

BIOMIMÉTICA: COMO A NATUREZA INSPIRA O DESIGN MODERNO

NGBRASIL.COM.BR | ABRIL 2008

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL



PERDIDO NO SAARA

NOSSO REPÓRTER É PRESO
E TORTURADO NO SUDÃO

Sete anos e uma história do circo no Brasil
Riquixás da Índia: o fim de uma tradição
Os chimpanzés quase humanos do Senegal



BIOMIMÉTICA ■

design
da
natureza

*O que tem nadadeiras como as da baleia,
pele parecida com a do lagarto e olhos similares
aos da mariposa? O futuro da engenharia.*



Uma lição de projeto eficiente. O baixo coeficiente de arrasto ajuda o peixe-cofre a ter velocidade equivalente a seis vezes o comprimento de seu corpo por segundo, usando como estabilizadores as bordas em forma de quilha da carapaça.



O peixe-cofre serviu de inspiração para este carro, desenvolvido pela Mercedes-Benz. O fluxo de vapores do teste num túnel de vento em Stuttgart comprova a excelente aerodinâmica do veículo que ajuda a melhorar seu consumo para 30 quilômetros por litro de combustível.





Sob o céu sem nuvens de um dia de verão em fevereiro, o biólogo evolucionista Andrew Parker ajoelha-se na escaldante areia vermelha do interior da Austrália, logo ao sul de Alice Springs, e solta a perna direita de um diabo-espinhoso em um prato com água. A manobra não é tão arriscada quanto parece: embora recoberto de espinhos aguçados, o lagarto tem apenas 2 centímetros de altura nos ombros. Ele parece gracioso demais para esse ambiente inóspito, que abriga uma porcentagem bem alta das serpentes mais venenosas do mundo, como a *Acanthophis pyrrhus* e a taipan australiana (*Oxyuranus microlepidotus*), cujo veneno é tão forte que 30 gramas dele são suficientes para matar uma centena de pessoas. Igualmente brutal é a própria paisagem, com o vento sibilando entre as acácias, como um

Recolhendo água através da pata, um diabo-espinhoso do deserto australiano é capaz de levar o líquido até boca por canaletas entre as escamas. Com base em mecanismo similar, os cientistas esperam aperfeiçoar tecnologias de captura de água em regiões secas.



secador de cabelos na potência máxima. São lembretes de que aqui, na região mais seca do mais seco continente habitado, só sobrevive quem sabe onde obterá o próximo gole d'água.

Nesse sentido, o diabo-espinhoso consegue se virar muito bem, com uma elegância e uma certeza que deixaram Parker encantado e o fizeram esquecer a possibilidade de ser picado por uma serpente ou os perigos da insolação. "Olhe, olhe!", exclama. "O dorso dele está completamente encharcado!" E é verdade: depois de meio minuto, a água do prato havia subido pela perna do lagarto e agora reluzia no dorso da carapaça espinhosa. Poucos segundos depois chega à boca, e o lagarto passa a abrir e fechar a mandíbula com óbvio contentamento. No fundo, no fundo, ele está bebendo pelos pés. Dispondo de mais tempo, o diabo-espinhoso consegue realizar a mesma proeza em um trecho de areia úmida – uma vantagem competitiva crucial em ambiente tão desértico. O objetivo de Parker é descobrir como esse lagarto faz isso, não por interesse científico, mas visando um objetivo concreto: inspirado no diabo-espinhoso, ele quer projetar um dispositivo capaz de ajudar as pessoas a aproveitar ao máximo a água existente em condições desérticas.

"A pele dele é mais hidrofóbica do que eu imaginava. É provável que existam capilares ocultos conduzindo a água para a boca", diz Parker. Após concluir os experimentos, recolhemos todo o material e caminhamos de volta ao jipe Land Cruiser. Quando nos afastamos, o lagarto nos fita com uma expressão consternada. "Ver o diabo-espinhoso em seu ambiente natural é essencial para se ter uma idéia da natureza de suas adaptações – a textura da areia, a quantidade de sombra, a qualidade da luz", comenta Parker enquanto seguimos de volta ao acampamento. "Com isso, concluímos o trabalho em escala macroscópica. Agora vamos começar a examinar a estrutura microscópica de sua pele." Pesquisador vinculado ao Museu de História Natural de Londres e à Universidade de Sydney, Parker é um dos mais renomados defensores da biomimética, ou "tecnologia biônica" – uma disciplina que busca em estruturas naturais soluções para problemas na engenharia, na ciência dos materiais, na medicina e em outros campos.

Tom Mueller é colaborador das revistas New Yorker e Atlantic. Robert Clark fez as imagens do artigo sobre biocombustíveis publicado em outubro de 2007.

Ele já investigou a iridescência da borboleta e do besouro, assim como o revestimento anti-reflexivo dos olhos da mariposa – pesquisas que desembocaram em telas mais luminosas para telefone celular e em uma técnica antifalsificação tão sigilosa que ele nem sequer pode dizer o nome da empresa que o patrocinou. Parker busca ficar inspirado até mesmo em uma natureza que já não existe mais: por exemplo, no olho de uma mosca que, há 45 milhões de anos, ficou preservada em âmbar e, hoje, está em um museu de Varsóvia, na Polônia, ele notou microscópicos enrugamentos que reduziam a reflexão da luz – e esse mesmo tipo de estrutura agora passa a ser usado em painéis solares.

O trabalho de Parker é uma pequena parte do movimento cada mais vigoroso e global da biomimética. Em Bath, na Inglaterra, e em West Chester, nos Estados Unidos, engenheiros estão investigando as protuberâncias nas bordas de ataque dos lóbulos da cauda da baleia-jubarte a fim de construir asas mais eficientes para avião. Em Berlim, na Alemanha, as penas primárias, similares a dedos, das aves de rapina levaram os engenheiros a projetar asas cuja forma se altera durante o voo, reduzindo assim o arrasto e aumentando o rendimento de combustível. No Zimbábue, arquitetos estudam de que modo os cupins controlam a temperatura, a umidade e o fluxo de ar em sua toca, na expectativa de projetarem edifícios mais confortáveis. No Japão, pesquisadores médicos conseguiram reduzir o incômodo das injeções com o uso de agulhas hipodérmicas com a ponta dotada de minúsculo serrilhado, semelhante ao da probóscide de um mosquito, que reduz a estimulação dos nervos. "A biomimética nos proporciona um conjunto diverso de ferramentas e idéias, às quais normalmente não teríamos acesso", comenta o cientista de materiais Michael Rubner. "Agora ela faz parte de nossa cultura de grupo."

Logo depois de nossa incursão no deserto australiano, voltei a me encontrar com Andrew Parker em Londres, dessa vez para acompanhar a etapa seguinte de sua pesquisa sobre o diabo-espinhoso. Desde a entrada do Museu de História Natural até o laboratório do cientista no sexto andar, atravessamos salões imensos, todos repletos de assombrosa variedade de organismos preservados. Em uma das salas, há enormes recipientes, que chegam à nossa cintura e onde se podem ver, mergulhados em álcool,

carrapicho

Ao examinar carrapichos em sua calça e no pêlo de seu cão após caminhar pelo mato em 1948, o suíço George de Mestral notou que a ponta de seus espinhos era curva, formando ganchos – e com base nisso inventou o velcro. Ficou decepcionado quando os fabricantes de roupa não correram para adotar o novo sistema, mas, seja como for, o velcro acabou sendo usado em aplicações importantes, como na primeira cirurgia para implante de coração artificial.



sembrantes de lontras-do-mar, sucuris, equidnas-ouriços e cangurus, para não falar em um recipiente de 20 metros que contém uma lula gigante. Aos olhos de Parker, essa não é simples coleção de espécimes, e sim “um reservatório de projetos geniais”. Cada espécie, mesmo aquelas extintas, é uma história de sucesso, otimizada por milhões de anos de seleção natural. Por que não aprender com o que foi lentamente aperfeiçoado pela evolução?

Enquanto andamos, Parker explica que o brilho metálico e as cores deslumbrantes das aves e dos besouros tropicais não se devem a pigmentos, mas a características ópticas: microestruturas rigorosamente espaçadas que refletem comprimentos específicos de ondas luminosas. Essa cor estrutural, que não se atenua e é mais brilhante que qualquer pigmento, apresenta enorme interesse para os fabricantes de tinta e cosmético, assim como para os produtores dos pequenos hologramas estampados em cartão de crédito. O bico do tucano é um exemplo de estrutura leve e resistente (ele permite que a ave quebre nozes e ao mesmo tempo é leve o bastante para não lhe prejudicar o voo), ao passo que os espinhos do ouriço-cacheiro e do porco-espinho são maravilhosamente resistentes e

simples. A seda segregada pela aranha é cinco vezes mais forte, grama por grama, e bem mais flexível que alguns aços especiais.

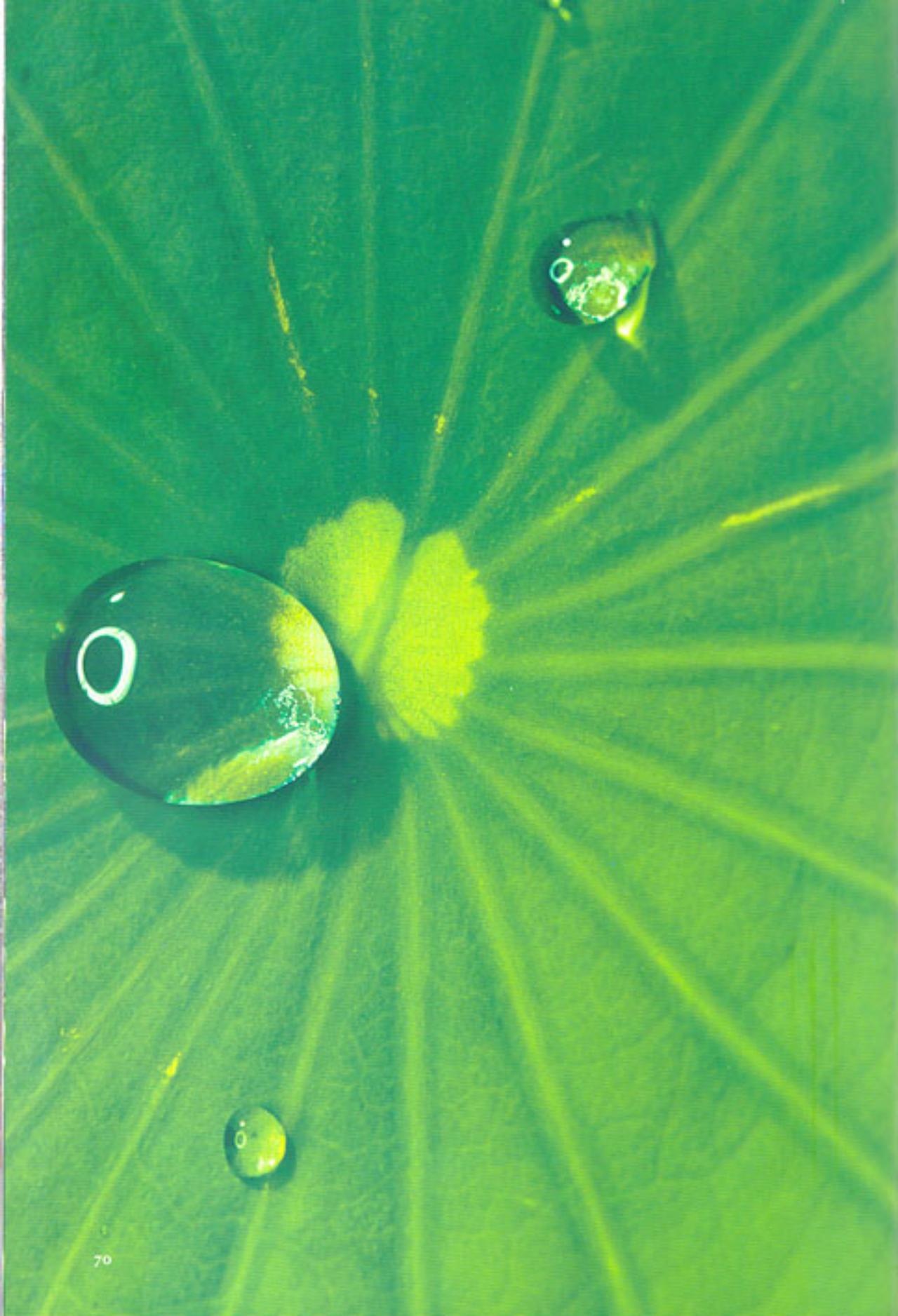
No caso dos insetos, a abundância de características estruturais interessantes é assombrosa. O vaga-lume produz luz fria quase sem perda de energia (uma lâmpada incandescente normal dissipa, sob a forma de calor, nada menos que 98% da energia que consome), e o besouro-bombardeiro possui, em sua parte posterior, uma eficiente câmara de combustão que lança substâncias químicas escaldantes em eventuais predadores. O besouro *Melanophila*, que costuma pôr seus ovos em madeira recém-queimada, é capaz de identificar a exata radiação infra-vermelha emitida por um incêndio florestal, permitindo-lhe localizar queimadas distantes a até uma centena de quilômetros. Essa característica estrutural vem sendo estudada pela Força Aérea dos Estados Unidos. “Eu poderia dar uma olhada em volta e, em meia hora, selecionar 50 projetos na área de biomimética”, comenta Parker. “Procuro não passar por aqui no fim da tarde, pois acabo me entusiasmando e, quando vejo, já é meia-noite.”

Há oito anos, em um desses surtos de criatividade que avançam noite adentro, Parker decidiu investigar o mecanismo de coleta de água de um





Com um sistema de múltiplos ganchos que aderem de imediato, o velcro (micrografia eletrônica, à esquerda) é hoje tão popular quanto o zíper. Um dos primeiros usuários, a Nasa enviou à Lua fechos com velcro nos trajes dos astronautas – incluindo a luva de John Young, membro de uma missão Apollo em 1972 – e em placas que prendiam objetos flutuantes na gravidade zero.



besouro do deserto e, para tanto, construiu uma enorme duna de areia em seu laboratório. Da família dos tenebrionídeos, esse besouro é encontrado no deserto da Namíbia, na região sudoeste da África, um dos ambientes mais quentes e secos do planeta. O besouro recolhe a água da névoa matinal permanecendo de frente para o vento e, erguendo sua parte traseira, onde há protuberâncias hidrofílicas que capturam a névoa, faz com que ela se transforme em gotículas d'água, as quais em seguida escorrem por microcalhas enceradas e hidrofóbicas entre as protuberâncias e somente depois cheguem à boca do inseto.

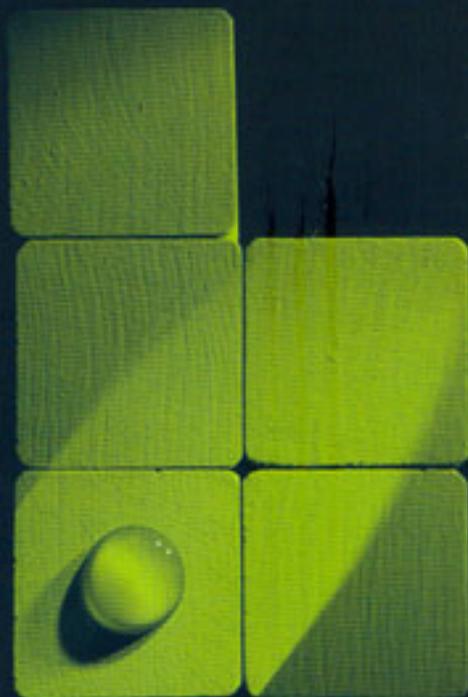
Parker mandou trazer da Namíbia dezenas de besouros. Usando um secador de cabelo e vários nebulizadores e borrifadores, ele conseguiu reproduzir as condições no deserto da Namíbia com fidelidade suficiente para entender o mecanismo do besouro. Em seguida, voltou a reproduzi-lo em uma lâmina de microscópio usando pequenas contas de vidro no lugar das protuberâncias e modelando as calhas com cera. A despeito de todo o requinte das estruturas naturais, muitas delas são feitas de materiais corriqueiros, como queratina, carbonato de cálcio e sílica, associados de tal modo que apresentam extraordinária complexidade, força e resistência. O abalone, por exemplo, produz sua concha com carbonato de cálcio, o

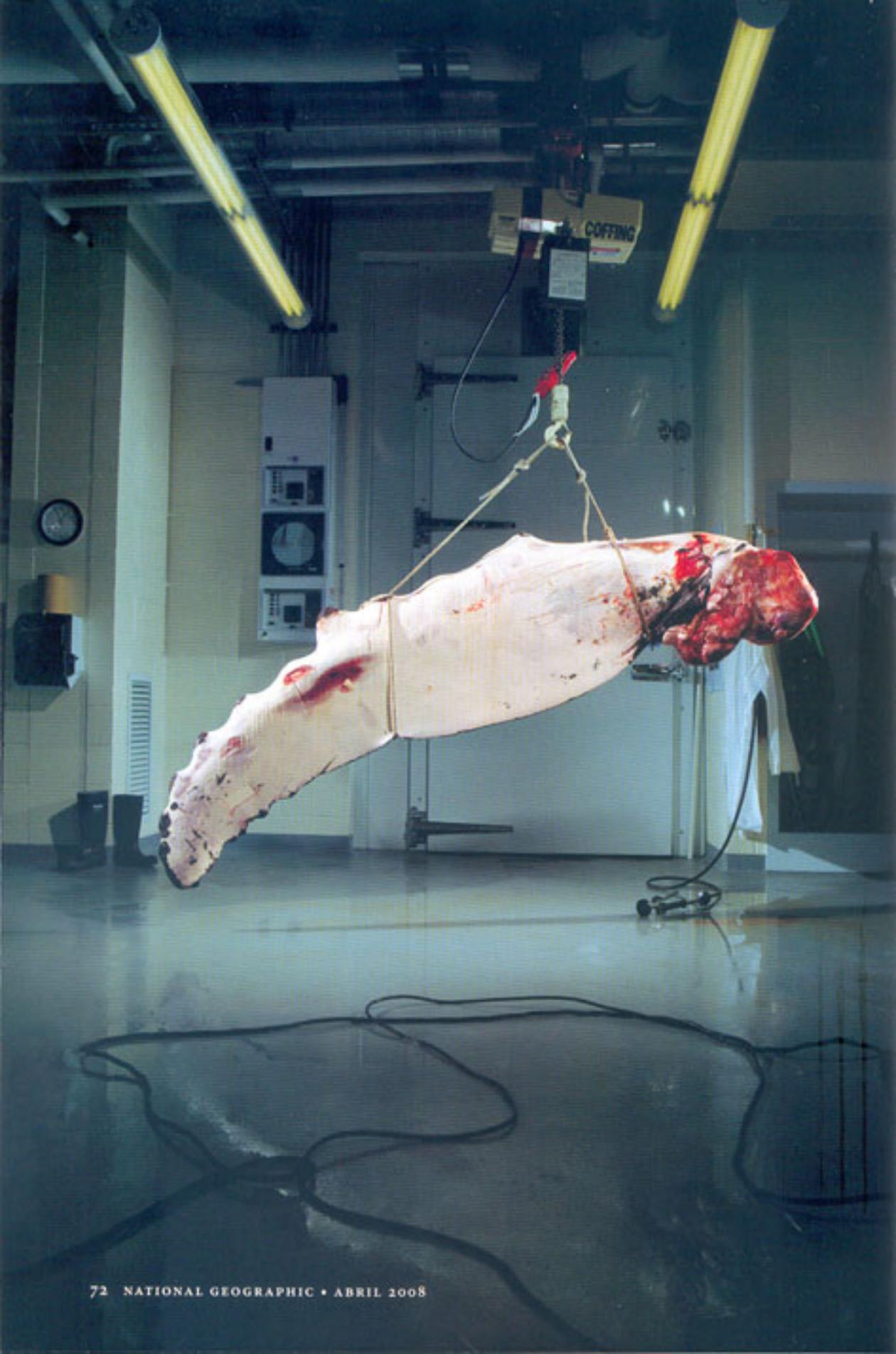
mesmo material do giz farelento. No entanto, ao organizá-lo em camadas de tijolos nanométricos dispostos de maneira alternada graças a um jogo sutil de proteínas, o molusco cria uma armadura tão resistente como se fosse de kevlar – e 3 mil vezes mais rígido que o giz. O entendimento, em escala microscópica e nanométrica, das estruturas responsáveis pelas propriedades excepcionais de um material vivo é um passo essencial a sua recriação em laboratório. Por isso, é importante a Andrew Parker examinar agora a pele de um diabo-espinhoso preservado no museu com a ajuda de um microscópio eletrônico de varredura, na expectativa de vislumbrar as estruturas ocultas que permitem ao animal absorver e canalizar a água com tanta eficiência.

Parker nota uma série de nódulos enfileirados que parece descer até uma estrutura maior que serve de reservatório d'água. Por fim, mergulhamos em uma fissura na base do espinho e topamos com um campo alveolado e repleto de dentes, cada qual medindo 25 microns. "A-há!", exclama Parker, como Sherlock Holmes ao topar com uma pista. "Esta é obviamente uma superfície super-hidrofóbica, que canaliza a água entre as escamas." Um exame subsequente da pele do diabo-espinhoso com a ajuda de um aparelho de tomografia confirma essa hipótese, revelando

folha de lótus

Em 1982, o botânico Wilhelm Barthlott constatou que a folha de lótus (à esquerda) possui superfície hidrófoba e autolimpante. O segredo está em micro e nanoestruturas enceradas que, devido a seu ângulo de contato com a água, fazem com que forme gotículas que se movem como as de mercúrio, recolhendo partículas de sujeira pelo caminho. Barthlott já encontrou aplicação comercial em produtos como a tinta biônica Lotusan (nos blocos à direita). Dotada de microscópicas protuberâncias, a tinta repele água e resiste a manchas durante décadas.





minúsculos capilares entre escamas que evidentemente servem para conduzir a água até a boca do lagarto. "Creio que descobrimos o segredo do diabo-espinhoso", comenta ele. "Agora podemos construir um protótipo."

Aqui entram em cena os engenheiros. Na etapa seguinte de criação de um dispositivo de coleta de água inspirado no lagarto, Parker encaminha suas observações e resultados experimentais para Michael Rubner e seu colega Robert Cohen, um engenheiro químico com quem já trabalhou em vários projetos de biomimética. A conjugação das percepções biológicas e do pragmatismo da engenharia é essencial ao êxito da biomimética. No caso de Parker, Cohen e Rubner, a colaboração resultou em várias aplicações promissoras influenciadas no besouro da Namíbia e em outros insetos. E esperam que logo seja possível criar uma superfície sintética inspirada na pele do diabo-espinhoso.

Ainda que impressionados com as estruturas biológicas, Cohen e Rubner consideram a natureza apenas ponto de partida para a inovação.

"A gente não precisa reproduzir a pele de um lagarto para fazer um coletor de água; ou o olho de uma mariposa para confeccionar um revestimento anti-reflexivo", diz Cohen. "Mas as estruturas naturais nos fornecem uma pista para o que há de útil em um mecanismo. E talvez a gente possa até mesmo aperfeiçoar tais aspectos." As lições extraídas do diabo-espinhoso podem melhorar a tecnologia de coleta de água que eles desenvolveram com base na microestrutura do besouro da Namíbia, e que estão empenhados em transformar em dispositivo de coleta de água, tinta à prova de grafite e superfície auto-descontaminante para cozinha e hospital. Nada impede, porém, que o trabalho os leve a direções novas. Nos últimos tempos, eles só consideram um projeto de biomimética bem-sucedido quando há a possibilidade de ser aproveitado pelas pessoas. "Não basta descobrir estruturas maravilhosas na natureza", diz Cohen. "O que me interessa é como podemos transformar tais estruturas em algo útil no mundo real."

Claro que aí está todo o problema. Um dos reaproveitamentos mais promissores de projetos

nadadeira de baleia

Traduzindo a força da baleia em energia eólica, Frank Fish ajudou a projetar pás de moinho de vento com nódulos inspirados nas nadadeiras da baleia-jubarte (à esquerda, de um animal morto). A borda irregular da nadadeira contribui para a baleia gerar energia ao fazer curvas muito fechadas. As aletas baseadas na baleia estão sendo testadas no Canadá (abaixo) para provar se é possível gerar mais energia a velocidades mais baixas que as das pás convencionais com menos ruído.



naturais é um robô inspirado em organismos vivos que possa ser usado em locais em que os seres humanos costumam ficar ou muito expostos, ou muito entediados, ou correr riscos em demasia. É imensa e evidente, contudo, a dificuldade de se construir um robô desse tipo. Ronald Fearing, professor de engenharia elétrica na Universidade da Califórnia, em Berkeley, decidiu enfrentar um dos maiores desafios nessa área: criar uma mosca robótica que seja rápida, miniaturizada e suficientemente manobrável para ser usada em tarefas de vigilância e operações de busca e salvamento.

Se uma mosca-varejeira tivesse voado para dentro do escritório de Fearing quando nos encontramos pela primeira vez, em uma quente tarde de março, com as janelas abertas para o verdejante campus de Berkeley, eu a teria enxotado ou esmagado sem hesitar ou pensar. Porém, no instante em que Fearing acabou de me explicar por que havia escolhido esse tipo de mosca como modelo de sua microaeronave, eu, de tão impressionado, já estava de queixo caído. Batendo as asas 150 vezes por segundo, ela paira, sobe e desce com assombrosa agilidade. Quando voa em linha reta, consegue fazer uma curva de 90 graus em menos de 50 milissegundos – manobra que transformaria em ferro-velho até mesmo os nossos aviões militares mais avançados.

A chave para fazer funcionar esse inseto voador micromecânico (ou *micromechanical flying insect* – MFI), segundo Fearing, não está no esforço de reproduzir a mosca, e sim na identificação das estruturas essenciais para sua capacidade de voo e também no reconhecimento de maneiras mais simples – e talvez melhores – para a realização de operações extremamente complexas. “A asa da mosca é movida por 20 músculos, alguns dos quais só entram em ação a cada quinta batida de asa. Não há como não ficarmos admirados. Afinal, o que está ocorrendo ali?”, comenta Fearing. “Algumas coisas são simplesmente misteriosas e complicadas demais para serem copiadas.”

Depois que o neurobiólogo Michael Dickinson fez com que asas de plástico medindo 30 centímetros se movessem em meio a 2 toneladas de óleo mineral para demonstrar como uma batida em forma de U das asas mantinha a mosca no ar, Fearing conseguiu reduzir a complexidade da junta da asa a um dispositivo possível de ser fabricado. E o que ele produziu assemelha-se a um mi-

núsculo diferencial automobilístico; embora desprovido da poesia dos 20 músculos da mosca, o dispositivo consegue realizar as batidas em forma de U na velocidade requerida. Para mover a asa, contudo, são necessários atuadores piezoelétricos que, em altas frequências, podem gerar ainda mais força que os músculos da mosca. No entanto, quando solicitou aos técnicos que construissem um atuador de apenas 10 miligramas, tudo o que obteve foram olhares de incredulidade.

Por isso, o próprio Fearing teve de botar a mão na massa e, com a ajuda de uma pinça, me mostra o resultado: uma diáfana varinha medindo cerca de 11 milímetros e com a mesma espessura do bigode de gato. Muitos dos outros minúsculos componentes de sua mosca também tiveram de ser fabricados por Fearing da mesma maneira, ou seja, usando um microtorno a laser e um sistema de construção de protótipo que lhe permitem projetar em um computador as peças infinitesimais, cortá-las automaticamente, prepará-las durante a noite e montá-las manualmente no dia seguinte com a ajuda de um microscópio.

Com o microlaser, ele recorta as asas do MFI de uma placa de poliéster de 2 microns, tão delicada que amassa com o menor sopro e por isso tem de ser reforçada com longarinas de fibra de carbono. As asas de seu modelo mais recente batem 275 vezes por segundo – mais rápidas que aquelas do inseto de verdade –, emitindo o zumbido característico da varejeira. “A fibra de carbono tem desempenho melhor que a quitina das moscas”, comenta ele, com evidente satisfação. Em seguida, aponta para uma caixa plástica protetora na bancada do laboratório que contém a própria mosca-robô, uma delicada estrutura, semelhante a um origami, com tirantes de fibra de carbono e fios finíssimos – uma traquitana que não se parece em nada com uma mosca de verdade. Ela consegue se erguer no ar, mas em voo cativo. Fearing espera que o robô se eleve sozinho daqui a dois ou três anos, e depois reproduza no espaço todo o virtuosismo das moscas.

Quem quiser ver um robô biomimético já em pleno funcionamento – ainda que em etapa inicial –, basta atravessar a baía e ir a Palo Alto. Desde o século 4 a.C., quando o filósofo grego Aristóteles se maravilhou com uma lagartixa, “capaz de subir e descer pelo tronco de uma árvore em qualquer posição, mesmo de cabeça para baixo”, as pessoas perguntam de que modo esses peque-

nos lagartos conseguem se locomover assim, ao arrepio da força de gravidade. Dois anos atrás, o especialista em robótica Mark Cutkosky decidiu solucionar esse enigma milenar construindo o robô Stickybot ("robô aderente"), inspirado na lagartixa e capaz de subir por superfícies inclinadas. Na verdade, as patas da lagartixa não são grudentas e parecem secas e macias quando as tocamos. Elas devem sua capacidade adesiva a filamentos com extremidades achatadas – cerca de 2 bilhões deles por centímetro quadrado – na parte inferior dos dedos. Cada filamento tem espessura de apenas algumas centenas de nanômetros. E são de tal modo pequenos que interagem em escala molecular com a superfície na qual se move a lagartixa, aproveitando as forças Van der Waals de baixa intensidade, geradas por efêmeras cargas elétricas positivas e negativas que provocam efeitos de atração e repulsão entre dois objetos adjacentes.

Para servir de coxim filamentoso nas "patas" do Stickybot, Cutkosky e o estudante de pós-graduação Sangbae Kim, o principal projetista do robô, confeccionaram um tecido de uretano com

minúsculos pêlos com ponta de 30 micrômetros. Embora não sejam tão flexíveis ou aderentes quanto os filamentos da lagartixa, eles conseguem sustentar o robô, que pesa meio quilo, em uma superfície vertical. Mas a aderência, como descobriu Cutkosky, é apenas uma das habilidades da lagartixa. Para se mover com rapidez – elas conseguem se deslocar em uma superfície vertical à velocidade de 1 metro por segundo –, suas patas também necessitam se soltar da superfície sem nenhum esforço e de imediato.

A fim de descobrir como o lagarto faz isso, Cutkosky pediu ajuda aos biólogos Bob Full, especialista em locomoção animal, e Kellar Autumn, provavelmente o cientista que mais entende da capacidade de aderência das lagartixas em todo o mundo. Full e Autumn descobriram que a aderência das lagartixas é direcional: os dedos tornam-se adesivos somente quando puxados para baixo, soltando-se da superfície assim que se inverte a direção da força. Com base nessa característica, Cutkosky dotou seu robô de dedos com sete segmentos, os quais aderem e se soltam tal como os dedos da lagartixa.

pele de tubarão

Uma micrografia revela o segredo da velocidade do tubarão: escamas similares a dentes, que receberam o nome de "denticulos dérmicos". "A água escorre pelas microrranhuras sem fazer turbilhão", diz o especialista George Burgess, reduzindo assim o atrito. As escamas também desestimulam a adesão de cracas e algas – e serviram de inspiração para revestimentos que logo poderão ser aplicados contra essas criaturas no casco dos navios da Marinha americana.





"Nenhum tubarão irá me confundir com um dos seus", diz o campeão olímpico Gary Hall Jr., aqui treinando no Race Club da Flórida. Mas as características da pele dos tubarões foram usadas pela Speedo no traje Fastskin, cuja textura ajuda a reduzir o arrasto e aumentar a velocidade.



Depois ele ficaria sabendo, graças a um artigo sobre a anatomia da lagartixa, que ela possui tendões ramificados que distribuem o peso de maneira uniforme por toda a superfície dos dedos. Eureka! "Quando vi aquilo, pensei, uau, isso é fantástico!" Em seguida, incorporou um "tendão" de tecido de poliéster nos membros do robô com o objetivo de distribuir melhor sua carga. Hoje, o Stickybot consegue se deslocar por superfícies verticais de vidro, plástico e lajotas de cerâmica esmaltada, embora ainda falte muito para ele fazer tudo o que faz uma lagartixa. Por enquanto, o robô consegue galgar somente superfícies lisas, arrastando-se a meros 4 centímetros por segundo, uma fração da velocidade de seu modelo biológico. O adesivo seco nas patas do Stickybot também não é autolimpante como o do animal e por isso logo fica inutilizado pela sujeira agregada. "Há muitos aspectos da lagartixa que tivemos de deixar de lado", comenta Cutkosky. Mesmo assim, várias aplicações práticas estão prestes a resultar desse trabalho. Para o patrocinador da pesquisa, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, o interesse pelo robô está sobretudo na área de vigilância: um autômato capaz de subir pelas paredes de um edifício e lá ficar por horas ou dias poderia fazer o monitoramento de toda

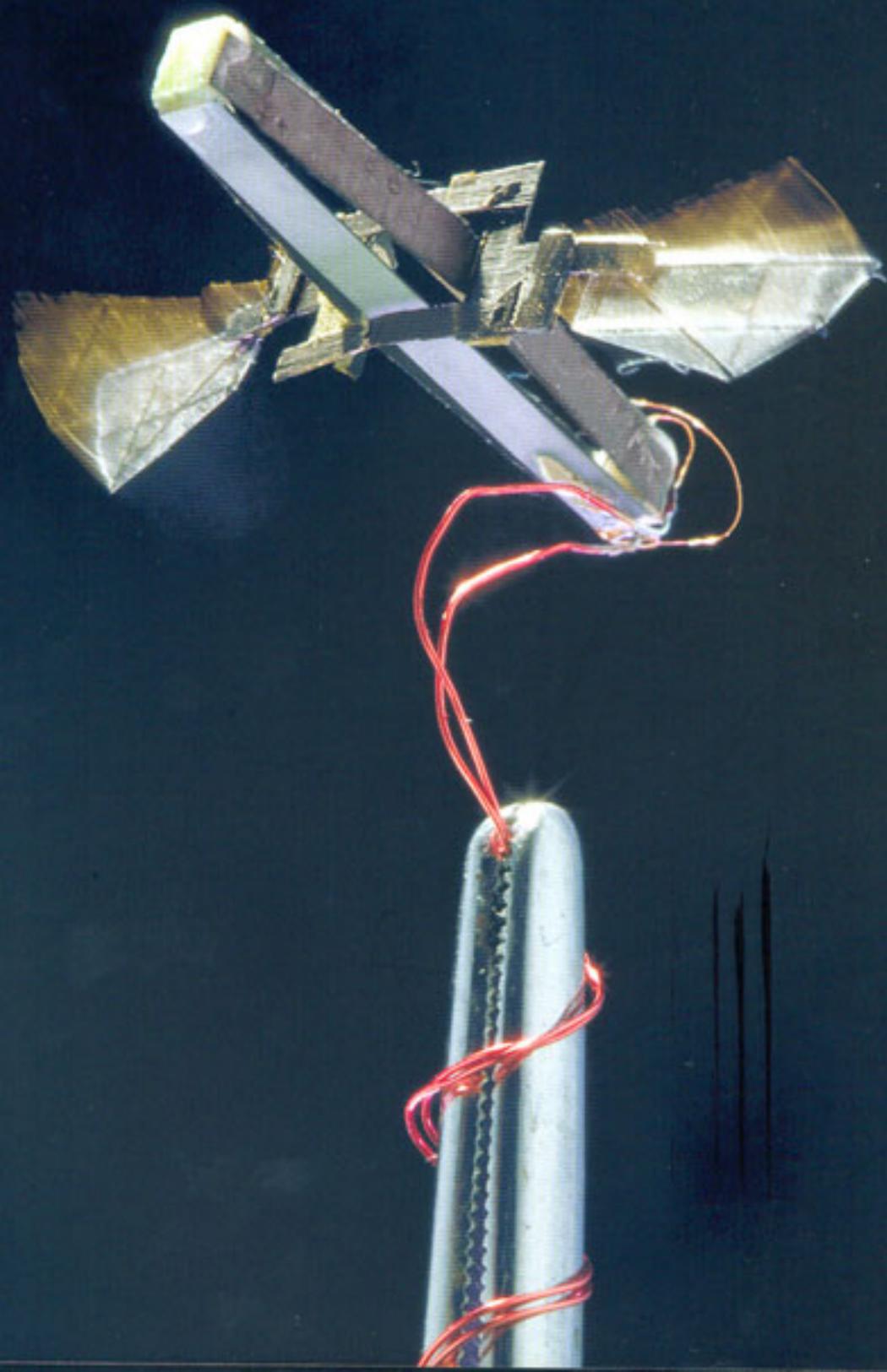
uma imensa área. Cutkosky, porém, já vislumbra inúmeros usos civis. "Estou tentando fazer com que os robôs cheguem a lugares em que jamais nos aventuramos", conta-me. "Gostaria de ver o Stickybot fazendo algo prático, seja como brinquedo, seja como ferramenta. Sem dúvida, seria ótimo se acabasse desempenhando algum papel humanitário ou de salvamento..."

Apesar de toda a força do paradigma da biomimética, e de todos os brilhantes pesquisadores que se dedicam a aperfeiçoar a tecnologia, essa busca de inspiração na natureza resultou em uma quantidade modesta de artigos produzidos em escala industrial, dentre os quais apenas um se tornou conhecido de todos – o velcro, inventado em 1948 pelo químico suíço George de Mestral, com base no exame dos carrapichos que aderiram ao pêlo de seu cão. Além do laboratório de Cutkosky, cinco outras renomadas equipes de cientistas estão tentando reproduzir a capacidade adesiva das patas da lagartixa, mas até agora nenhuma conseguiu chegar próximo à aderência forte, direcional e autolimpante desses animais. Do mesmo modo, os cientistas ainda precisam recriar, com algum sentido prático, a nanoestrutura que assegura a resistência da concha do abalone, e diversas empresas de biotecnologia, todas dispostas de



asa de mosca

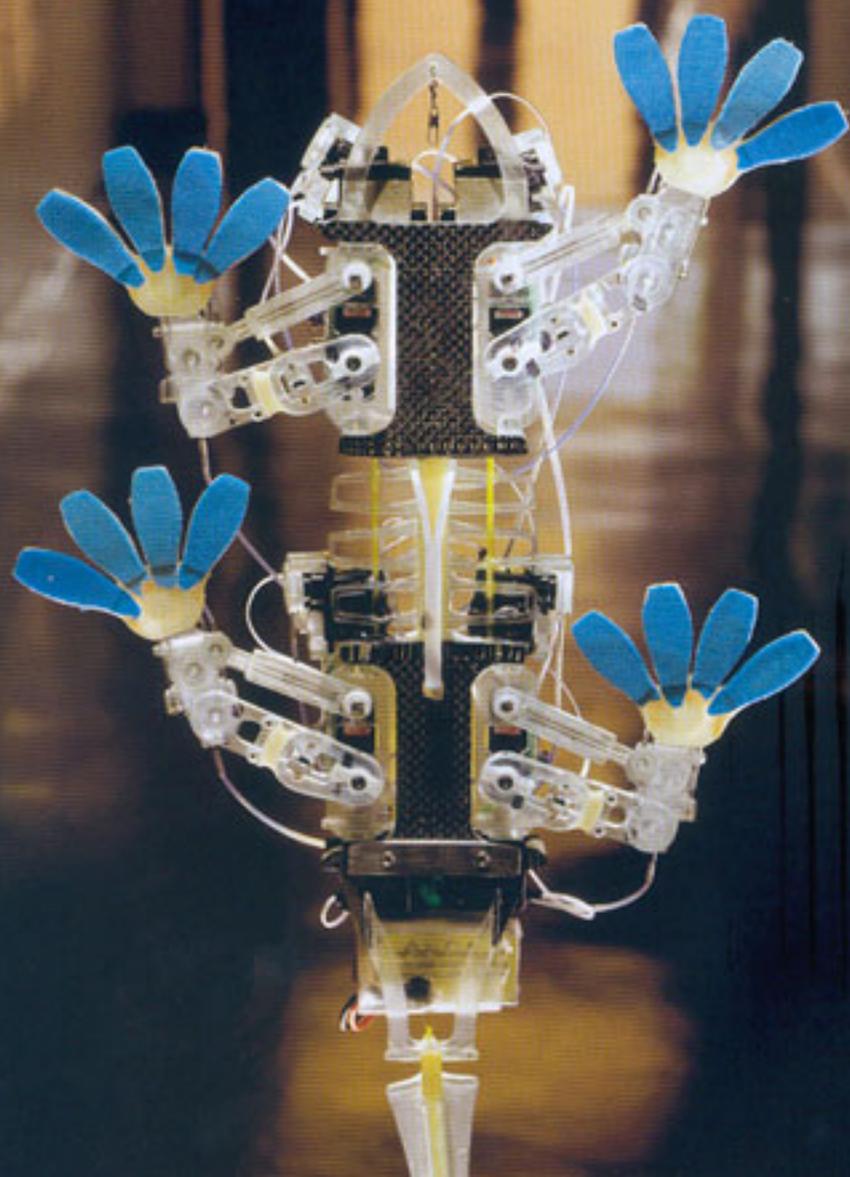
O adejo cativo de um inseto voador micromecânico (à direita) ainda não se compara ao complexo movimento em forma de U realizado pelo inseto em que foi baseado, a mosca-varejeira (à esquerda). Movidas por atuadores elétricos em suas laterais, as frágeis asas do microrrobô batem até 275 vezes por segundo, ou seja, com rapidez ainda maior que a das asas da varejeira. "As asas de uma mosca real são extraordinárias, girando a cada batida", diz Ron Fearing. "O desafio é fazer funcionar um mecanismo parecido em um aparelho que pesa 20 vezes menos que um clipe de papel."



A composite image featuring a close-up of a gecko's head in the upper right and a robotic hand in the lower right. The gecko has white scales with orange and red spots and a large, golden eye. The robotic hand is yellow and purple, with fingers that have a ribbed, adhesive-like texture. The background is dark.

pata de lagartixa

Seus dedos possuem pêlos que terminam em forma de espátula (há cerca de 6,5 milhões deles em cada dedo), os quais aderem a superfícies em escala molecular. Em um laboratório da Universidade Stanford, o Stickybot (à direita) aventura-se por terreno similar. Dedos eriçados de pêlos agarram e largam a superfície, e as articulações do robô reproduzem os detalhes anatômicos da lagartixa. Os projetistas esperam que um dia ele possa ser usado em operações de salvamento.



amplios recursos, acabaram falindo na tentativa de produzir seda artificial similar à da aranha. Por que é assim?

Alguns especialistas em biomimética responsabilizam a área industrial do setor, cujas expectativas de curto prazo no que se refere à conclusão e à lucratividade dos projetos se contrapõem aos períodos necessariamente longos de pesquisa. Outros se queixam da dificuldade de coordenar o trabalho conjunto entre as diversas disciplinas acadêmicas e industriais, algo essencial para se entender as estruturas naturais e reproduzir o que elas fazem. Todavia, o principal motivo para a biomimética não ter ainda alcançado a maturidade é que, do ponto de vista da engenharia, a natureza é excessivamente complexa. A evolução não "projeta" a asa da mosca ou a pata da lagartixa tendo em vista algum objetivo final, como o faria um engenheiro – em vez disso, ela faz cegamente uma miríade de experimentos aleatórios, ao longo de milhares de gerações, que resulta em organismos pouco elegantes cujo objetivo é sobreviver o suficiente para produzir a geração seguinte e inaugurar a próxima rodada de experimentos aleatórios. Para tornar tão rígida a concha do abalone, 15 proteínas distintas realizam uma dança coreografada cujo entendimento vem sendo buscado por várias equipes de primeira linha. A força da seda segregada pela aranha não está apenas no coquetel de proteínas que a compõe mas nas misteriosas fiandeiras, em que 600 bicos produzem sete diferentes tipos de seda em configurações extremamente resistentes.

O caráter multifacetado de grande parte dos feitos de engenharia naturais torna difícil o seu entendimento e a sua reprodução. Por enquanto, ainda é impossível reproduzir estruturas nanométricas tão intrincadas. A natureza, contudo, as produz sem o menor esforço, molécula por molécula, seguindo a receita de complexidade codificada no DNA. Como diz o engenheiro Mark Cutkosky, "o preço que pagamos pela complexidade no nível de escalas muito pequenas é imensamente mais alto que o pago pela natureza". A despeito disso, a distância que nos separa dos processos naturais vem sendo reduzida aos

poucos. Com a ajuda de microscópios eletrônicos ou de varredura de forças, microtomógrafos e supercomputadores, os pesquisadores estão conseguindo avançar na decifração dos segredos nanométricos da natureza – e também estão produzindo um conjunto de materiais avançados que os mimetiza de modo cada vez mais acurado.

Mesmo antes de se tornar um setor lucrativo em termos comerciais, a biomimética já é uma poderosa ferramenta adicional ao entendimento da vida. Bob Full, o especialista em locomoção animal de Berkeley, aproveita as novas descobertas na montagem de robôs que correm, escalam e se arrastam – as quais, por sua vez, o esclareceram a respeito de algumas regras fundamentais dos movimentos feitos pelos animais. Ele concluiu, por exemplo, que todo animal terrestre, da centopéia ao ser humano, possui a mesma flexibilidade e, ao correr, gera a mesma energia relativa. Kellar Autumn, o especialista em aderência de lagartixa e antigo aluno de Full, costuma pedir emprestado componentes do Stickybot, de Cutkosky, para compará-los com estruturas naturais do lagarto e testar hipóteses biológicas que não podem ser verificadas na lagartixa.

"Não há problema em se aplicar uma pressão de 0,2 newton a um pedaço de adesivo de lagartixa e arrastá-lo em direção distal à velocidade de 1 microm por segundo", diz Autumn. "Mas obrigue uma lagartixa a fazer o mesmo com sua pata. O que você vai conseguir é apenas uma mordida." □

olho de inseto

Nos anos 1960, cientistas que estudavam os olhos da mariposa notaram que uma das conseqüências de sua superfície multifacetada (micrografia eletrônica, à direita) é a diminuição de sua reflexividade. Na Alemanha, engenheiros usam laser para esculpir, em verniz fotossensível, facetas similares. Cerca de 16 milhões de "pontos" de textura por milímetro quadrado eliminam todo o reflexo na metade direita de uma tela de computador. Essa tecnologia biônica resulta de 40 anos de pesquisa – e milhões de anos de evolução.

Imagens pensadas Como Robert Clark mostra conceitos por suas fotos? Veja, em vídeo, como ele produziu as imagens em ngbrasil.com.br/0804

