





A origem evolutiva do modo de andar humano, sobre os dois pés e com o corpo ereto, é tema de muitos debates por cientistas. Este artigo apresenta uma proposta — baseada em conceitos da física — para esse momento da evolução biológica de nossa espécie que nos separou dos demais primatas. A proposta envolve um aspecto introduzido pela autora nessa polêmica: a redução dos pelos nos humanos. Todos os símios da linha evolutiva de nossa espécie carregam suas crias agarradas aos pelos do corpo da mãe, e uma análise das propriedades dos pelos mostra que a diminuição destes traz a locomoção bípede como consequência direta, em razão da necessidade de carregar as crias nos braços.

Lia Queiroz do Amaral Departamento de Física Aplicada, Instituto de Física, Universidade de São Paulo

origem da espécie humana é tema de interesse universal, envolvendo crenças, mitos, religiões e também conhecimento acadêmico sofisticado e detalhado. A análise das sociedades humanas levou ainda a modelos de natureza ideológica, que arrebataram corações e mentes humanos, em especial ao longo do último século. O mundo de hoje, porém, mostra claramente o esgotamento dessas visões, e minhas experiências pessoais me deram certeza de que a questão central está na relação entre homens e mulheres, junto com o confronto das gerações que se sucedem.

Este artigo tem como foco a evolução biológica inicial da espécie humana, e apresenta resultados de pesquisas científicas independentes iniciadas quando li, em 1975, o livro A origem do homem e a seleção sexual, do naturalista inglês Charles Darwin (1809-1882). Nesse segundo livro, menos conhecido que o famoso A origem das espécies por meio da seleção natural, Darwin diz ter se equivocado ao dar excessiva importância à seleção natural. Ressalta evidências de forte seleção sexual nos humanos e em muitos outros animais, dando ênfase à nudez da pele humana, diferente da de outros primatas.

Ele discute na obra os caracteres sexuais secundários e a importância da seleção sexual, tanto na competição entre machos quanto na escolha feita pela fêmea. Menciona as vocalizações humanas, sexualmente diferenciadas, e o papel da voz dos animais nos contextos de sinalização e de disputas sexuais. Darwin coloca a seleção sexual como dominante no estágio inicial de nossa separação dos demais primatas, mas essa proposta não foi aceita em sua época. Resgato essa proposta, mas em sentido mais amplo, de seleção por interações dentro da espécie.

Nossa espécie é a única, entre os primatas, que desenvolveu uma forma de locomoção bípede e que não é peluda, e os motivos que levaram a essas duas características biológicas são controversos. O andar bípede pode ser reconhecido nos fósseis, mas as alterações na pele e nos pelos não deixam registros fósseis. Porém, dermatologistas que estudaram a pele humana, em um contexto evolutivo, concluíram que suas alterações surgiram junto com o bipedalismo. Um estudo detalhado da densidade de pelos em várias espécies de primatas mostrou que a densidade relativa de pelos (quantidade de pelos dividida pela área total do corpo) diminui à medida que aumenta o peso do primata. Nossa espécie, no entanto, não pode ser colocada nessa lei geral, pois ocorreu nos humanos uma miniaturização dos pelos, e apareceram ainda pelos, relacionados ao sexo dos adultos, que não existem nos demais primatas.

A antropologia física analisa fósseis de milhões de anos, e está demonstrado que nossa linha evolutiva começa com primatas do Velho Mundo, sem rabo, e que as espécies atuais próximas à nossa, que chamaremos de 'símios', incluem gibão e orangotango (asiáticos) e gorila e chimpanzé (africanos). A espécie humana é geneticamente mais próxima dessas espécies africanas.

Ideias especulativas, popularizadas na segunda metade do século 20, que enfatizavam o papel da caça como atividade dos machos na evolução inicial de nossa espécie, foram abandonadas em decorrência de pesquisas detalhadas feitas nas últimas décadas. Hoje, o consenso científico diz que a evolução biológica inicial, com o aparecimento do bipedalismo, ocorreu em ambientes mistos, na borda de florestas, com alimentação à base de vegetais, milhões de anos antes do aumento do cérebro.

Analisando trocas de calor com o ambiente, também demonstrei que a redução de pelos só poderia ocorrer em quadrúpedes muito ativos (com alta atividade metabólica e, portanto, maior necessidade de expelir calor para o ambiente), se estes vivessem em um ambiente onde ainda houvesse proteção de árvores contra a radiação solar direta. Como os pelos ajudam a proteger da radiação solar, não seriam perdidos em um ambiente muito exposto ao sol direto. Os primatas que vivem nas savanas são bastante peludos, como proteção contra absorção de calor.

Bipedalismo e reprodução Os primatas não humanos são quadrúpedes, e os grandes símios africanos têm uma forma bastante ineficiente de locomoção terrestre, indicando a existência de restrições ao bipedalismo, que se tornam claras quando se analisa a questão da reprodução e do parto, fortemente correlacionada com a postura. A forma de locomoção bípede exigiu mudanças na pélvis que tiveram efeitos no processo obstétrico de reprodução, tornando o parto humano difícil.

O aumento do cérebro intensificou essas dificuldades, mas a origem do problema é a forma bípede de locomoção, com desvantagens claras no que diz respeito à gravidez, ao parto e à sobrevivência do recém-nascido. Acredito que isso explique por que as demais espécies primatas não adquiriram a forma bípede como locomoção permanente, embora todos os primatas possam andar



Figura 1. Macaco com rabo, carregando filhote na posição ventral

ER RANDOS RIVADAÇÃO DA



Figura 2. Mãe orangotango com um filhote, que usualmente é carregado lateralmente por ela

de forma bípede por curtos períodos de tempo. Isso significa que algum fator específico deve ter permitido a evolução do bipedalismo.

Minha proposta pode ser resumida em poucas palavras: "Os primatas carregam suas crias agarradas aos pelos da mãe. Os humanos, porém, não têm pelos para os filhos se agarrarem. Portanto, a única saída de sobrevivência da espécie foi carregar os filhos nos braços, uma pressão seletiva fortíssima para o andar bípede".

As crias e os pelos Todos os primatas superiores (exceto os humanos) carregam as crias agarradas aos pelos do corpo de um parente adulto (em geral, a mãe). Em algumas espécies de macacos das Américas, o macho também carrega as crias, mas isso não ocorre com os primatas do Velho Mundo, de nossa linhagem, nos quais é a mãe que carrega as crias por vários anos. Entre os primatas não humanos ocorre uma mudança na forma de carregar as crias à medida que elas crescem, e podem ser descritos os padrões básicos existentes.

Em uma espécie primata com rabo, bastante peluda (figura 1), o filhote fica em posição ventral, permanecendo suspenso apenas por sua capacidade de se agarrar aos pelos e pela capacidade destes de suportar o peso do recém-nascido. Após alguns meses, a cria muda de posição, passando a cavalgar o dorso ou o quadril da mãe, ainda agarrada aos pelos, e essa forma de locomoção permanece por longo tempo, até a cria se tornar independente.

As espécies asiáticas arbóreas de nossa linhagem (gibão e orangotango) também carregam seus filhotes agarrados ao corpo da mãe. A figura 2 mostra uma mãe orangotango com um filhote, que usualmente é carregado lateralmente por ela. Na figura 3 vê-se um gorila, em locomoção quadrúpede típica (knuckle walking), na qual os nós dos dedos das mãos são usados como apoio. Como seus braços são mais compridos que as pernas, seu dorso não fica em posição horizontal, e sim com certa inclinação. A cria vai montada no dorso, agarrando os pelos com as mãos, mas não com os pés, que não têm mais capacidade preênsil, devido à locomoção terrestre da espécie.

O fato de os grandes símios africanos terrestres serem menos peludos gerou um problema específico para o transporte de seus filhotes recém-nascidos, mais pesados e que não conseguem se sustentar sozinhos em posição ventral na mãe (ou pai). Nos primeiros meses de vida, o bebê é suportado manualmente por sua mãe, que para isso adota uma forma trípede de locomoção, apoiada nos

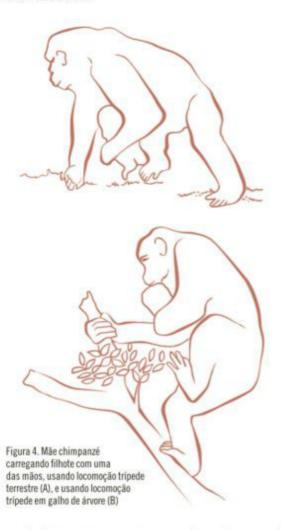
dois membros traseiros e em um dianteiro (o outro é usado para segurar a cria). Essa forma de locomoção, bastante difícil, é usada sistematicamente por gorilas, mas também é observada em chimpanzés, como pode ser visto na figura 4, em que uma mãe chimpanzé utiliza a locomoção trípede, carregando seu filhote com uma das mãos, em ambientes tanto terrestre quanto arbóreo.



Figura 3. Mãe gorila carregando filhote no dorso







Após alguns meses, as crias, tanto de gorilas como de chimpanzés, passam para cima do corpo da mãe, que retoma a locomoção quadrúpede.

A mudança da locomoção quadrúpede para trípede ou mesmo bípede ocorre sistematicamente entre os grandes símios quando a segurança da cria requer suporte manual. É evidente que a maior segurança no processo de carregar as crias leva a mudanças de forma de locomoção, que dependem do peso das crias, da capacidade dos pelos e da pele em suportar a pressão e da capacidade preênsil das crias.

A mecânica do processo A função dos pelos no processo de carregar as crias nos primatas não humanos é crucial para a sobrevivência das espécies. Esse processo também mostra correlação com a variação da densidade de pelos nos primatas, mas nenhum estudo científico havia sido feito sobre o tema. Por isso, realizei uma análise mecânica detalhada do problema. Analisei, em amostras de peles com pelos de três espécies da linha evolutiva dos humanos (gibão, orangotango e gorila), as

propriedades físicas dos pelos e os limites para carregar com segurança as crias.

Fiz ainda uma análise teórica do equilíbrio mecânico na locomoção quadrúpede dos gorilas, em termos de equilíbrio em um plano inclinado (figura 5). Além disso, estudei propriedades elásticas dos pelos, obtendo o limite que suportam antes de quebrar e de ser arrancados da pele, e o coeficiente de atrito entre os pelos, que ajuda a evitar o escorregamento da cria do corpo da mãe.

Os resultados desses estudos demonstram claramente que as propriedades elásticas dos pelos variam com a espécie de símio, e indicam um processo evolutivo associado à segurança no transporte das crias. Os pelos do acrobático gibão, espécie muito leve, são mais fracos, mas apresentam grande densidade. Já o pesado orangotango tem longos pelos esparsos, mas capazes de suportar um peso muito maior que os pelos do gorila, o que é necessário na vida arbórea do primeiro. No caso do gorila, a condição de equilíbrio mecânico (quando o ângulo formado pela parte superior do corpo durante a locomoção é menor que 30°, como visto na figura) está em acordo com o que se observa nesses animais. Acima desse ângulo, a combinação da força de atrito com o peso suportado por pelos não é mais capaz de impedir o escorregamento da cria, levando à sua queda.

Os resultados mostram que o bipedalismo é incompatível com o processo usual de transporte das crias nos símios – agarradas aos pelos das mães. Diante da ocorrência de um processo paralelo de redução dos pelos do corpo, como aconteceu com os ancestrais humanos, o bipedalismo é uma consequência necessária. As mães com redução de pelos que conseguiam se manter de pé por mais tempo, carregando os filhotes nos braços, obtinham vantagem na sobrevivência de sua prole.



Evolução filogenética A espécie humana, seus parentes símios e os ancestrais diretos desse grupo estão inseridos em uma superfamília denominada Hominoidea. As relações genéticas e evolutivas dos hominoides (ou seja, nossa filogenia evolutiva) são visualizadas em um gráfico chamado cladograma, construído a partir de características morfológicas e também genéticas dos fósseis e das espécies atuais (figura 6). Cladogramas anteriores colocavam a espécie humana separada dos símios, como se tivesse surgido após o conjunto de símios. Recentemente, porém, os humanos passaram a figurar no cladograma junto com os chimpanzés, ou entre gorilas e chimpanzés.

Existem evidências de que a seleção sexual é importante entre os Hominoidea. Isso fica claro tanto nas diferenças físicas entre machos e fêmeas (dimorfismo sexual) quanto nas características dos órgãos sexuais de cada espécie. A partir dessa constatação, associada ao que se conhece sobre as estruturas sociais primatas, é possível definir um padrão básico de evolução.

Gibão, orangotango, gorila são espécies com estruturas sociais diferentes, mas em nenhuma delas há tolerância para a convivência de machos adultos. Os pequenos gibões são em geral monogâmicos, e o casal e seus filhotes pequenos vivem em um território específico, que defendem contra outros gibões. Eles apresentam baixo dimorfismo sexual, enquanto entre orangotangos e gorilas os machos são muito maiores que as fêmeas. Orangotangos machos são em geral solitários e circulam por áreas grandes que abrangem vários territórios, cada um deles associado a uma fêmea com seus filhos pequenos. Gorilas vivem em grupos maiores, formados por um grande macho dominante, seu harém e filhotes, mas os filhotes machos adolescentes permanecem no grupo apenas enquanto são claramente menores e submissos ao pai.

A estrutura social dos chimpanzés é muito diferente, pois existe convivência de machos e fêmeas adultos, além dos filhos pequenos. Nos grupos de chimpanzés, os machos são geneticamente próximos, e a tolerância entre eles é obtida pela existência de promiscuidade: todos têm acesso às fêmeas no período de cio.

Nossa linha evolutiva emerge, portanto, de uma mudança crítica: a passagem de espécies com grupos de apenas um macho dominante para espécies com grupos de vários machos adultos. Essa passagem deve ter envolvido disputas sexuais intensas, que podem ter definido pressões seletivas para a redução dos pelos, em razão da necessidade de dissipar calor interno. A seleção de indivíduos com menos pelos, ou seja, com maior capacidade de dissipação de calor, pode levar à redução da pelagem ao longo das gerações. É uma visão dramática, mas essas disputas explicam a existência de fortes agressões dentro da espécie, e a característica humana de lutas com contato total entre os corpos. Em outras espécies, essas lutas costumam ficar restritas a demonstrações de força, que



têm o objetivo de definir mais facilmente quem é o animal dominante, ou seja, o vencedor da disputa.

No gênero Homo (do qual nossa espécie faz parte), que surge milhões de anos após a diminuição de pelos e o andar bípede, ocorre aumento do cérebro e também aumento do tamanho das fêmeas (reduzindo o dimorfismo sexual), com possíveis alterações nas relações entre os sexos, indicando que começa a haver cooperação entre estes. A evolução toma outro rumo, na direção da linguagem e das culturas humanas, mas o impulso agressivo permanece, sob a capa civilizatória.

FÍSICA E EVOLUÇÃO

A autora do artigo pesquisa cristais líquidos, na área de física da matéria condensada, no Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Além disso, desenvolve trabalhos paralelos na área de evolução humana, em uma perspectiva de analise teórica e obtenção de dados, utilizando os conhecimentos e a metodologia da física para tentar explicar aspectos da evolução biológica.

Sugestões para leitura

AMARAL, L.Q. 'Bipedalismo: solução para carregar crias, correlacionada com a redução de pelos', em Revista da Biologia, v. 11(1), p. 19, 2013/2014 (disponível em www.ib.usp.br/revista/node/151).

DARWIN, C. A origem do homem e a seleção sexual. São Paulo, Hemus, 1974.

MORRIS, D. O macaco nu. Rio de Janeiro, Record, 1967.

NA INTERNET

ROSENBERG, K. R. e TREVATHAN, W. R. 'The evolution of human birth', em Scientific American, v. 13, p. 80, 2003 (tradução em português disponível em www.icb.ufmg.br/lbem/aulas/grad/evol/humevol/ evol-nasc-humano.html).