genealógica das espécies. Ou, em termos biológicos mais precisos, o padrão de parentesco das mesmas. Esse padrão chega a nos dar os meios para interpretar um fóssil como o *Tiktaalik* à luz do nosso passeio pelo zoológico. O *Tiktaalik* é um maravilhoso intermediário entre os peixes e seus descendentes de vida terrestre, mas as chances de ele ser o nosso ancestral exato são muito remotas. Mais provável é que seja um

primo do nosso ancestral. Nenhum paleontólogo em sã consciência jamais afirmou ter descoberto “O Ancestral”. Pense desta maneira: Quais as chances que tenho, durante um passeio por um cemitério, de descobrir um genuíno ancestral meu? Ínfimas. O que eu descobriria é que todas as pessoas enterradas nesse cemitério – não importa que ele se situasse na China, em Botswana ou na Itália – são aparentadas comigo em diferentes graus. Posso descobrir isso examinando seus DNAs com as técnicas de medicina legal atualmente utilizadas. Eu veria que alguns dos residentes desses cemitérios são meus parentes distantes, enquanto o parentesco de outros é mais próximo. Essa árvore representaria uma importantíssima janela para o meu passado e para a minha história familiar. Ela teria, ainda, uma aplicação prática, pois eu poderia usá-la para entender minha predisposição para certas doenças e outros fatos da minha biologia. O mesmo é verdade quando inferimos os parentescos entre as espécies.

O verdadeiro poder dessa árvore genealógica reside nas previsões que ela nos permite fazer. A mais importante é que, conforme identificamos mais características compartilhadas, estas devem ser compatíveis com o contexto, ou seja, quando identifico características celulares, de DNA e de todas as outras estruturas, tecidos e moléculas nos corpos desses animais, elas precisam fundamentar os agrupamentos que identificamos durante o nosso passeio. Inversamente, podemos falsificar nossos agrupamentos encontrando características incompatíveis com eles, ou seja, se existirem muitos traços partilhados por peixes e humanos que não estejam presentes em ursos polares, o nosso contexto está errado e precisa ser revisto ou abandonado. Em casos em que as provas são ambíguas, aplicamos uma série de ferramentas estatísticas para aquilatar a qualidade das características que fundamentam os arranjos na árvore genealógica. Em situações em que exista ambigüidade, o arranjo genealógico é abordado como uma hipótese em aberto até que se descubra algo conclusivo para permitir que ele seja aceito ou rejeitado.

Alguns agrupamentos são tão fortes que, para todos os propósitos, nós os consideramos fatos. O agrupamento “peixe-tartaruga-urso polar-ser humano”, por exemplo, é comprovado por características de centenas de genes e praticamente por todos os traços da anatomia, fisiologia e biologia celular desses animais. Nosso esquema “peixe-para-humano” é tão fortemente alicerçado que já não tentamos mais colher provas dele – fazê-lo equivaleria a deixar cair cinquenta vezes uma bola para testar a teoria da gravidade. Deixar cair cinquenta vezes a bola por diversão é uma coisa, deixar cair a bola para testar a

teoria da gravidade é uma perda de tempo colossal. O mesmo é válido com relação ao nosso exemplo biológico. A chance de ver a bola ascender na quinquagésima quinta vez que a deixássemos cair seria a mesma de descobrir provas contundentes contra esses parentescos.

Podemos agora voltar ao desafio inaugural deste livro. Como reconstituir de forma confiável o parentesco entre animais há muito mortos e os corpos e genes dos mais recentes. Procuramos a assinatura de descendência com modificação, acrescentamos características, avaliamos a qualidade da prova e aqui- latamos o grau em que nossos grupos se encontram representados no registro fóssil. O curioso é que agora temos ferramentas para investigar essa hierarquia, utilizando computadores e grandes laboratórios e sequenciadores de DNA para fazer as mesmas análises que você realizou durante o passeio pelo zoológico. Temos agora acesso a novos locais de fósseis em todo o mundo. Podemos ver o lugar dos nossos corpos no mundo natural como nunca antes foi possível.

Do Capítulo 1 até o Capítulo 10, mostramos que existem profundas semelhanças entre as criaturas que vivem hoje e as que há muito já morreram – antigos vermes, esponjas vivas e vários tipos de peixes. Agora, munidos do conhecimento do padrão de descendência com modificação, podemos começar a entender tudo isso. Chega de passear pelo zoológico. É hora de falar sério.

Já vimos que no interior do nosso corpo existem vínculos com uma fauna de outras criaturas. Algumas partes lembram as de uma água-viva, outras, as de vermes, e outras ainda, as de peixes. Não se trata de semelhanças acidentais. Algumas partes de nós são vistas em todos os outros animais, outras são exclusivamente nossas. É de uma beleza profunda ver que existe uma ordem em todos esses traços. Centenas de características do DNA, inúmeros traços anatômicos e de desenvolvimento seguem a mesma lógica dos palhaços.

Consideremos alguns dos traços já mencionados no livro para ver como são ordenados.

Com qualquer outro animal do planeta, partilhamos um corpo composto de muitas células. Chamemos este grupo de vida multicelular. Partilhamos o traço de multicelularidade com tudo, de esponjas a placozoas, passando por águas-vivas e chimpanzés.

Um subgrupo desses animais multicelulares tem um *projeto corporal igual ao nosso*, com frente e costas, parte de cima e de baixo e lado esquerdo e

direito. Os taxonomistas chamam este grupo de bilateral (ou seja, "animais bilateralmente simétricos"). Ele inclui todos os animais, dos insetos aos humanos.

Um subgrupo de animais multicelulares que possui um projeto corporal igual ao nosso, com frente e costas, parte de cima e de baixo e lado esquerdo e direito, também possui *crânio*. Chamemos essas criaturas de vertebrados.

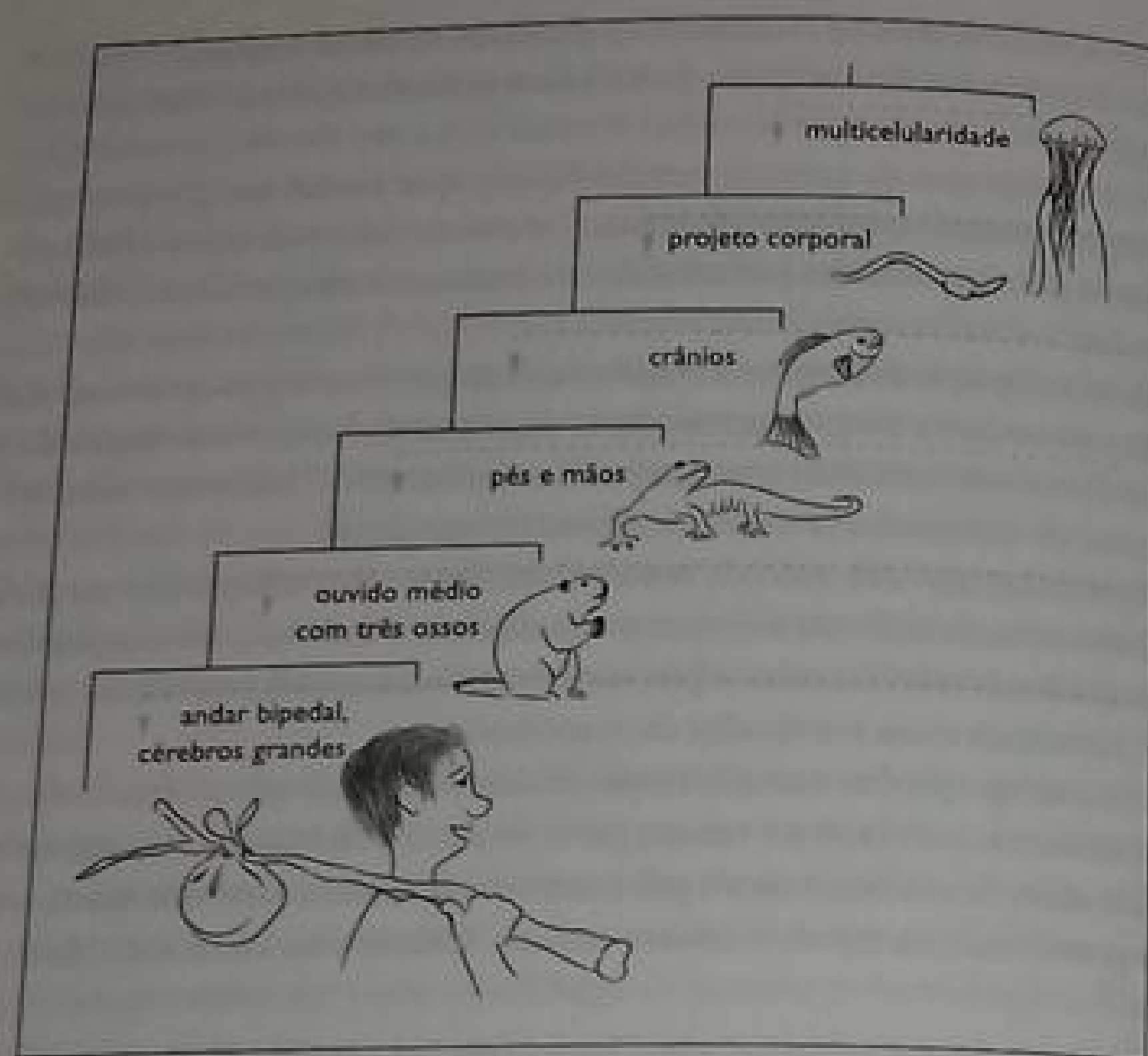
Um subgrupo dos animais multicelulares que têm um projeto corporal igual ao nosso, com frente e costas, parte de cima e de baixo e lado esquerdo e direito, bem como crânios, também possuem *mãos e pés*. Chamemos esses vertebrados de tetrápodes (animais com quatro membros).

Um subgrupo dos animais multicelulares que têm um projeto corporal igual ao nosso, com frente e costas, parte de cima e de baixo, lado esquerdo e direito, além de crânios, mãos e pés, também têm *um ouvido interno com três ossos*. Chamemos esses tetrápodes de mamíferos.

Um subgrupo dos animais multicelulares que têm um projeto corporal igual ao nosso, com frente e costas, parte de cima e de baixo, lado esquerdo e direito, além de crânios, mãos e pés e um ouvido interno com três ossos, também possui *marcha bípede e cérebro enorme*. Chamemos esses mamíferos de gente.

O poder desses subagrupamentos é visto nas provas em que se baseiam. Centenas de traços genéticos, embriológicos e anatômicos embasam esses grupos principais. Eles e seus ordenamentos nos ajudam a olhar dentro de nós mesmos de uma forma importante.

Este exercício é quase como descascar uma cebola, expondo camada após camada de história. Primeiro, vimos as características que partilhamos com todos os outros mamíferos. Em seguida, observando com maior profundidade, descobrimos as características que partilhamos com os peixes. Mais profundamente ainda se encontram aqueles que partilhamos com os vermes, e daí por diante. Relembrando a lógica dos Bozos, significa que vemos um padrão de descendência com modificação profundamente implantado dentro do nosso corpo. Esse padrão se reflete no registro geológico. O fóssil mais antigo com muitas células tem mais de 600 milhões de anos. O fóssil mais antigo com ouvido médio de três ossos tem menos de 200 milhões de anos. O bípede mais antigo tem cerca de 4 milhões de anos. Serão todos esses fatos mera coincidência ou refletirão uma lei da biologia que podemos ver em funcionamento à nossa volta diariamente?



Uma árvore genealógica humana, rastreada até as águas-vivas. Ela tem a mesma estrutura da dos Bozos.

Carl Sagan disse certa vez que olhar as estrelas é como olhar para trás no tempo. A luz das estrelas começou sua jornada na direção dos nossos olhos ions atrás, muito antes que o mundo fosse criado. Gosto de pensar que olhar para os humanos em muito se parece com admirar as estrelas. Se você souber como olhar, o nosso corpo se transforma numa cápsula que, ao ser aberta, fala dos momentos cruciais da história do nosso planeta e de um passado distante em oceanos, regatos e florestas pretéritas. As mudanças na antiga atmosfera estão refletidas nas moléculas que permitem que nossas células cooperem para construir corpos. O meio ambiente dos regatos pretéritos deram forma à anatomia básica de nossos membros. Nossa visão colorida e nosso olfato foram moldados pela vida em antigas florestas e planícies. E a lista prossegue. Essa história é nosso legado, legado esse que afeta a nossa vida hoje e continuará a afetá-la no futuro.

POR QUE A HISTÓRIA NOS FAZ ADOECER?

Meu joelho estava do tamanho de uma laranja, e um dos meus colegas do departamento de cirurgia o virava e torcia para determinar se eu distendera ou rompera um dos ligamentos lá dentro. Isso e o exame de ressonância magnética que se seguiu revelaram um menisco rompido, resultado provável de vinte e cinco anos carregando uma mochila por sobre rochas, penedos e sopés de montanhas nas expedições de campo. Machuque o joelho e é quase certo que você lesou uma destas três estruturas: o menisco medial, o ligamento medial ou o ligamento cruzado anterior. Tão frequentes são os danos a essas três partes do joelho que tais estruturas foram batizadas de "triade infeliz". Elas são uma prova clara das desvantagens de possuir um peixe interior. Peixes não andam sobre duas pernas.

A nossa humanidade tem um preço. Pela excepcional combinação das coisas que fazemos – falar, pensar, segurar objetos e andar sobre duas pernas – pagamos um preço. Esse é o resultado inevitável da árvore da vida que existe dentro de nós.

Imagine-se tentando adaptar um Fusquinha para desenvolver uma velocidade de 200 quilômetros por hora. A maneira como o motor envenenado do Fusquinha quebraria são definidos pelo seu passado e presente. Em 1933, Adolf Hitler encomendou ao dr. Ferdinand Porsche a invenção de um carro barato que pudesse fazer 40 milhas por galão de gasolina e fosse um meio confiável de transporte para a família média alemã. O resultado foi o Fusquinha. Essa história – os planos de Hitler – impõe limites à maneira como é possível modificar o Fusquinha hoje. A engenharia pode ser torcida apenas até certo ponto antes que problemas sérios surjam e o carro atinja seu limite.

Sob vários aspectos, nós humanos somos o equivalente pisciano de um Fusquinha "envenenado". Pegue o projeto corporal de um peixe, transforme-o para virar um mamífero, depois torça e manipule esse mamífero até fazê-lo andar sobre duas pernas, falar, pensar e adquirir sintonia fina nos dedos. Eis aí uma receita para problemas. Só é possível adaptar até certo ponto um peixe sem pagar um preço. Num mundo perfeitamente planejado – um mundo sem história – não teríamos que sofrer tudo que nos aflige, das hemorróidas ao câncer.

Em lugar algum essa história é mais visível do que nos desvios, curvas e voltas das nossas artérias, nervos e veias. Siga alguns nervos e você descobrirá

que eles dão estranhas voltas em torno de outros órgãos, aparentando ir numa direção só para fazer uma curva e acabar num lugar inesperado. Os desvios são produtos fascinantes do nosso passado que, como veremos, constantemente nos criam problemas – soluços e hérnias, por exemplo. E este é apenas um exemplo de como o passado pode voltar para nos puxar a perna.

Nossa história profunda foi, em épocas diferentes, passada em oceanos remotos, pequenos regatos e savanas, não em prédios de escritórios, pistas de esqui e quadras de tênis. Não fomos projetados para viver mais de 80 anos, para passar dez horas por dia com o traseiro sentado numa cadeira e comer guloseimas, nem para jogar futebol. Esse extraordinário descompasso entre o nosso passado e o nosso presente humano significa que nossos corpos desmontam de algumas maneiras previsíveis.

Praticamente todas as doenças que nos afetam têm algum componente histórico. Os exemplos que vêm a seguir refletem a maneira como diferentes ramos da árvore da vida dentro de nós – dos antigos humanos aos anfíbios e peixes e, finalmente, aos micróbios – voltam para nos chatear agora. Cada um desses exemplos mostra que não fomos racionalmente projetados, mas somos produtos de uma história enrolada.

NOSSO PASSADO DE CAÇADORES-ACUMULADORES: OBESIDADE, DOENÇAS CARDÍACAS E HEMORRÓIDAS

Durante a nossa história como peixes, fomos ativos predadores em oceanos e córregos antigos. Durante o nosso passado mais recente de anfíbios, répteis e mamíferos, fomos criaturas ativas perseguindo tudo, de répteis a insetos. Mais recentemente ainda, como primatas, éramos animais ativos vivendo em árvores, alimentando-nos de frutas e folhas. Os primeiros humanos eram ativos caçadores-acumuladores e, no final das contas, agricultores. Deu para perceber um tema aí? O fio condutor do discurso é a palavra “ativo”.

A má notícia é que a maioria de nós passa uma grande parte do dia sendo tudo, menos ativo. Estou com o meu traseiro sentado neste momento digitando este livro, e um bom número de vocês está fazendo o mesmo durante a sua leitura (salvo os virtuosos entre nós que o estiverem lendo na academia de ginástica). A nossa história, de peixes até os primeiros humanos, de forma alguma nos preparou para esse novo regime. O baque entre

presente e passado deixa a sua assinatura em muitas das mazelas da vida moderna.

Quais são as principais causas de morte nos humanos? Quatro das dez primeiras da lista – doenças coronarianas, diabetes, obesidade e derrame – têm algum tipo de base genética e, provavelmente, histórica. Boa parte da dificuldade se deve com certeza ao fato de termos um corpo construído para um animal ativo, mas o estilo de vida de uma batata.

Em 1962, o antropólogo Richard Neel abordou essa noção a partir da perspectiva da nossa dieta. Formulando o que ficou conhecido como a hipótese do “genótipo econômico”, Neel sugeriu que os nossos ancestrais humanos eram adaptados para uma existência de abundância-carência. Como caçadores-acumuladores, os primeiros humanos teriam vivenciado períodos de fartura, quando abundavam as presas e a caça era um sucesso. A esses períodos de fartura se intercalavam períodos de escassez, quando nossos ancestrais dispunham de uma quantidade consideravelmente menor de comida.

Neel criou a hipótese de que esse ciclo de fartura e escassez deixou uma assinatura nos nossos genes e nas nossas doenças. Basicamente, ele defendeu que os corpos dos nossos ancestrais lhes permitiam poupar recursos durante os períodos de fartura de modo a usá-los nos tempos de escassez. Nesse contexto, o armazenamento de gordura se torna muito útil. A energia nos alimentos que ingerimos é proporcionada de forma a que parte dela sustente nossa atividade presente e parte seja armazenada, em gordura, por exemplo, para uso posterior. Essa proporção funciona direitinho em um mundo de abundância-carência, mas vai por água abaixo em um ambiente onde a comida se acha disponível 24 horas por dia 7 dias por semana. A obesidade e as doenças a ela associadas – diabetes relacionada à idade, pressão alta e doença cardíaca – seria o estado natural das coisas. A hipótese do genoma econômico também poderia explicar por que adoramos comidas gordurosas. Elas são um bem valioso em termos do volume de energia que contêm, algo que nos teria provido uma vantagem significativa em nosso passado distante.

Nosso estilo de vida sedentário nos assombra de outras maneiras, porque nosso sistema circulatório surgiu originalmente em animais mais ativos.

Nosso coração bombeia o sangue, que é transportado até os órgãos por artérias e retorna ao coração pelas veias. Porque as artérias se encontram mais próximas da bomba, a pressão sanguínea nelas é muito mais alta do

que nas veias. Isso pode representar um problema especial para o sangue que precisa retornar ao coração vindo dos nossos pés. O sangue vindo dos pés precisa escalar a montanha, por assim dizer, subir pelas veias das nossas pernas até o abdome. Se o sangue está sob pressão baixa, talvez não consiga completar a escalada. Conseqüentemente, temos duas características que ajudam o sangue a subir a ladeira. A primeira: pequenas válvulas que permitem que o sangue suba, mas o impedem de descer. A segunda: nossos músculos das pernas. Quando andamos, nós os contraímos, e essa contração serve para bombear o sangue nas veias das pernas. Essas válvulas de mão única e os bombeamentos do músculo da perna capacitam o sangue a subir dos pés para o abdome.

Tal sistema funciona divinamente num animal ativo, que utiliza as pernas para andar, correr e pular. Não funciona bem em uma criatura mais sedentária. Se as pernas não são muito usadas, os músculos não bombearão o sangue veia acima, pois esse acúmulo é capaz de provocar a falha das válvulas. É precisamente o que acontece com as veias varicosas. Quando as válvulas falham, o sangue se acumula nas veias. As veias ficam cada vez maiores, inchando e tomando caminhos tortuosos em nossas pernas.

Desnecessário dizer que a arrumação das veias pode ser um verdadeiro atraso de vida. Motoristas de caminhão são especialmente propensos a desenvolver hemorróidas, outro custo da nossa vida sedentária. Sentados durante longos períodos, o sangue acumula-se em suas veias e nos espaços à volta do reto. Conforme o sangue se acumula, formam-se as hemorróidas – um lembrete desagradável de que não fomos feitos para passar demasiadas horas sentados, principalmente em superfícies macias.

O PASSADO PRIMATA: FALAR CUSTA CARO

Falar custa um bocado caro: engasgos e apnéia do sono estão no topo da lista de problemas com os quais temos que conviver a fim de sermos capazes de falar.

Produzimos os sons da fala controlando os movimentos da língua, da laringe e da parte posterior da garganta. Todas essas são modificações relativamente simples do desenho básico de um mamífero ou réptil. Como vimos no Capítulo 3, a laringe humana é feita principalmente de cartilagens do arco branquial, correspondendo às barras branquiais de um tubarão ou peixe. A

parte posterior da garganta, que vai desde o último dente molar até logo acima da laringe, possui paredes flexíveis que podem se abrir e fechar. Produzimos os sons da fala mexendo a língua, alterando o formato da boca e contraindo uma série de músculos que controlam a rigidez dessa parede.

A desvantagem mais óbvia desse desenho é o engasgo. A nossa boca tem ligação tanto com a traquéia, através da qual respiramos, quanto com o esôfago, de modo que utilizamos a mesma passagem para engolir, respirar e falar. Essas três funções entram em descompasso, por exemplo, quando um pedaço de comida se aloja na traquéia.

A apnéia do sono é outra desvantagem potencialmente perigosa da capacidade de falar. Durante o sono, os músculos da nossa garganta relaxam. Na maioria das pessoas, isso não representa um problema, mas em alguns a passagem pode colapsar, fazendo com que passemos períodos relativamente longos sem respiração. Isso, é claro, pode ser muito perigoso, principalmente em pessoas com problemas cardíacos.

A flexibilidade da nossa garganta, tão útil à nossa capacidade de falar, nos torna suscetíveis a um tipo de apnéia do sono que resulta da obstrução da via aérea.

Outra consequência desse design é o engasgo. A nossa boca leva tanto à traquéia, pela qual respiramos, quanto ao esôfago, fazendo com que usemos a mesma passagem para engolir, respirar e falar. Essas três funções podem entrar em conflito, por exemplo, quando um pedaço de comida se aloja na traquéia.

O PASSADO DE PEIXES E GIRINOS: SOLUÇOS

Esse aborrecimento tem suas raízes na história que partilhamos com os peixes e girinos.

Se existe algum consolo para o fato de ter soluços, é que a nossa mazela é partilhada com vários outros mamíferos. Os gatos podem ser estimulados a ter soluços através de um impulso elétrico em um pequeno retalho de tecido no tronco cerebral. Acredita-se que essa área do tronco cerebral seja o centro que controla o reflexo complicado que chamamos de soluço.

O reflexo do soluço é um abalo estereotipado que envolve uma série de músculos na parede do nosso corpo, no diafragma, no pescoço e na garganta. Um espasmo em um ou dois dos principais nervos que controlam a respiração

fazem esses músculos se contrair. O resultado é uma inspiração muito abrupta de ar. Então, cerca de 35 milésimos de segundo mais tarde, uma aba de tecido na parte posterior da garganta (a glote) fecha a parte superior das nossas vias aéreas. A rápida inalação seguida por um breve fechamento do tubo produz o soluço.

O problema é que raramente temos um único soluço. Quando conseguimos parar os soluços entre os cinco e os dez primeiros, temos uma chance razoável de encerrar o surto em definitivo. Se perdemos essa janela, o surto é capaz de persistir, com uma média de sessenta soluços. Inalar dióxido de carbono (respirando no clássico saco de papel) e alongar a parede corporal (inspirando longamente e prendendo a respiração) são meios para pôr fim aos soluços mais cedo em alguns de nós. Mas não para todo mundo. Alguns surtos de soluços realmente patológicos podem ser muitíssimo longos. O acesso mais comprido de soluços num indivíduo durou de 1922 a 1990.

Nossa tendência a desenvolver soluços é outro caso em que o passado volta para nos assombrar. Existem duas causas a considerar. A primeira é o que provoca o espasmo nervoso que dá início ao soluço. A segunda, o que controla o soluço em si, a abrupta inalação-fechamento da glote. O espasmo nervoso é um produto da nossa história pisciana, enquanto o soluço é um resultado da história que partilhamos com animais como os girinos.

Primeiramente, os peixes. Nosso cérebro pode controlar a respiração sem qualquer esforço consciente da nossa parte. A maior parte do trabalho tem lugar no tronco cerebral, na fronteira entre o cérebro e a medula espinhal. O tronco cerebral envia impulsos nervosos aos nossos principais músculos respiratórios. A respiração ocorre num padrão: músculos do peito, diafragma e garganta se contraem numa ordem bem definida. Consequentemente, essa parte do tronco cerebral é conhecida como um "gerador de padrão central". Essa região é capaz de produzir padrões rítmicos de ativação nervosa e, portanto, muscular. Uma série de geradores assim em nosso cérebro e medula espinhal controlam outros comportamentos rítmicos, como a deglutição e a marcha.

O problema é que o tronco cerebral originalmente controlava a respiração nos peixes. Ele foi reformado para funcionar em mamíferos. Os tubarões e peixes ósseos têm todos uma porção do tronco cerebral controlando a detonação rítmica dos músculos na garganta e em torno das brânquias. Os nervos que controlam essas áreas se originaram todos numa porção bem definida do tronco cerebral. Podemos mesmo ver esse arranjo de nervos em alguns dos peixes

mais primitivos no registro fóssil. Antigos ostracodermes, de rochas com mais de 400 milhões de anos, preservam moldes do cérebro e nervos cranianos. Assim como nos peixes vivos, os nervos que controlam a respiração partem do tronco cerebral.

Isso funciona bem nos peixes, mas para os mamíferos é um péssimo arranjo. Nos peixes, os nervos que controlam a respiração não precisam percorrer distância tão longa a partir do tronco cerebral. As brânquias e a garganta costumam circundar essa área do cérebro. Temos um problema diferente. A nossa respiração é controlada pelos músculos na parede peitoral e, como em outros mamíferos, pelo diafragma, músculo que separa o peito do abdome. A contração do diafragma controla a inspiração. Os nervos que controlam o diafragma saem do nosso cérebro exatamente como acontece em todos os outros peixes: eles partem do tronco cerebral, próximo ao nosso pescoço. Esses nervos, o vago e o nervo frênico, saem da base do crânio e viajam pela cavidade peitoral para alcançar o diafragma e as porções do peito que controlam a respiração. Esse percurso estranho cria problemas. Um desenho racional faria com que os nervos não partissem do pescoço, mas de um local mais próximo ao diafragma. Infelizmente, qualquer coisa que interfira com um desses nervos pode bloquear a sua função e provocar um espasmo.

Se o percurso estranho dos nossos nervos é um produto do nosso passado de peixes, o soluço em si provavelmente é o produto da nossa história como anfíbios. Os soluços são ímpares no sentido de que uma ingestão abrupta de ar é seguida por um fechamento da glote. Os soluços aparentemente são controlados por um gerador de padrão central no tronco cerebral: estimulando tal região com um impulso elétrico, estimula-se o soluço. Faz sentido o fato de os soluços serem controlados por um gerador de padrão central, já que, como em outros comportamentos rítmicos, uma sequência estabelecida de acontecimentos ocorre durante um soluço.

Acontece que o gerador de padrão responsável pelos soluços é praticamente idêntico ao que existe nos anfíbios. E não em anfíbios quaisquer, mas em girinos, que utilizam tanto os pulmões quanto as brânquias para respirar. Os girinos utilizam esse gerador de padrão quando respiram com brânquias. Nessa circunstância, o que querem é bombear água para a boca e garganta e até as brânquias, mas não desejam que a água lhes penetre os pulmões. Para impedir que isso aconteça, fecham a glote, a aba que sela o tubo respiratório. E para fechar a glote, os girinos possuem um gerador de padrão central em seu tronco cerebral, para que cada inspiração seja imediatamente seguida de um fecha-

mento da glote. Eles são capazes de respirar com as brânquias graças a uma forma prolongada de soluço.

São tantos os paralelos entre os nossos soluços e a respiração branquial em girinos que muita gente já defendeu que os dois fenômenos são uma única coisa. A respiração branquial em girinos pode ser bloqueada por dióxido de carbono, tal qual nossos soluços. Também é possível bloquear a respiração branquial distendendo a parede do peito, precisamente como somos capazes de parar os soluços respirando fundo e prendendo o fôlego. Talvez pudéssemos até bloquear a respiração branquial nos girinos lhes dando um susto.

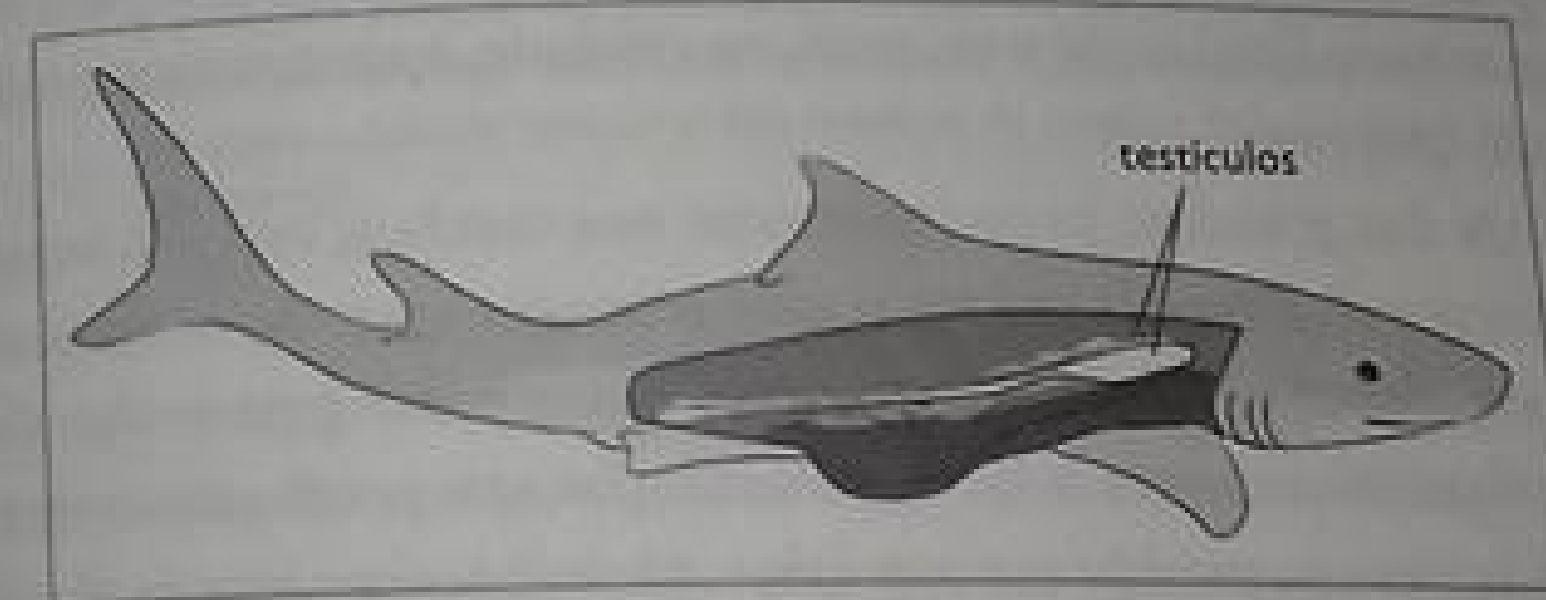
PASSADO DE TUBARÃO: HÉRNIAS

Nossa propensão a hérnias, ao menos no que se refere às inguinais, deriva do ato de reformar um corpo de peixe para transformá-lo no de um mamífero.

Os peixes possuem gônadas que partem na direção do peito, na vizinhança do coração. Os mamíferos não, e aí está o problema. É uma coisa muito boa que as nossas gônadas não estejam no fundo do nosso peito e próximo ao coração. Embora isso pudesse tornar o Juramento de Fidelidade uma experiência mais interessante, haveria um preço a pagar. Para os mamíferos, não ter filhos estaria embutido nesse custo.

Abra a barriga de um tubarão da boca até o rabo. A primeira coisa que você vai ver é fígado, muito fígado. O fígado de um tubarão é gigantesco. Afaste o fígado e vai descobrir as gônadas se estendendo próximo ao coração, na área "peitoral". Esse arranjo é comum à maioria dos peixes: as gônadas ficam na parte frontal do corpo.

Em nós, humanos, como na maioria dos mamíferos, isso seria um desastre. Os machos produzem espermatozóides continuamente ao longo da vida. Espermatozóides são células delicadas que necessitam de um ambiente precisamente correto — uma escala limitada de variação de temperaturas — para se desenvolverem satisfatoriamente durante os seus três meses de vida. Temperatura alta demais causa malformação nos espermatozóides; baixa demais provoca a sua morte. Os mamíferos machos têm um pequeno apetrecho bacana para controlar a temperatura do aparelho produtor de espermatozóides: o escroto. Como todos sabemos, as gônadas masculinas



Se abrímos um tubarão, encontraremos um fígado enorme (figura do alto). Empurrando o fígado, veremos gônadas, que se estendem até relativamente próximo ao coração, como acontece nas outras criaturas primitivas. As fotos são cortesia do Dr. Steven Campana, Canadian Shark Research Laboratory.

ficam num saco. No interior da pele do saco existem músculos capazes de se expandir e contrair conforme a temperatura se altera. Também existem músculos nos cordões espermáticos. Daí, o efeito do banho frio: o escroto se aninha próximo ao corpo quando está frio. A coisa toda sobe e desce de acordo com a temperatura. Essa é uma forma de otimizar a produção de espermatozoides saudáveis.

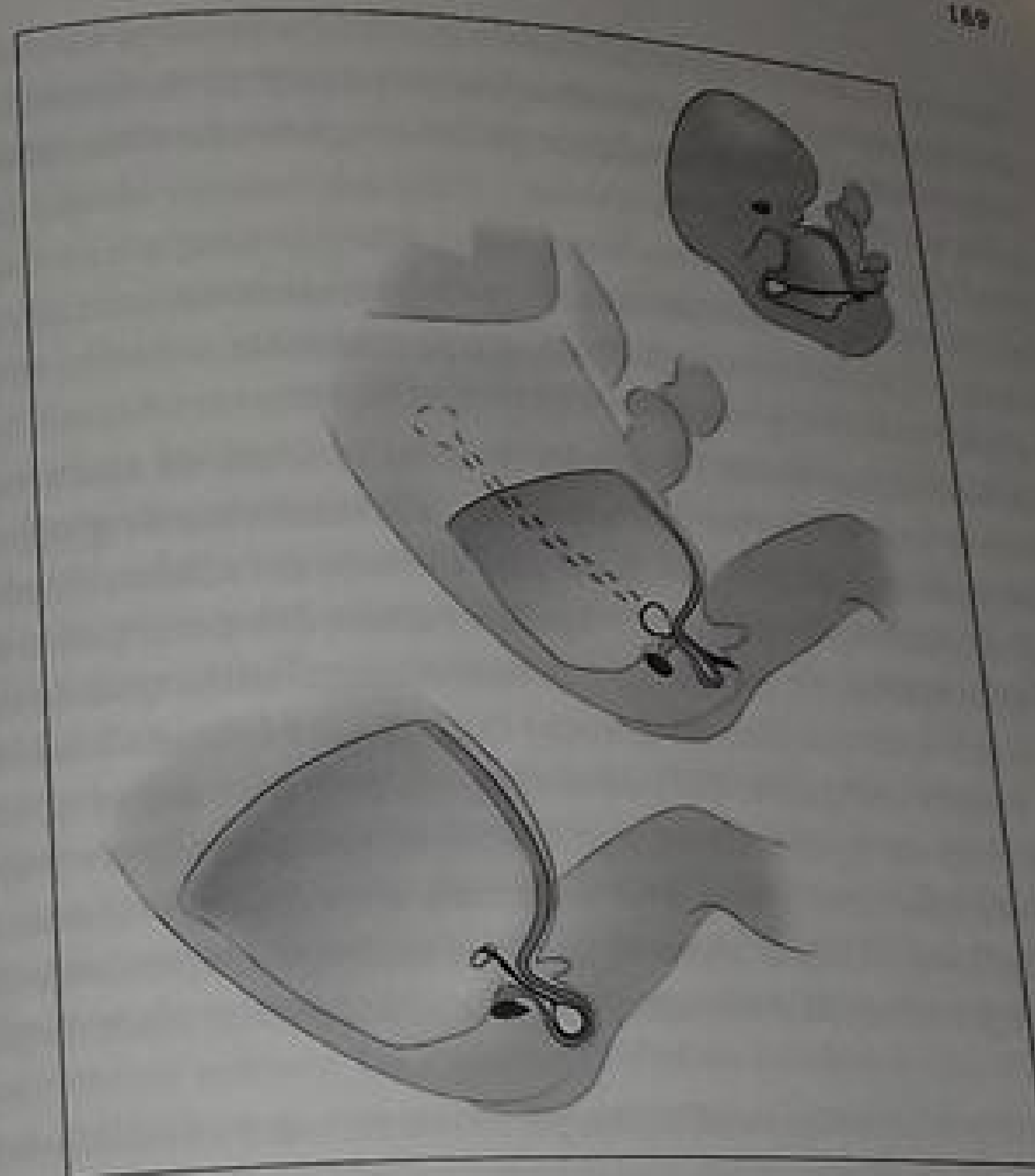
O escroto pendurado também funciona como identidade masculina em muitos mamíferos. Entre as vantagens fisiológicas de possuir gônadas fora da parede corporal, bem como os benefícios ocasionais que isso gera em termos de garantir companheiras, existe um bom leque de vantagens no fato de nossos distantes ancestrais mamíferos possuírem um escroto.

O problema com esse arranjo é que o bombeamento que leva o espermatozoide ao pênis é tortuoso. Os espermatozoides viajam dos testículos no escroto através do cordão espermático. O cordão parte do escroto, sobe na direção da cintura, dá a volta na pelve e depois passa por ela para sair do corpo através do pênis. Ao longo desse percurso complexo, os espermatozoides ganham fluidos seminais de várias glândulas que se conectam ao tubo.

O motivo dessa rota absurda reside na história da nossa evolução e desenvolvimento. Nossas gônadas começam a se desenvolver mais ou menos no mesmo local que as do tubarão: lá em cima, perto do fígado. Conforme crescem e se desenvolvem, as nossas gônadas descem. Nas mulheres, os ovários descem de um pouco abaixo da cintura para se localizar perto do útero e das tubas uterinas. Isso garante que o óvulo não precise viajar muito para ser fertilizado. O resultado final é que o escroto, na verdade, é apenas uma projeção da nossa parede corporal.

A descida das gônadas, principalmente nos machos, cria um ponto fraco na parede corporal. Para visualizar o que acontece quando os testículos e o cordão espermático descem para formar um escroto, imagine-se socando com o punho um colchão de borracha. Nesse exemplo, seu punho equivale aos testículos, e seu braço, ao cordão espermático. O problema é que você criou um espaço frágil no lugar onde fica o seu braço. Onde, um dia, a lâmina de borracha foi uma parede simples, criou-se agora outro espaço, tornando possível que coisas escorreguem entre o seu braço e a lâmina de borracha. É basicamente o que acontece em vários tipos de hérnias¹ inguinais em homens. Algu-

¹Nota da Revisora Técnica: Hérnia é a protrusão de um órgão ou parte dele através de um orifício. As hérnias inguinais ocorrem na região da virilha.



A descida dos testículos. Durante o crescimento, os testículos descem da primitiva posição das gônadas lá no alto do corpo para acabarem se fixando no escroto, que é uma bolsa externa da parede corporal. Tudo isso deixa a parede corporal dos machos da espécie humana frágil na área genital.

mas delas são congênitas – quando um pedaço de intestino viaja com os testículos por ocasião da sua descida. Outro é a hérnia inguinal adquirida. Quando contraímos os músculos abdominais, nossas vísceras pressionam a parede corporal. Uma fragilidade na parede corporal significa a possibilidade de vísceras escaparem da cavidade do corpo e serem empurradas para se localizar próximo ao cordão espermático.

As mulheres são bem mais resistentes que os homens, principalmente nessa parte do corpo. Sua parede abdominal é muito mais forte do que a dos homens por não possuir um tubo gigante a atravessá-la. Isso é uma boa coisa, quando pensamos na enorme tensão sofrida pelas paredes corporais femininas

durante a gravidez e o parto. Um tubo que lhes atravessasse a parede corporal não daria certo. A tendência masculina para desenvolver hérnias é um meio-termo entre a nossa ancestralidade pisciana e o nosso presente mamífero.

O PASSADO DE MICRORGANISMOS: MOLÉSTIAS MITOCONDRIAS

As mitocôndrias existem no interior de todas as células do nosso corpo e executam várias funções. Sua tarefa mais óbvia é transformar oxigênio e açúcares num tipo de energia passível de ser usada dentro das células. Outras funções incluem metabolizar toxinas no fígado e regular diferentes partes da função das nossas células. Só percebemos as nossas mitocôndrias quando algo dá errado. Infelizmente, a lista de doenças causadas por mitocôndrias disfuncionais é longa e complexa. Se existe um problema nas reações químicas nas quais o oxigênio é consumido, a produção de energia pode ser prejudicada. Uma disfunção tanto pode ficar confinada a tecidos individuais, como os olhos, digamos, ou afetar todos os sistemas do corpo. Dependendo da localização e da gravidade da disfunção, o resultado pode variar desde fraqueza até a morte.

Muitos processos que utilizamos para viver refletem a nossa história de mitocôndrias. A reação em cadeia dos eventos químicos que transformam açúcares e oxigênio em energia utilizável e dióxido de carbono surgiu bilhões de anos atrás e versões dela ainda são vistas em diversos microrganismos. As mitocôndrias carregam em si um passado de bactéria: com toda uma estrutura genética e microestrutura celular semelhante às das bactérias, costuma-se considerar que elas surgiram de microrganismos originalmente de vida livre, mais de um bilhão de anos atrás. Com efeito, toda a maquinaria geradora de energia das nossas mitocôndrias surgiu em um desses tipos de bactérias antigas.

Este capítulo só tem falado de coisas ruins, por isso vamos encerrá-lo com uma boa notícia. O passado de bactérias pode ser usado em nosso benefício no estudo das doenças mitocondriais – na verdade, alguns dos melhores modelos experimentais para essas moléstias são bactérias. Isso é importante porque é possível fazer todo tipo de experiências com bactérias que seriam impossíveis com células humanas. Um dos estudos mais ousados foi realizado por uma equipe de cientistas da Itália e da Alemanha. A doença estudada invariavelmente mata os bebês que nascem com ela. Chamada de cardioencefalomiopa-

tia, ela resulta de uma alteração genética que interrompe a função metabólica normal das mitocôndrias. Estudando um paciente portador da doença, a equipe europeia identificou um lugar no DNA que apresentava uma alteração suspeita. Conhecendo alguma coisa sobre a história da vida, eles então se voltaram para um microrganismo conhecido como *Paracoccus denitrificans*. O *Paracoccus* quase sempre é chamado de mitocôndria de vida livre porque seus genes e trilhas químicas são muito similares aos das mitocôndrias. A medida dessa semelhança foi revelada pela equipe europeia, que produziu a mesma alteração nos genes das bactérias que haviam sido observadas no paciente humano. O que se descobriu faz todo sentido, desde que conheçamos a nossa história. A equipe foi capaz de simular partes de uma doença mitocondrial humana numa bactéria, praticamente com a mesma alteração no metabolismo. Isso significa fazer trabalhar a nosso favor uma parte de muitos bilhões de anos de idade da nossa história.

O exemplo dos micróbios não é isolado. A julgar pelos Prêmios Nobel concedidos na medicina e na fisiologia nos últimos trinta anos, eu deveria ter chamado este livro de *Sua mosca interior*, *Seu verme interior* ou *Sua levedura interior*. Pesquisas pioneiras sobre moscas levaram o Prêmio Nobel de Medicina em 1995 por revelarem um conjunto de genes que constroem corpos em seres humanos e outros animais. Os Prêmios Nobel de Medicina em 2002 e 2006 agraciaram indivíduos que promoveram progressos significativos na genética e na saúde humanas ao estudar um vermezinho de aparência insignificante (*C. elegans*).² Igualmente, em 2001, análises de levedura (inclusive fermento de pão) e ouriços-do-mar ganharam o Nobel de Medicina por enriquecerem a nossa compreensão de parte da biologia básica de todas as células. Essas não são descobertas esotéricas feitas em criaturas obscuras e desprovidas de importância. As descobertas na levedura, nas moscas, nos vermes e – sim, senhor – nos peixes muito revelam a respeito do funcionamento do nosso corpo, das causas de muitas doenças que nos afligem e dos meios para desenvolver ferramentas de modo a tornar nossa vida mais longa e saudável.

²Nota da Revisora Técnica: *Caenorhabditis elegans*.

CONCLUSÃO

Na condição de pai de dois filhos pequenos, gasto bastante tempo visitando zoológicos, museus e aquários. Ser visitante nesses lugares é uma experiência estranha, porque há décadas os frequento, trabalhando nos acervos dos museus e até mesmo ajudando a preparar exposições de vez em quando. Durante as excursões familiares, acabei por me dar conta do quanto a minha vocação me torna alheio à beleza e à sublime complexidade do nosso mundo e do nosso corpo. Dou aulas e escrevo a respeito de milhões de anos de história e sobre bizarros mundos antigos, e em geral meu interesse é frio e analítico. Agora estou vivenciando a ciência com meus filhos – nos lugares onde, para começar, descobri o meu amor por ela.

Vivi um momento especial recentemente com meu filho no Museu da Ciência e Indústria em Chicago. Nós o visitamos regularmente há três anos, devido à paixão do garoto por trens e ao fato de haver ali uma enorme maquete de uma estação ferroviária em lugar de destaque. Já passei horas a fio nessa exposição, acompanhando as locomotivas de brinquedo em suas linhas férreas que vão de Chicago a Seattle. Após uma série de visitas semanais a esse templo para fanáticos por trens, Nathaniel e eu andamos por corredores do museu que não havíamos visitado durante o período exclusivamente devotado aos trens, afora ocasionais desvios para apreciar os tratores e aviões em tamanho natural. Nos fundos do museu, no Henry Crown Space Center, vimos planetas em miniaturas que pendiam do teto e roupas espaciais em vitrines, juntamente com outras lembranças do programa espacial das décadas de 1960 e 1970. Eu supunha que nos fundos do museu veria coisas triviais, não merece-

doras do privilégio de figurar nas exposições principais. Admiramos uma cápsula espacial em mau estado em volta da qual se podia circular e espiar lá dentro. Não parecia importante. Era pequena demais e meio ordinária para ter alguma importância genuína. A placa tinha um tom estranhamente formal, e precisei ler várias vezes antes de digerir a informação: ali estava o Módulo de Comando original da *Apolo 8*, o próprio veículo em que embarcaram James Lovell, Frank Borman e William Anders na primeira viagem de ida e volta à Lua. Aquela era a nave espacial cuja jornada acompanhei durante as férias de Natal na terceira série, e lá estava eu, 38 anos mais tarde com meu próprio filho, olhando para ela. Claro que estava em mau estado. Dava até para ver as cicatrizes do seu retorno à Terra. Nathaniel não demonstrou um pingão de interesse, o que me fez tentar lhe explicar do que se tratava. Mas não consegui fazer. Minha voz ficou tão embargada de emoção que mal pude emitir uma palavra. Passados alguns minutos, me recompos e contei a ele a história da viagem do homem à Lua.

Mas a história que não poderei contar a meu filho até que ele seja mais velho é por que perdi a fala de tanta emoção. A verdade é que a *Apolo 8* é um símbolo do poder da ciência para explicar o nosso universo e torná-lo conhecido. Por mais que se discuta até que ponto o programa espacial tem a ver com ciência ou com política, o fato central permanece tão claro hoje quanto era em 1968: a *Apolo 8* foi um produto do otimismo essencial que move a ciência de melhor qualidade. Ela exemplifica como o desconhecido não deve provocar desconfiança, medo ou refúgio na superstição, mas, sim, representar uma motivação para continuar indagando e buscando respostas.

No caso do programa espacial, o aprendizado residia no sistema solar; no da anatomia, da paleontologia e da genética, ele reside dentro de nós. Vivemos numa era de descobertas, quando a ciência está revelando o funcionamento interno de criaturas tão distintas quanto águas-vivas, vermes e camundongos. Temos agora o vislumbre de uma solução para um dos maiores mistérios da ciência – as diferenças genéticas que distinguem os humanos de outras criaturas vivas. Combinemos essas potentes noções novas com o fato de que algumas das descobertas mais importantes da paleontologia – novos fósseis e novas ferramentas para analisá-los – vieram à luz nos últimos vinte anos e veremos as verdades da nossa história com uma precisão cada vez maior. Recuando ao longo de bilhões de anos de mudanças, tudo de inovador ou aparentemente ímpar na história da vida na verdade não passa de roupa velha que foi reciclada, reprogramada ou de alguma outra forma reformada para novos

usos. Esta é a história de cada parte de nós, desde os nossos órgãos dos sentidos até nossa cabeça, na verdade de todo o nosso projeto corporal.

O que significam bilhões de anos de história para a nossa vida hoje? Respostas a perguntas fundamentais que encaramos – sobre o funcionamento dos nossos órgãos, cura para doenças e o nosso lugar na natureza – virão da compreensão de como nosso corpo e nossa mente emergiram de partes comuns a outras criaturas vivas. Posso imaginar poucas coisas mais belas ou intelectualmente profundas do que descobrir a base da nossa humanidade e os remédios para muitas das mazelas que sofremos escondidos em algumas das criaturas mais humildes que já viveram em nosso planeta.

NOTAS, REFERÊNCIAS E LEITURAS ADICIONAIS

CAPÍTULO 1

Inclui um misto de fontes primárias e secundárias para os que tiverem interesse em se aprofundar nos tópicos abordados no livro. Para depoimentos que utilizam expedições paleontológicas *saurs of the Flaming Cliffs*, de Mike Novacek (Nova York: Anchor, 1997); *Life on a Young Planet*, de Andrew Knoll (Princeton: Princeton University Press, 2002) e *Swimming in Stone*, de John Long (Melbourne: Freemantle Press, 2006). Todos combinam análise científica com descrições de descobertas no campo.

Os métodos comparativos que abordo, inclusive aqueles usados em nosso passeio pelo zoológico, são os métodos dos cladísticos. Uma visão geral excelente está em *In Search of Deep Time*, de Henry Gee (Nova York: Free Press, 1999). Basicamente, apresento uma versão da análise dos três taxons, o ponto de partida para comparações cladísticas. Uma boa abordagem com fontes de apoio pode ser vista em "The Lungfish, the Coelacanth and the Cow Revisited", de Richard Forey et al. em *Origin of the Higher Groups of Tetrapods*, editado por H.-P. Schultze e L. Truab (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1991).

A correlação entre o registro fóssil e o nosso "passeio pelo zoológico" é abordada em vários estudos. Veja a seguinte amostragem: "Congruence between phylogenetic and stratigraphic data in the history of life", de M. J. Benton e R. Hitchin, *Proceedings of the Royal Society of London*, B 264:885-890(1997); "Congruence between superpositional and phylogenetic patterns: Comparing cladistic patterns with fossil records", de M.A. Norell e M.J. Novacek, *Cladistics* 8:319-337(1992); "Age-rank/clade rank metrics – sampling, taxonomy, and the meaning of 'stratigraphic consistency'", de P.J. Wagner e C. Sidor, *Systematic Biology* 49:463-479(2000).

As camadas da coluna rochosa e os fósseis nelas contidos são ampla e magnificamente abordados em *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth*, de Richard Forey (Nova York: Knopf, 1998). Fontes para a paleontologia dos vertebrados incluem *Vertebrate Paleontology and Evolution*, de R. Carroll (São Francisco: W.H. Freeman, 1987) e *Vertebrate Paleontology*, de M.J. Benton (Londres: Blackwell, 2004).

A respeito da origem dos tetrápodes: Carl Zimmer abordou a situação atual no campo em sua obra agradável de ler e bem pesquisada *At the Water's Edge* (Nova York: Free Press, 1998). Jenny Clack escreveu o texto definitivo sobre toda a transição, *Gaining Ground* (Bloomington: Indiana