

rei a esse assunto num capítulo posterior. Enquanto isso, existem outras coisas que podemos fazer num computador, mas não em relação aos biomorfos.

Uma das principais características que tornam os biomorfos tão inacessíveis para a seleção natural é que são feitos de pontos fluorescentes num tela bidimensional. Esse mundo bidimensional não se presta, na maioria dos aspectos, à física do mundo real. Qualidades como a agudeza dos dentes dos predadores e a eficiência do escudo protetor das presas, valores quantitativos como a força muscular para debelar o ataque de um predador ou a virulência de um veneno não surgem naturalmente num mundo de pontos luminosos bidimensionais. Será que poderíamos imaginar uma situação real de presa e predador, por exemplo, que de fato se prestasse para simulação numa tela bidimensional, naturalmente e sem artificialismos arbitrários? Felizmente podemos. Já mencionei teias de aranha ao discutir sobre armadilhas designóides. As aranhas possuem corpos tridimensionais e vivem num mundo complexo de física normal como a maioria dos animais. Mas existe um aspecto particular em relação ao modo como algumas delas caçam que é peculiarmente adequado a uma simulação bidimensional. Uma típica teia orbicular é, para todos os efeitos, uma estrutura bidimensional. Os insetos que ela aprisiona se movem em terceira dimensão, mas na hora da verdade, em que são capturados, ou escapam, toda a ação se passa num plano bidimensional, o plano da teia. A teia de aranha é, a meu ver, uma boa candidata a uma simulação interessante de seleção natural numa tela bidimensional de computador. O próximo capítulo é dedicado à história das teias de aranha, começando por sua história natural (das teias de aranha verdadeiras) e avançando para os modelos computadorizados de teias e sua evolução através da seleção "natural" do computador.

Dawkins, R. 1998. A escalada do monte impossível. Cia das Letras, 372p.

2

ALGEMAS DE SEDA

Uma forma de ordenar nosso entendimento sobre as criaturas vivas é imaginar, fantasiosamente e indo um pouco além do meramente poético, que elas (ou, se você preferir, o inventor hipotético de tais criaturas) se deparam com uma série de problemas ou tarefas. Primeiro apresentamos o problema inicial e a seguir pensamos em soluções satisfatórias. Depois disso, observamos o que essas criaturas realmente fazem. Isso em geral nos leva a perceber um novo problema que desafia aquele tipo de animal e o ciclo continua. Fiz isso no segundo capítulo de *O relojoeiro cego* com os morcegos e suas sofisticadas técnicas de ecolocalização. Aqui, seguirei a mesma estratégia para as teias de aranha. Note que a progressão criada à medida que um problema leva a outro não deve ser considerada uma marcha ao longo de toda a vida de um animal. Se for uma progressão temporal, a escala de tempo será evolutiva; entretanto, por vezes poderá ser lógica e não temporal.

Nossa principal tarefa é encontrar um método eficiente de capturar insetos para comer. Uma solução possível é a do andorinhão. Capture suas presas no ar. Voe velozmente com a boca aberta, usando seus olhos aguçados para mirar com precisão. Esse método funciona para andorinhões e andorinhas, mas requer investimentos custosos em equipamentos para vôos de alta velocidade e em sistemas de manobras e orientação de alta tecnologia. O mesmo se aplica no caso da solução encontrada pelo morcego, que é o equivalente noturno de guiar um míssil através de sinais sonoros, em vez de raios de luz.

Uma possibilidade completamente diferente é “sentar e esperar”. Os louva-a-deus, camaleões e alguns outros lagartos que evoluíram independente e convergentemente até se tornarem semelhantes aos camaleões aplicam esse método, permanecendo bem camuflados e se movendo de maneira agonizantemente lenta e furtiva até o golpe final e explosivo de suas patas ou língua. O alcance da língua do camaleão lhe permite pegar uma mosca em qualquer ponto a uma distância comparada ao comprimento de seu próprio corpo. O alcance das patas dianteiras do louva-a-deus tem, proporcionalmente, a mesma ordem de magnitude. Imagine-se que esse projeto seria melhorado com um aumento do raio de captura. Mas línguas e patas muito maiores que o comprimento do próprio corpo seriam proibitivamente dispendiosas para ser construídas e mantidas: as moscas extras que capturassem não compensariam o seu custo. Podemos imaginar um modo mais barato de aumentar o “alcance” ou raio de captura?

Por que não construir uma rede? As redes têm que ser feitas de algum material e isso não sairá de graça. Mas diferentemente da língua do camaleão, o material da rede não precisa se mexer, portanto não requer tecido muscular volumoso. Pode ser tão fina quanto a seda e, portanto, longa o suficiente para cobrir uma área muito maior a baixos custos. Se a proteína da carne que seria usada em patas ou línguas musculosas fosse reprocessada sob a forma de seda, ela percorreria uma distância muito maior do que o alcançado pela língua de um camaleão. Não há razão para que a rede não possa ocupar uma área cem vezes maior que a do corpo do animal e ainda assim ser feita economicamente, através de secreções de pequenas glândulas do organismo.

A seda é uma mercadoria amplamente difundida entre os artrópodes (a maior divisão do reino animal à qual pertencem insetos e aranhas). Algumas lagartas se ancoram às árvores utilizando um único fio desse material. As formigas tecelãs costuram folhas umas às outras usando a seda expelida por larvas que ficam fixas em suas mandíbulas e fazem o papel de máquinas de costura vivas (figura 1). Muitas lagartas se envolvem em casulos de seda antes de se transformar em adulto alado. Outras revestem as árvores onde vivem com uma camada fina de fios de seda, deixando-as macias. Um único bicho-da-seda tece aproximadamente 1,5 qui-

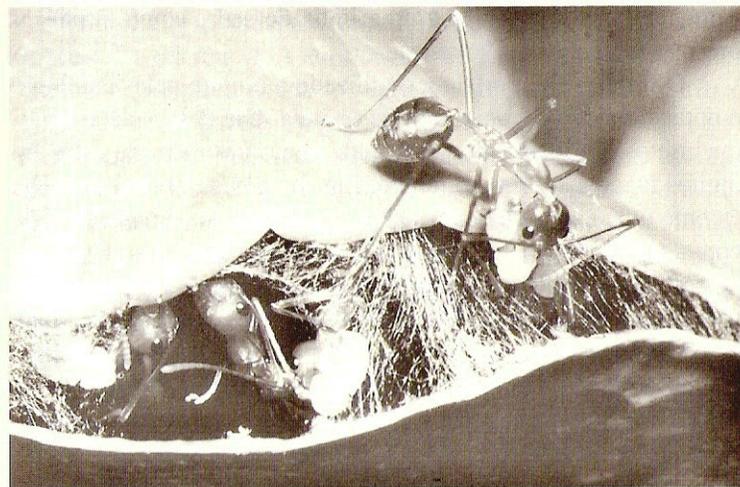


Figura 1. Operárias com seda. Formigas tecelãs usando larvas como máquinas de costura vivas. *Oecophila smaragdina*, da Austrália.

lômetro de fio de seda ao construir seu casulo. Mas apesar de os bichos-da-seda serem a base de nossa própria indústria da seda, as aranhas é que são os produtores verdadeiramente virtuosos de seda do reino animal, e é surpreendente que a humanidade não se utilize melhor e mais amplamente de suas teias. A seda de aranha é usada para a calibragem focal em microscópios. Em seu belo livro *Self-made man*, o zoólogo e artista Jonathan Kingdon especula acerca da possibilidade de a seda das teias de aranha ter inspirado as crianças na invenção de um dos instrumentos mais vitais da tecnologia, o barbante. Os pássaros também reconhecem as boas qualidades da seda das aranhas como material: sabe-se que 165 espécies (pertencentes a 23 famílias independentes, o que sugere que o fato tenha sido descoberto muitas vezes independentemente) incorporam seda de aranha na fabricação de seus ninhos. Uma típica aranha sedentária, a aranha de jardim *Araneus diadematus*, produz seis tipos diferentes de seda a partir de suas fiandeiras glândulas separadas em seu abdome, e as utiliza alternadamente com diferentes propósitos. As aranhas já usavam a seda muito antes que sua habilidade para construir teias circulares evoluísse. Mesmo as papa-moscas, que nunca constroem teias, dão

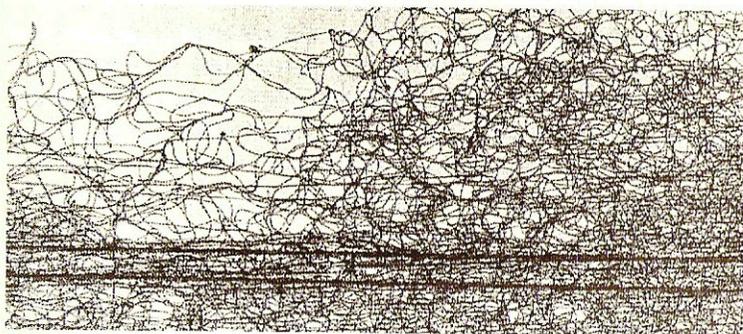
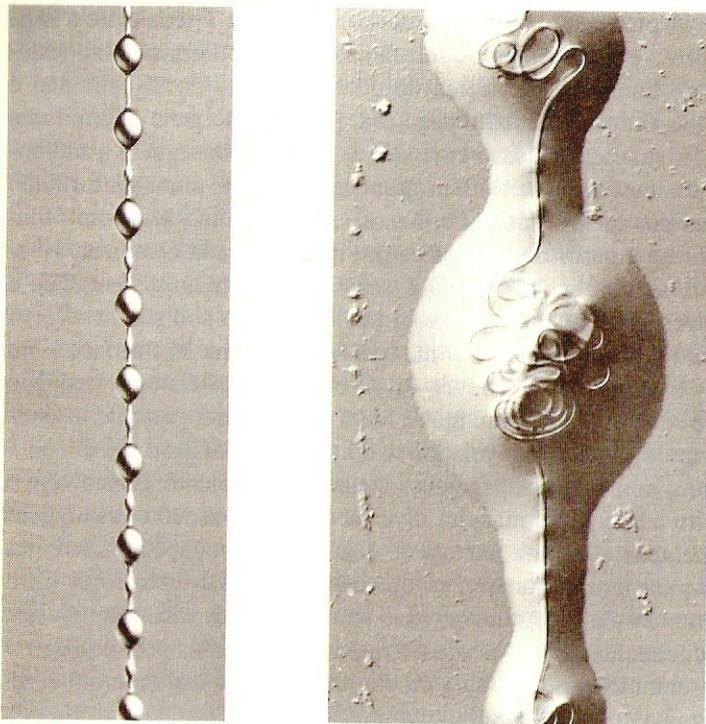
cambalhotas no ar presas a uma linha de seda, como alpinistas presos a ganchos de segurança.

O fio de seda, portanto, é utilizado há muito pelas aranhas e é notavelmente adequado para tecer uma rede destinada a capturar insetos. Podemos pensar na rede como um meio de estar em muitos lugares ao mesmo tempo. Em sua devida escala, a aranha é como uma andorinha com a abertura de boca de uma baleia. Ou como um camaleão com uma língua de quinze metros. Uma teia de aranha é soberbamente econômica. Enquanto a língua muscular de um camaleão corresponde a certamente uma fração substancial de seu peso corporal total, o peso da seda de uma teia de aranha — dos vinte metros que são gastos em uma teia grande — é menor que a milionésima parte do peso corporal da aranha. Além disso, a aranha recicla a seda após o uso comendo-a, e portanto muito pouco é desperdiçado. Entretanto, a tecnologia das teias gera seus próprios problemas.

Um problema não muito trivial para uma aranha é certificar-se de que uma presa fique grudada na teia depois de ter se enroscado nela. Existem dois perigos. O inseto poderia arrebentar facilmente a teia e atravessá-la direto. Isso poderia ser resolvido com uma teia elástica, o que agravaria o segundo perigo: agora o inseto bate na teia e volta, como se estivesse em um trampolim. A seda ideal, a fibra dos sonhos de qualquer pesquisador de química, se esticaria amplamente para absorver o impacto do inseto que a atinge voando velozmente e, ao mesmo tempo, evitaria o efeito trampolim, retornando suavemente à posição original. Pelo menos alguns tipos de seda de aranha têm exatamente essas propriedades, graças à complexidade da estrutura da seda em si, elucidada pelo professor Fritz Vollrath e seus colegas de Oxford e agora também de Aarhus, Dinamarca. A fibra de seda mostrada em grande aumento nas figuras 2 e 3 é muito mais longa do que parece, pois a maior parte de sua extensão está enrolada no interior de contas aquosas. É como um colar cujas contas contêm um excedente de fio bobinado. O bobinamento é feito por um mecanismo ainda não completamente elucidado, mas o resultado não é posto em dúvida. Os fios da teia são capazes de esticar até uma distância equivalente a dez vezes o comprimento que apresentam quando em repouso e também se retraem com vagar suficiente para que não arremessem a presa para longe.

A próxima qualidade necessária para que a seda evite a fuga da presa é a aderência. A substância que recobre a seda no sistema de bobinamento acerca do qual acabamos de discutir não é apenas fluida. É também pegajosa. Basta um toque e é difícil que um inseto escape. Mas nem todas as aranhas conseguem a aderência da mesma maneira. Um grupo diferente de aranhas, formado pelas chamadas aranhas cribeladas, produz uma seda multifilamentosa a partir de uma placa produtora de seda chamada cribello. A aranha então penteia a seda multifilamentosa passando-a através de um pente feito sob medida, fixado sob sua cabeça. A seda multifilamentosa assim, “penteada”, arma-se formando um novo embaraçado (figura 4). O emaranhado é muito pequeno para ser visto a olho nu, mas é ideal para prender patas de insetos. Os múltiplos fios enovelados se comportam como se fossem aderentes, como os fios pegajosos vistos anteriormente. Eles obtêm o efeito aderente de maneira diversa. Em certo aspecto, as aranhas cribeladas têm uma vantagem. Seus fios permanecem aderentes por mais tempo. As aranhas que não possuem cribelo e que utilizam cola têm que renovar suas teias pegajosas todas as manhãs. Reconhecidamente — e quase que incrivelmente — isso pode representar menos de uma hora de trabalho, mas cada minuto é importante quando o assunto é a seleção natural.

No entanto, fios aderentes apresentam um novo e irônico problema. Sejam cobertos de cola ou emaranhados, fios suficientemente pegajosos para prender um inseto representam um risco para a própria aranha. As aranhas não possuem qualquer tipo de imunidade mágica, mas a tecnologia da evolução oferece uma miscelânea de soluções parciais para o perigo escondido por trás de seu próprio objetivo. As patas das aranhas que se utilizam de cola são untadas com um óleo especial que confere certa proteção contra a aderência. Isso foi demonstrado mergulhando as patas das aranhas em éter, que remove a película de óleo e, com ela, sua proteção. Uma segunda solução parcial adotada pelas aranhas é construir alguns dos fios não pegajosos, justamente aqueles que formam as principais linhas que irradiam do centro da teia. A própria aranha se locomove por esses raios principais usando pés especialmente modificados, que terminam em pequenas garras capazes de se prender aos fios finos. (Aranhas macho também cons-



2. Contas ao longo do fio de seda de uma teia de aranha.
3. Uma conta aumentada mostrando fio de seda enovelado em seu interior, agindo como um molinete.
4. Um modo alternativo de tornar uma teia pegajosa: fio "penteado" de uma aranha cribelada.

troem teias. Para maiores explicações acerca de minha linguagem sexista, ver p. 51.) Ela evita as espirais pegajosas que se desenrolam por sobre toda a armação formada pelos raios. Isso é fácil de fazer porque ela normalmente senta e espera no centro da teia, de modo que a distância mais curta até determinado ponto da teia seria percorrida, de qualquer forma, através de um raio.

Voltemo-nos agora para a série de problemas que desafia uma aranha na construção de sua teia. Nem todas as aranhas são iguais e, para todos os efeitos, tomarei como exemplo a familiar aranha de jardim, *Araneus diadematus*.^{*} Nosso problema inicial — ou melhor, o problema inicial da aranha — é como fixar o primeiro fio ao longo do espaço escolhido, digamos entre uma árvore e uma rocha, onde ficará a teia. Uma vez que o vão tenha sido atravessado por esse primeiro fio vital, a aranha pode usá-lo como ponte. Mas como construir a primeira ponte? O jeito pedestre seria descer, dar toda a volta e subir do outro lado, arrastando o fio consigo. Às vezes as aranhas fazem isso, mas será que não há uma solução mais criativa para o problema? Vamos especular. Será que não poderíamos aproveitar de alguma forma as propriedades de leveza e vaporosidade da própria seda? Sim. Eis como a aranha o faz, se houver vento suficiente. Ela desprende um único fio com

(*) Preciso utilizar-me de nomes em latim e espero que me seja permitida uma nota de rodapé didática sobre as convenções que controlam esse tipo de nomenclatura, pois um número surpreendente de pessoas escoladas as interpreta mal (talvez as mesmas pessoas que se assustam ao se deparar com a obra-prima de Darwin, *A origem das espécies*). Os nomes em latim apresentam duas partes: um nome genérico (por exemplo, *Homo*, que representa um gênero) seguido de um nome específico (por exemplo, *sapiens*, que é a única espécie sobrevivente do gênero *Homo*), ambos escritos em itálico ou sublinhados. Nomes de unidades maiores não são italizados. O gênero *Homo* pertence à família Hominidae. Os nomes genéricos são únicos. Existe apenas um gênero *Homo* e apenas um gênero *Vespa*. É comum que as espécies compartilhem um mesmo nome com outras espécies de diferentes gêneros, mas não há confusão devido à singularidade do nome genérico: *Vespa vulgaris* é uma vespa, sem risco algum de ser confundida com o *Octopus vulgaris* (polvo). O nome genérico sempre começa com uma letra maiúscula, mas o nome específico nunca (isso tem sido usado atualmente, apesar de a convenção original afirmar que ele poderia começar com letra maiúscula quando derivado de um nome próprio. Até *Darwinii* seria escrito *darwinii* atualmente). Se você vir alguma vez (e verá freqüentemente) *Homo Sapiens* ou *homo sapiens*, saiba que ambas as formas são erradas.

uma minúscula pipa de seda achatada, fixada em uma das extremidades. Essa pipa flutua e é levada pelo vento. A pipa é pegajosa e, se porventura pousar em uma superfície firme do outro lado do vão, certamente aderirá a ela. Se a pipa não tocar em nada, a aranha a recolhe, recicla a preciosa seda devorando-a e tenta mais uma vez, com outra pipa. Por fim, uma ponte aproveitável estende-se através do vão e a aranha então pode fixar a extremidade que está em seu poder. Agora a ponte está pronta para ser cruzada.

É pouco provável que a primeira ponte fique tesa porque o comprimento do fio será estabelecido por mera casualidade: não é feito sob medida para aquele vão em particular. A aranha agora poderá encurtá-lo para que sirva como uma das bordas da teia ou arrastá-lo para baixo para formar um V que dará origem a dois dos principais raios da teia. O problema nesse ponto é que, apesar de o fio poder ser puxado para baixo para formar um V, é pouco provável que o V seja suficientemente profundo para originar dois raios respeitáveis. A solução encontrada pela aranha não é modificar a ponte em si, mas usá-la como apoio enquanto a substitui por um novo fio, mais longo que o primeiro. Eis como ela concretiza essa idéia. Posicionada em um dos lados da ponte, ela começa a expelir uma nova linha de sua fiandeira e a fixa firmemente em algum ponto. Então, ela parte a ponte existente, mordendo-a enquanto mantém a ponta cortada sob sua pata. Ela atravessa o vão sustentada pelo restante da ponte partida que se estende à sua frente, deslocando-se decididamente até atravessar toda a sua extensão. Como o segmento da ponte original cruzado por ela já serviu ao seu propósito, ela o devora. Dessa maneira surpreendente, comendo sua antiga ponte enquanto se desloca e construindo uma nova atrás de si, ela atravessa de um lado para o outro. Além disso, sua porção posterior está produzindo seda muito mais rapidamente do que sua porção dianteira seria capaz de comer. Portanto, a nova ponte é mais longa que a anterior, sendo o processo inteiro cuidadosamente controlado. Agora, firmemente atado nas duas extremidades, o fio pende para baixo, tendo o comprimento ideal para esticar-se e formar o V que constitui o centro da teia.

Para fazer isso, a aranha recua para o centro da nova ponte e seu próprio peso a transforma de um V frouxo e pendente em um V teso. Os braços do V estão posicionados para que formem os

dois raios principais da teia. Não há grandes dúvidas a respeito de qual seja o próximo raio a ser construído. Seria uma boa idéia desprender uma linha perpendicular a partir da ponta do V para assegurar que o futuro centro fique no lugar e para manter o V teso mesmo quando o peso da aranha não estiver em seu vértice. A aranha fixa um novo fio na ponta do V e vai baixando à medida que desenrola o fio, como se fosse uma calha indo em direção ao solo ou alguma outra superfície adequada, onde ela prende o fio vertical. Agora os três raios principais da teia estão perfeitamente posicionados e lembram um Y.

As próximas duas tarefas são construir o restante dos raios que se irradiam do centro da teia e armar a moldura que ficará em torno de suas margens. A aranha frequentemente consegue realizar com habilidade as duas tarefas ao mesmo tempo, usando técnicas incrivelmente astutas por meio das quais controla ao mesmo tempo dois ou três fios que são separados posteriormente, à medida que ela se locomove pelos raios já existentes. Nas primeiras provas deste livro, o capítulo 1 explicava exatamente como esse truque é feito, mas tive muita dor de cabeça até conseguir esclarecer todos os detalhes. Quando um de meus editores reclamou que também teve problemas tentando entender o texto, fui persuadido relutantemente a excluir os detalhes. O resultado dessa fase da operação da aranha é um círculo completo com 25 a trinta raios (o número varia de espécie para espécie e de indivíduo para indivíduo) e temos finalmente o esqueleto básico da teia. Mas a teia ainda se parece com uma roda de bicicleta, com uma grande área composta de espaços vazios por onde um inseto passaria facilmente. Mesmo que o inseto atingisse um dos fios, não seria capturado, pois eles não são aderentes. Precisamos agora de muitos fios que cruzem esses raios. Existem muitos meios pelos quais esses fios poderiam ser inseridos. Por exemplo, a aranha poderia cuidar de cada vão separadamente, zigzagueando de um lado para o outro enquanto se desloca do centro em direção à margem, depois dando meia-volta e preenchendo o vão seguinte. E assim por diante. Mas isso envolveria inúmeras mudanças de direção e tais mudanças desperdiçam tempo e energia. Uma solução melhor é dar voltas pela teia desenhando uma espiral, e é exatamente isso que a maioria das aranhas faz, embora também zigzagueiem ocasionalmente.

Mas, independentemente de elas zigzaguearem ou andarem em espiral, existem outros problemas. Preparar o fio aderente que terá a função de capturar insetos é um assunto que envolve precisão. O espaçamento da malha deve ser exato. As junções entre os raios e os fios aderentes devem ser posicionadas primorosamente, para que os raios não acabem se transformando numa grande bagunça, deixando buracos abertos por onde as presas possam escapar. Se a aranha tentasse obter esse posicionamento delicado enquanto se equilibrasse somente nos raios, o peso de seu próprio corpo provavelmente os desalinhará e a espiral aderente seria fixada no lugar errado, com a tensão errada. Além disso, os vãos próximos à margem externa da teia serão quase sempre largos demais para que a aranha consiga cobrir sua extensão com as patas. Esses dois problemas podem ser amenizados se ela começar a espiral do centro e caminhar em direção às margens. Nas proximidades do centro, os vãos são mais estreitos e há menos risco de os raios se distorcerem sob o peso da aranha, pois são sustentados uns pelos outros. À medida que se caminha em direção à margem, os vãos necessariamente se alargam, mas não há problema: enquanto cada anel da espiral é posicionado, o anel anterior e mais interno oferece sustentação, como se fosse uma ponte colocada entre eles. No entanto, o problema desse método é que o tipo de fio adequado para capturar insetos é muito delgado e elástico. Ele não oferece muito apoio. Quando toda a espiral está terminada, a teia é bastante robusta, mas no decorrer do processo de construção trata-se de uma teia incompleta e, portanto, fraca.

Esse é o problema principal quando se trata de construir a delgada espiral de captura, mas não é o único. Lembre-se de que, apesar de os fios radiais não serem aderentes, e portanto amigáveis para as patas das aranhas, agora nos referimos aos fios pegajosos especificamente desenvolvidos para aprisionar insetos. Já constatamos que as aranhas não são completamente imunes à aderência de suas próprias teias. Mesmo se fossem, usar cada volta da espiral como ponte para construir a próxima acabaria por remover um pouco de sua preciosa aderência. Portanto, apesar de parecer uma boa idéia construir a espiral aderente do centro para o exterior, usando o anel anterior como apoio, pode haver, literal e metaforicamente, uma pegadinha.

A aranha está a par dessas dificuldades. A solução encontrada por ela poderia facilmente ocorrer a um empreiteiro humano: construir andaimes temporários. Ela *realmente* constrói a espiral do centro para fora. Mas não a armadilha espiral definitiva, feita de seda pegajosa, e sim uma espiral “auxiliar” especial, que utiliza uma só vez para ajudá-la a construir, em seguida, a espiral aderente. A espiral auxiliar não é aderente e é decerto mais espaçada que a espiral aderente definitiva. Não serviria para capturar insetos. Mas é mais resistente que a espiral definitiva. Ela se enrijece e suporta a teia, oferecendo condução segura por entre os raios, condução essa que se mostrará fundamental no momento em que a aranha realmente for construir a autêntica espiral aderente. A espiral auxiliar despende apenas sete ou oito voltas para ir do centro à margem da teia. Tendo completado essas voltas, a aranha desliga suas glândulas de seda não aderente e revela suas verdadeiras armas: as comportas especializadas em seda aderente e mortal. Ela segue o mesmo caminho agora da margem em direção ao centro, deslocando-se com passos mais firmes e uniformes que os dados na jornada contrária. Usa a espiral temporária auxiliar como andaime e também como guia (através do tato). E, à medida que caminha, corta cada pedaço da espiral auxiliar depois que tenha servido ao seu propósito. A nova espiral fina e pegajosa é presa a cada raio à medida que ele é cruzado, resultando em emendas elegantes que lembram as costuras feitas em redes de pescador ou alambrados. A propósito, o andaime temporário não é seda desperdiçada, pois seus fragmentos permanecem presos aos raios e são posteriormente comidos, assim como o resto da teia, no momento em que a aranha por fim a desmonta. Ela não come imediatamente a seda auxiliar, pois, presumivelmente, destacar cada fragmento seria perda de tempo.

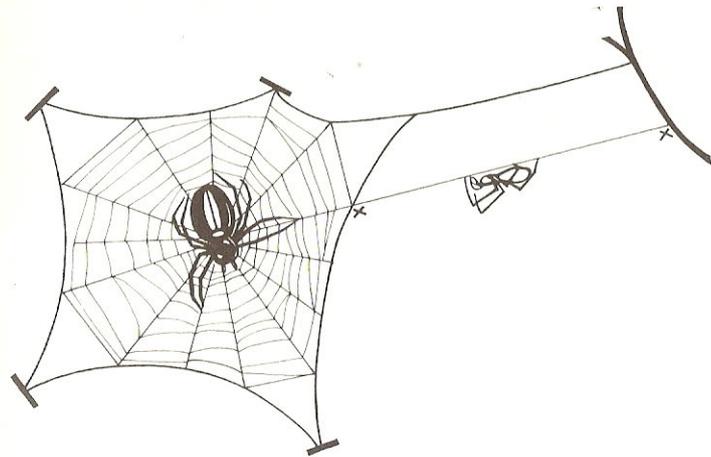
Quando a aranha chega ao centro em sua jornada espiral, a teia ainda não está completa. Existem alguns ajustes de tensão a serem feitos: um serviço que requer habilidade e precisão, parecido com a afinação de um instrumento de cordas. Ela permanece no centro da teia e puxa os fios com suas patas para sentir a tensão, ajusta ou afrouxa os segmentos que estiverem irregulares, depois se vira e repete a manobra de outro ângulo. Algumas aranhas realizam complicados trabalhos de crochê pela teia, que podem ser usados para distribuir melhor a tensão.

Mencionar instrumentos de corda instiga uma digressão masculina. Eu me referi à aranha nessa história como “ela”, não porque machos não construam teias — eles o fazem, e até mesmo aranhas recém-nascidas podem construir teias em miniatura —, mas porque as fêmeas são maiores e mais proeminentes. Associe o fato de a aranha fêmea ser muito maior que o macho com o fato de que as aranhas, não importa a idade ou o sexo, comem qualquer coisa que se mexa e seja menor que elas e você perceberá que existem alguns problemas que os machos têm que enfrentar. As aranhas servem de alimento para besouros, formigas, centopéias, sapos, lagartos, musaranhos e muitos pássaros. Grupos inteiros de vespas são especializados em capturar apenas aranhas, para com elas alimentar suas larvas. No entanto, os predadores mais importantes das aranhas são provavelmente outras aranhas e elas não respeitam as fronteiras entre espécies. Qualquer aranha que se aventure na teia de uma aranha maior estará correndo perigo de vida, mas esse é um risco que um macho deve correr caso esteja disposto a cumprir seu dever.

A maneira exata pela qual o macho enfrenta o problema varia de espécie para espécie. Em alguns casos, ele embrulha uma mosca num pacote de seda e presenteia a fêmea. Ele aguarda até que as presas de fêmea estejam seguramente cravadas na mosca antes de acionar o seu aparato sexual. Os machos que não possuam um embrulho contendo uma mosca podem ser devorados. Por outro lado, os machos às vezes escapam da morte apresentando à fêmea um pacote vazio ou roubando a comida das mandíbulas dela e fugindo logo após o acasalamento, talvez para oferecer a outra fêmea. Em outras espécies, os machos confiam no fato de que, imediatamente após uma aranha ter sofrido a muda, seu novo exoesqueleto ainda não enrijeceu e ela se encontra mais ou menos indefesa. Esse é o momento, se é que esse momento existe, em que há uma chance para as aranhas macho, e em muitas espécies a cópula só ocorre imediatamente após a fêmea ter passado pela muda, quando se encontra macia e flexível, ou pelo menos desarmada.

Outras espécies utilizam uma técnica mais atraente, causadora de minha digressão. As teias de aranha habitam um mundo de tensão de seda. Os fios de seda são como patas extras, antenas rastreadoras de radar, quase como olhos e ouvidos. Os eventos são

compreendidos através de uma linguagem de retesamentos e afrouxamentos, alongamentos e relaxamentos, mudanças alternadas de tensão. Os fios que tocam o coração da fêmea são de seda suave e tesa. Se um macho deseja galanteá-la e evitar ser devorado, ou pelo menos adiar esse momento, é melhor que ele toque nesses fios. O próprio Orfeu não daria conselho melhor. Em alguns casos, o macho se posiciona na borda da teia da fêmea e dedilha os fios como se estivesse dedilhando uma harpa (figura 5). Essa vibração rítmica é algo que nenhuma presa é capaz de fazer e parece aplacar os ânimos da fêmea. Em muitas espécies, o macho aumenta sua distância em relação à teia, prendendo a ela um “fio de acasalamento” especial. Ele tange esse fio especial como um jazzista com um baixo de uma corda. As vibrações são transmitidas ao longo do fio de acasalamento e ressoam por toda a teia da fêmea. Elas suprimem ou adiam o ímpeto normal que ela tem de se alimentar e a instigam a andar ao longo do fio, em direção à fonte da vibração, onde ocorre o acasalamento. O fim da história nem sempre é feliz para o corpo mortal do macho, mas seus genes imortais estão agora seguramente armazenados no interior da fêmea. O mundo abriga um número considerável de aranhas cujos ancestrais machos morreram após o acasalamento. O mundo está

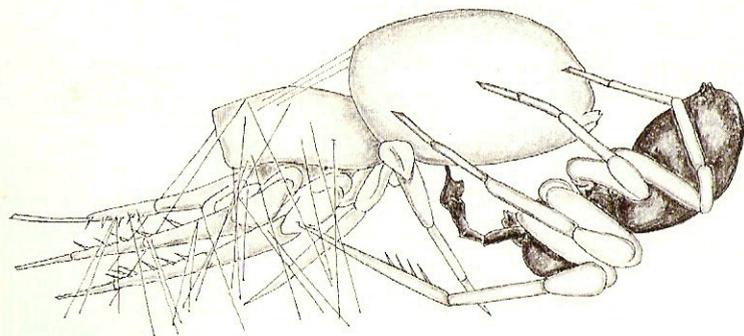


5. Cautela: aranha macho com fio de acasalamento preso à teia da fêmea.

privado de aranhas cujos pretendentes a ancestrais nem chegaram a se acasalar.

Antes de abandonar essa discussão sobre sexo e seda, interprete a seguinte história como quiser. Existem espécies de aranhas nas quais o macho prende a fêmea com fios de seda, ao estilo Gulliver, antes do acasalamento (figura 6). Alguns podem achar que ele está se aproveitando do fato de que o impulso sexual da fêmea tenha eclipsado temporariamente seu instinto predador, prendendo-a para conseguir escapar antes que seu ímpeto de se alimentar esteja de volta. Conto a história que ouvi: o fato é que, depois do acasalamento, a fêmea não encontra dificuldade alguma para se livrar de suas algemas de seda e se levantar sozinha. Talvez a sujeição ritual seja um vestígio simbólico de um comportamento ancestral. Ou talvez a fêmea fique presa o tempo suficiente para dar vantagem ao macho que está tentando escapar. Afinal, ele não pode esperar que ela fique presa para sempre: ela deve estar livre para pôr seus ovos, do contrário todo o perigoso empreendimento teria sido geneticamente inútil.

Voltemos ao tópico principal das teias circulares e de como são construídas e utilizadas. Havíamos deixado a aranha construtora de teias no centro de sua teia, atenta aos ajustes finos, quando o processo de construção chegou ao fim. Para retomar nossa lista de problemas e soluções, uma malha que seja fina o suficiente para capturar insetos é fina demais para permitir que a aranha atravesse



6. Aranha macho prendendo uma fêmea maior com fios de seda.

de um lado para o outro da teia. O longo retorno feito pela borda da teia é freqüentemente evitado pelo simples recurso de uma "zona livre". Essa zona em geral é um anel ao redor do centro que permanece livre do fio espiral aderente. Em algumas espécies, do gênero Zygiella, por exemplo, a teia possui um único segmento radial que permanece livre. Apesar de eu ter apresentado esse vão como um conduto que leva de um lado a outro da teia, ele pode ser menos importante para esse fim do que imaginamos, pois a Zygiella não fica no centro da teia como fazem muitas outras aranhas. Fica em seu próprio abrigo tubular, deslocado para um dos lados, por uma razão que remete ao nosso próximo problema de aranha.

Como vimos, as próprias aranhas não são invulneráveis a serem comidas, por exemplo, por pássaros. Com exceção de certos ângulos de luz ou de quando está coberta de orvalho, a teia, por ser tão fina, é muito difícil de visualizar. Sua construtora, posicionada bem no centro, é normalmente sua característica mais visível. Quando se é gordo e visível aos olhos dos pássaros, existem muitas razões para manter-se fora de sua teia. Por outro lado, está na natureza caçadora da aranha ficar sentada à espera de suas presas por longos períodos e o centro é o lugar mais óbvio, pois é a junção de todos os troncos arteriais das estradas de seda não aderente. Esse dilema requer certas estratégias e diferentes espécies as encontram cada uma a sua maneira. Nossa fêmea de Zygiella pode ficar fora de sua teia, mas nunca está longe do centro da situação. Ela se mantém em contato com o mundo através de um fio sinalizador especial que liga o centro da teia a seu abrigo. O fio sinalizador está sob tensão e transmite instantaneamente as vibrações à aranha que está à espera. Ela corre ao centro da teia pelo fio sinalizador em questão de segundos e de lá toma o rumo de qualquer raio arterial que a levará ao ponto mais próximo da vítima que se debate. O fio sinalizador corre em direção ao centro, passando bem pelo meio do segmento aberto que acabo de mencionar. Para reabrir a questão do porquê de ser ele aberto, talvez uma escada de fios pegajosos atrapalhasse a aranha em sua arremetida vertiginosa em direção ao centro da teia. Talvez o fio sinalizador transmitisse mensagens com menor eficiência se estivesse bloqueado por outros fios.

Permanecer fora da teia é a estratégia escolhida pela Zygiella,

que, sem dúvida, paga o preço de estar sempre um pouco atrasada quando a presa está se debatendo na teia (se você está se perguntando por que velocidade é importante, tocaremos nesse assunto em breve). Outra estratégia é ficar no centro da teia, mas tentar ficar o menos distinguível possível. As aranhas frequentemente constroem um emaranhado denso de seda no centro da teia atrás do qual podem se esconder ou com que se camuflar. Algumas teias possuem uma ou algumas faixas de seda feitas de um zigzague muito denso, que podem desviar a atenção que seria concentrada na aranha, enquanto ela fica espreitando no meio delas (mas também sugeriu-se alternativamente que tais faixas façam parte do aparato de ajustes finos de tensão usado pela aranha). Algumas aranhas constroem ornamentos de seda pela teia que se parecem um pouco com “falsas aranhas” e sugeriu-se que eles tenham a função de despistar a bicada dos pássaros. Entretanto, também especulou-se um funcionamento bastante diferente. Eles refletem luz ultravioleta (invisível para nós) de uma maneira que, aos olhos dos insetos, pareçam retalhos de céu azul ou, em outras palavras, buracos na teia.

Mencionei a necessidade de uma aranha correr para a cena logo que um inseto é capturado na teia. Por que se incomodar? Por que não esperar que o inseto pare de se debater? A resposta é que o debater-se dos insetos é em geral eficaz. Eles conseguem se libertar ocasionalmente, sobretudo insetos grandes e fortes como vespas. E mesmo que não se libertem, podem danificar a teia enquanto tentam. Nosso próximo problema de aranha é como prevenir que um inseto se debata, uma vez capturado.

A solução básica é brutalmente simples. Vá logo para onde o inseto está, orientando-se pelas vibrações produzidas por suas contorções, e morda-o até que morra. Se o inseto parar de se debater por um momento enquanto o estiver procurando, tente localizá-lo dedilhando os fios radiais e sentindo, através da tensão dos diferentes fios, qual deles está repuxado por um inseto. Uma vez que a presa seja alcançada, ataque-se com ela e tente administrar-lhe uma injeção de veneno neurológico letal ou paralisante. A maioria das aranhas tem presas afiadas e ocas, providas de glândulas de veneno (poucas delas são perigosas para nós, como a famosa viúva-negra, pois a picada da maioria das aranhas comuns

não é capaz de penetrar nossa pele, e mesmo se fosse, não inocularia veneno suficiente para prejudicar um animal grande). Uma vez inoculado o veneno na presa, a aranha em geral espera por vários minutos até que todos os movimentos cessem.

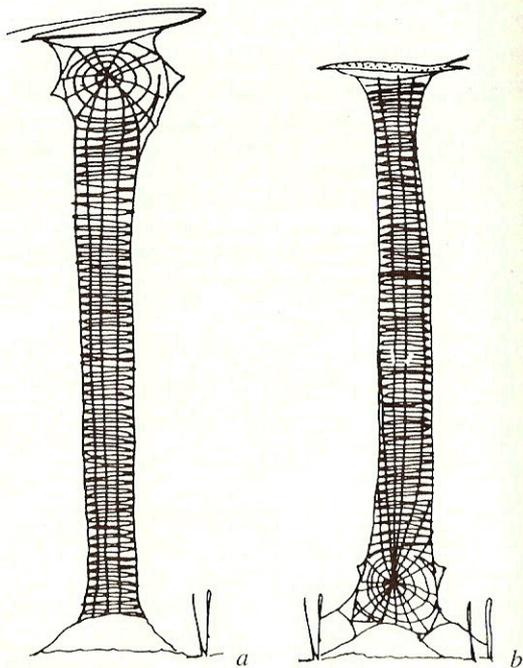
Descrevi a mordida venenosa como o método básico de subjugar uma vítima que se debate, mas ele não é o único. A maioria dos outros — como já era de se esperar das aranhas — envolve a seda. Antes de aplicar a mordida, a maioria das aranhas embrulha a vítima com uma quantidade extra de seda que suplementa a seda da teia que já está enroscada nos membros e no corpo da vítima. Se a presa for venenosa, como uma vespa, a aranha em geral atenua os riscos usando seda, embrulhando a vítima em voltas e mais voltas de fios de seda, para finalmente perfurar a mortalha branca com suas quelíceras e dar-lhe o *coup de grâce* envenenado.

As borboletas e mariposas, com suas asas imensas e escamosas, constituem um problema especial. As escamas se desprendem prontamente. Se manusearmos uma mariposa, nossos dedos ficam cobertos de um pó fino composto de escamas. As escamas desprendidas ajudam as mariposas a escapar das teias de aranha, pois o pó parece neutralizar o efeito aderente dos fios. Quando em perigo, as mariposas geralmente recolhem as asas e caem no solo. Seja por essa razão ou por suas asas estarem parcialmente presas na armadilha, impedindo-as de voar, quando as mariposas escapam de uma teia em geral o fazem caindo. Isso abre uma nova avenida de oportunidades para as aranhas, até então interdita.

Michael Robinson, atual diretor do National Zoo de Washington, e sua esposa Barbara descobriram uma teia notável na selva da Nova Guiné (figura 7a). A teia-escada da Nova Guiné é basicamente uma teia circular comum, mas com sua porção inferior alongada formando uma faixa vertical de quase um metro de comprimento. A aranha permanece no centro da teia, próximo ao topo. Quando uma mariposa colide contra uma teia circular, tem uma grande chance de cair e se libertar. Mas a “aranha escadeira” da Nova Guiné providenciou uma teia de grande comprimento ao longo da qual a mariposa possa desabar. Além disso, esvoaçar ao longo de todo esse trecho de teia ajuda a gastar o pó escamoso e aumenta a chance de a mariposa ficar detida o suficiente para que a aranha desça correndo escada abaixo e aplique seu golpe certei-

Teias-escada!
Especializadas
na captura
de Lepidópteros!

7. Teias em escada
que evoluíram
independentemente:
(a) da Nova Guiné
e (b) da Colômbia.



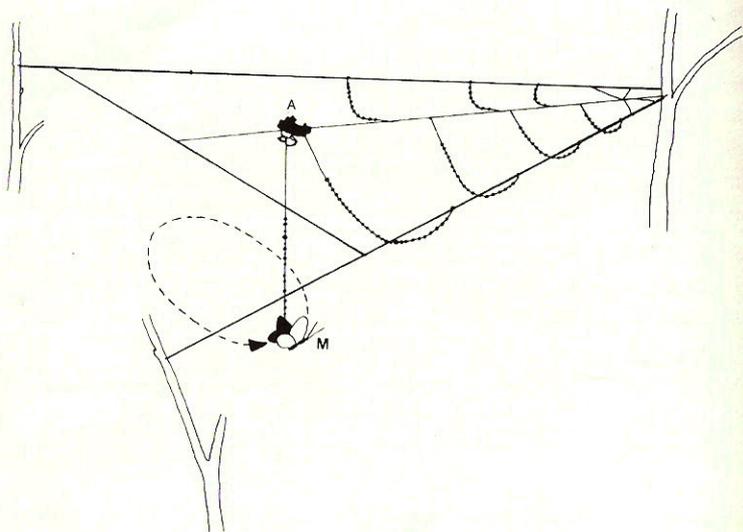
Logo após a descoberta dos Robinson em Nova Guiné, um colega deles, William Eberhard, encontrou na Colômbia sua equivalente no Novo Mundo (figura 7b). O fato de essa escada ter sido inventada independentemente da de Nova Guiné é atestado por um detalhe diferente: seu centro fica na base da escada, não no cume. Mas ela funciona exatamente da mesma maneira e aparentemente pela mesma razão: ambas as espécies se especializaram em se alimentar de mariposas.

Portanto, a teia-escada é uma solução para impedir que as presas escapem, especialmente eficaz contra mariposas. Outra técnica usada por algumas espécies de aranhas é a armadilha elástica. A teia da *Hyptiotes* não é um círculo completo. É, na verdade, reduzida a um triângulo de apenas quatro raios. Existe uma linha adicional presa à ponta do triângulo que ajuda a manter toda a teia tensionada. Mas esse cabo principal é sustentado pela aranha, em vez de fixado diretamente em alguma superfície firme. De fato, a

própria aranha forma um elo vivo na junção do cabo com uma superfície firme. Ela puxa a linha e a mantém esticada com as patas dianteiras e usa seu terceiro par de patas para segurar uma alça bastante frouxa. Ela permanece perigosamente imóvel nessa posição suspensa e espera. Quando um inseto bate na teia, a aranha reage instantaneamente. Solta a armadilha, que cai sobre o inseto, e ao mesmo tempo arremessa seu próprio corpo em direção a ele. Ela pode acionar a armadilha em mais dois ou três estágios posteriores, recolhendo a laçada e desprendendo mais seda atrás de si. O inseto se encontra agora irremediavelmente enroscado na rede lançada. A aranha envolve a vítima em uma quantidade ainda maior de seda e a carrega como um pacote espessamente embrulhado. Só então morde a pobre criatura, injeta o veneno, que vai digerir a presa e suga lentamente os restos liquefeitos através da parede do pacote de seda. Agora a teia triangular não se encontra em condições de ser usada de novo e deve ser inteiramente reconstruída.

Presumivelmente, a *Hyptiotes* está resolvendo o problema de que uma teia sob tensão, embora boa para capturar insetos em primeira instância, é vulnerável a movimentos violentos e fortes. Se você fosse um inseto capturado por fios pegajosos, seria mais fácil se libertar se os fios estivessem sob tensão do que se estivessem frouxos. Se os fios são frouxos não há nada contra o que empurrar e tomar impulso e você acaba ficando cada vez mais atolado na seda pegajosa. Como no caso de um avião supersônico, cujo formato ótimo de asa para decolagem difere do formato ótimo de asa para vôo rápido, numa teia de aranha a tensão ótima para capturar a presa é diferente da necessária para mantê-la enroscada. Alguns aviões resolvem seu problema dual de otimização através de uma medida adaptadora: não são muito ruins em nenhuma das duas situações. Outros aviões — como os aviões de guerra de asas retráteis — extraem o melhor dos dois mundos variando a geometria de suas asas, ainda que com um alto custo em equipamentos intrincados. A *Hyptiotes* constrói uma teia de tensão variável.

As aranhas de teias circulares comuns parecem optar pela alta tensão, que é melhor para a captura inicial, e confiar em sua própria velocidade na teia para agarrar a presa e capturá-la antes que escape. Outras aranhas parecem optar pela solução oposta e constroem fios frouxos desde o início (figura 8). A *Pasilobus*

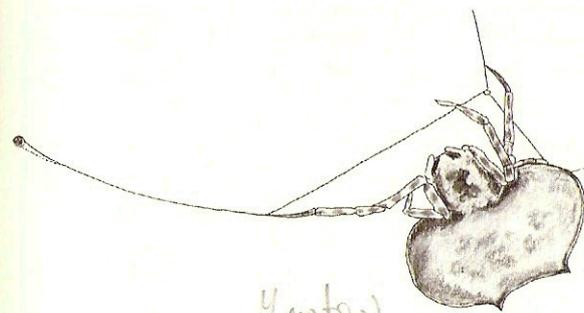


8. Teia triangular da *Pasilobus* com fios que se soltam prontamente.

constrói uma teia triangular com um único fio que divide o ângulo principal ao meio. Os fios aderentes de captura são reduzidos a umas poucas alças frouxamente penduradas. A característica inteligente dessas alças frouxas — essa foi mais uma bela descoberta de Michael e Barbara Robinson na Nova Guiné — é que se desprendem muito facilmente em uma das extremidades. E um inseto como uma mariposa, tendo colidido e ficado preso a um fio, rapidamente o quebra, na junção especial de baixa resistência, mas permanece preso na outra extremidade do fio. A vítima agora dá repetidas voltas no ar, como se fosse um aviãozinho de brinquedo atado a uma linha. Reboçar o fio e executar a vítima é tarefa fácil para uma aranha. Mais uma vez, a vantagem desse recurso pode residir no fato de que o inseto não consiga se libertar porque tudo é tão frouxo que ele não consegue tomar impulso para escapar. O principal benefício desses fios que se desprendem rapidamente nos remete a um item anterior de nossa lista de problemas: como absorver o impacto de um inseto voando em alta velocidade sem que ele seja arremessado para longe, como em um trampolim. Como no caso da outra teia triangular, é provável que o triângulo

da *Pasilobus* seja um descendente reduzido de uma teia circular completa. De qualquer forma, existe outro gênero, a *Poecilopachys*, que usa o mesmo princípio do desprendimento rápido em uma teia circular completa. Nesse caso, diferentemente da maioria das teias circulares, sua teia é horizontal e não vertical.

Se considerarmos o triângulo da *Pasilobus* uma versão reduzida da teia circular da *Poecilopachys*, a abreviação derradeira nesse mesmo sentido seria representada pelo fio único da “aranha boleadeira” *Mastophora* (figura 9). A boleadeira é uma arma inventada originalmente pelos nativos sul-americanos e usada ainda hoje pelos gaúchos para caçar (por exemplo) emas, grandes aves terrestres dos pampas. Consiste em um peso, tal como um par de bolas ou pedras, presos à extremidade de uma corda. É arremessada na direção da presa com o propósito de, ao enroscar-se em suas patas, derrubá-la. O jovem Charles Darwin testou as boleadeiras enquanto cavalgava e conseguiu capturar seu próprio cavalo — para o divertimento dos gaúchos, mas não, presumivelmente, do cavalo. As presas da aranha boleadeira são sempre mariposas macho da família Noctuidae, por uma razão específica. As fêmeas de noctuídeos atraem seus parceiros a distância exalando um perfume único. A aranha boleadeira atrai as mariposas macho a sua própria morte sintetizando um perfume muito parecido. A aranha boleadeira é um pêndulo pesado na extremidade de um único fio de seda que ela segura em uma “mão”. Esse fio balança a boleadeira até que se enrosque numa mariposa, para finalmente aprisioná-la. É, como um todo, um recurso de tecnologia muito mais re-



9. Aranha boleadeira.

Alta especificidade do presas.

Mastophora

finada que o simples saco de pedras dos gaúchos. É, de fato, uma corda de seda enrolada de maneira bastante coesa, embebida em uma gota de água, como uma das contas pegajosas de uma teia circular. Quando a aranha arremessa sua boleadeira, a seda desenrola automaticamente, como acontece quando um pescador lança seu anzol ao mar. Se a mariposa for atingida, fica grudada e voa em círculos. O resto da história é praticamente o mesmo da aranha que se utiliza dos fios de fácil soltura. A mariposa é embrulhada e finalmente picada. A aranha boleadeira vive na América do Sul e a possibilidade de os índios terem tirado a idéia para suas boleadeiras da observação dessa aranha em ação é uma especulação maravilhosa.

Estivemos falando sobre variações ou reduções da teia circular padrão. É hora de voltar à teia circular propriamente dita. Ao final do capítulo anterior, levantamos a questão de como criar um modelo computadorizado da seleção artificial, como o programa dos biomorfos, e transformá-lo num modelo de seleção natural, com a natureza cega, e não o olho humano, encarregada das escolhas. Concordamos que o impedimento apresentado pelos biomorfos era o fato de eles não possuírem nada parecido com um mundo físico e real onde pudessem sobreviver sendo ou não bem-sucedidos. Poderíamos imaginar alguns biomorfos se comportando como predadores; talvez imaginá-los perseguindo outros biomorfos que se comportassem como presas. Mas parece não haver algum modo natural e não arbitrário de decidir quais características dos biomorfos os tornarão bons ou não no que diz respeito a caçar presas ou escapar de predadores. O olho humano pode enxergar um par de dentes afiados, vorazes e cobertos de saliva, fixados numa das extremidades do biomorfo (figura 16). Mas essas mandíbulas escancaradas, por mais amedrontadoras que possam parecer, não podem se provar úteis na prática, pois não se movem nem se encontram num mundo físico real onde, sendo afiadas, possam perfurar a concha de um molusco ou o couro de um animal. Os dentes e a pele são apenas padrões de pontos numa tela fluorescente bidimensional. Agudeza e dureza, fragilidade e venenosidade, estas quantidades não têm significado algum em uma tela de computador além do definido por números, arbitrariamente escolhidos pelo programador. Você pode

programar um jogo de computador no qual números lutem contra outros números, mas as vestimentas gráficas dos números são meras maquiagens supérfluas. “Arbitrário” e “planejado” soam para o jogador como eufemismos. E foi nesse ponto, ao final do capítulo anterior, que recorreremos, aliviados, às teias de aranha. Elas representam um pedaço da natureza que pode ser simulado com mais naturalidade.

Teias circulares funcionam praticamente num mundo bidimensional. Se sua malha for muito tosca, as moscas passarão facilmente através dela. Se for muito fina, as aranhas rivais provavelmente obterão o mesmo resultado com um menor custo em seda e, portanto, deixarão para trás uma progênie maior que carregará seus genes economicamente prudentes. A seleção natural consegue o ajuste mais eficiente. Uma teia desenhada numa tela de computador possui características que podem interagir com insetos desenhados nessa mesma tela sem nem ao menos aproximar-se do arbitrário. O tamanho da malha em relação ao tamanho de um “inseto” computadorizado é um dado quantitativo que de fato significa algo numa tela de computador. A quantidade total de fio (“custo de seda”) é outro dado desse tipo. A razão entre os dois, que define a eficiência, pode ser medida dentro de uma artificialidade aceitável. É ainda possível acrescentar física mais sofisticada em um modelo de computador e Fritz Vollrath (com quem aprendi a maior parte do que escrevi neste capítulo), juntamente com seus colegas físicos Lorraine Lin e Donald Edmonds, começou muito bem. É mais fácil simular “elasticidade” e “resistência” em “seda” computadorizada do que, digamos, “agilidade” ao se “esquivar” de um predador computadorizado ou “esperteza” para “localizar” uma presa. Mas neste capítulo nos preocuparemos mais com modelos que envolvem o comportamento de construção de teias.

Ao escrever as regras simuladas para uma aranha computadorizada, o programador conta com o benefício de muitas pesquisas detalhadas sobre as regras de fato seguidas pelas aranhas reais e sobre os pontos fundamentais do comportamento das aranhas. O professor Vollrath e os membros de seu grupo internacional de estudos sobre aranhas estão na linha de frente dessa pesquisa e são, portanto, bem qualificados para incorporar esse tipo de conheci-