

**TENHO UMA PERGUNTA...
E TALVEZ TENHA A RESPOSTA!**

**UM LIVRO SOBRE
EVOLUÇÃO**

**TENHO UMA PERGUNTA...
E TALVEZ TENHA A RESPOSTA!**

**UM LIVRO SOBRE
EVOLUÇÃO**

Autores

Rita Campos (Editora) . Brian Urbano Alonso . Álvaro Chaos Cador . Gonçalo Espregueira Themudo . Paula F. Campos . Rui Faria . Luis Medrano González . Víctor Rogelio Hernández Marroquín . Leonardo de Oliveira Martins . Emiliano Rodríguez Mega . José Melo-Ferreira . Alejandra Valero Méndez . Juan Carlos Zavala Olalde . Ricardo J. Pereira . Ângela M. Ribeiro . Sara Rocha . Rodolfo Salas Lizana . Alicia Mastretta Yanes

Carlos Abegão . David Afonso . Belen Palmira Ibarra Aguilar . Raquel Dias Andrade . Ana Rita Salgado Artur . Paola Balzaretta Cabrera . David Omar Arellano Contla . Mariana Costa . Susana Cunha . Joana Dias . Rita Dinis . Pedro Gonçalves Faria . Rita Fonseca . Sebastião Quelhas Freire . Manuel Ramirez Garcia . Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez . Mara Filipa Oliveira Gorito . Daniel João Henriques . Patricio Navarro Hermosillo . Andreia Pinto Machado . Eduarda Sá Marta . Luis David Trevino Olvera . Tamara Osuna . Andreia Soares Parafita . João Ramalhão . Carolina Ramos . Gonçalo Mendes Rodrigues . Paula Bautista Salas . Giancarlo Roldan Salas . Gabriela Moreira dos Santos . Catarina Saraiva . João Pedro Alves Silva . Regina Pereda Sparrowe . Mariana Valente e Torres . Carolina Borja Valarde . Ana Luísa Vaz . Luis Alfonso Hernández Vázquez . Marlene Veiga . Joana Vila . Valeria Incapiez Zendejas

Este livro electrónico é distribuído gratuitamente. Para mais informações consulte o blogue “Um livro sobre evolução” (<http://umlivrosobreevolucao.blogspot.com>) ou escreva para ritacampos@cibio.up.pt.

Edição simultânea em português e castelhano, a partir de textos originais nas duas línguas.
Tradução: Rita Campos e Rodolfo Salas Lizana (com o apoio de Rogelio Rodríguez Flores)

Design: Joana Monteiro

ISBN: 978-989-97418-9-8

Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO)
da Universidade do Porto
Museu da Ciência da Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências da Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)
©2013

Sugestão de citação: Campos R (ed.) et al. (2013). Um livro sobre evolução. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal.



MUSEU DA CIÊNCIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



eseb

NOTA INTRODUTÓRIA

Este livro nasceu de uma proposta submetida, com sucesso, ao fundo para a divulgação da Teoria da Evolução da Sociedade Europeia para a Biologia Evolutiva (*Outreach Fund, European Society for Evolutionary Biology* - ESEB; <http://www.eseb.org/>). A base para a proposta foi o facto do ensino da Teoria da Evolução ter perdido espaço nos currículos do ensino básico português o que, aliado a uma relativa escassez de materiais educativos sobre evolução, impede uma correcta compreensão dos seus princípios. Assim, de uma parceria entre um centro de investigação, o Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos da Universidade do Porto, da Rede de Investigação em Biodiversidade e Biologia Evolutiva (CIBIO/InBIO, Laboratório Associado), e um centro de ciência, o Museu da Ciência da Universidade de Coimbra, surgiu a ideia de produzir um livro que partisse do interesse do seu público-alvo: a população estudantil. Esse objectivo seria atingido abrindo um concurso que desafiasse crianças e jovens que frequentam o ensino pré-universitário a formular questões relacionadas com a evolução biológica e a tentar dar-lhes uma resposta. Às duas instituições portuguesas juntou-se a Universidade Autónoma Nacional do México (UNAM), o que permitiu alargar o concurso a alunos mexicanos. No total, recebemos 119 participações; seis biólogos evolutivos avaliaram todas as participações recebidas e 40 foram seleccionadas para integrar o livro.

O livro está organizado em quatro partes. Na parte I apresenta-se o resultado do concurso, sob a forma de perguntas e respostas da autoria dos alunos seleccionados, e um texto escrito por um biólogo evolutivo, que pretende complementar e, em alguns casos, corrigir as respostas dadas pelos alunos. No entanto, chamamos a atenção para o facto de não ter sido possível corrigir individualmente as incorrecções detectadas nos textos dos alunos, pelo que se aconselha que a leitura destes seja feita de forma ponderada e confrontada com as respostas dadas pelos biólogos e as correcções de concepções erradas comuns, listadas na parte II deste livro. Os textos estão ordenados em 26 capítulos; alguns dos textos seleccionados tratavam do mesmo assunto pelo que, nestes casos, optou-se por agrupar as perguntas e respostas dos alunos e complementar com apenas um texto escrito por um dos biólogos. Esta parte inicia-se com considerações gerais sobre o que é a Teoria da Evolução e quais as principais fontes de variabilidade genética e mecanismos evolutivos (capítulos 1 a 4). No capítulo 5 fala-se um pouco de história da ciência e do hipotético conhecimento que Mendel, o monge que descreveu os princípios básicos da hereditariedade e por isso conhecido como

o “pai” da genética, e Darwin teriam dos trabalhos um do outro.

Os capítulos seguintes descrevem três mecanismos evolutivos, exemplificando o seu modo de acção com espécies familiares (capítulos 6 a 8). Os capítulos 9 e 10 abordam dois aspectos fascinantes da evolução: a existência de espécies muito idênticas apesar de serem evolutivamente distantes e habitarem regiões afastadas e de espécies tão intimamente relacionadas que a evolução de uma está ligada à evolução da outra.

No capítulo 11 descrevem-se as hipóteses avançadas para o surgimento do voo, com especial ênfase nos grupos das aves e mamíferos (morcegos).

O voo é também abordado no capítulo 12 mas como mote para falar sobre a existência de estruturas que partilham a mesma origem ou aparência básica mas que por vezes desempenham funções muito diferentes.

Seguem-se cinco capítulos onde se descreve a evolução de algumas espécies conhecidas: os crocodilos, as enguias-eléctricas, os insectos, os cavalos e as baleias (capítulos 13 a 17) e um onde se discute a existência de espécies que mantêm uma morfologia aparentemente igual durante milhares de anos e que são erradamente apelidadas de “fósseis vivos” (capítulo 18). Do capítulo 19 ao 24 fala-se em evolução humana, desde os primeiros hominídeos a exemplos de evolução humana recente, passando pela evolução do bipedismo e da inteligência humana e de características morfológicas, como o formato dos olhos e formação de rugas induzidas pelo molhado. Uma das mais fascinantes aplicações da Teoria da Evolução é abordada no capítulo 25 e no capítulo 26 explica-se a diferença fundamental entre uma teoria científica e uma ideologia política ou social e como esta diferença é importante na separação dos princípios da selecção natural da corrente que defende a eugenia como base para um “melhoramento” do ser humano (é importante notar que o uso dos princípios básicos da Teoria da Evolução na área das ciências sociais e humanas não leva necessariamente a consequências tão nefastas como a eugenia; pelo contrário, nos últimos anos tem aumentado o número de estudos aplicados, nomeadamente sob o que se designa de Psicologia Evolutiva). As partes II e III compreendem uma lista de equívocos sobre a Teoria da Evolução e respectivas correcções e um glossário de termos usados nas correcções mas que também podem ser encontrados ao longo do livro. Com excepção de quatro concepções erradas, identificadas pela professora Paula Paiva e corrigidas no âmbito deste livro, estas partes são uma tradução do material disponível no *site* do projecto *Understanding Evolution* (<http://evolution.berkeley.edu/>). O livro termina com a listagem das fontes bibliográficas consultadas e/ou sugeridas pelos diferentes autores (parte IV).

Por fim, resta agradecer a todos os alunos e respectivos professores ou encarregados de educação que responderam ao desafio e concorreram com perguntas e respostas muito interessantes, com um agradecimento

especial às professoras e encarregados de educação dos alunos vencedores: Prof. Carmina Maria de Castro Teixeira da Costa, do Agrupamento de Escolas Frei Bartolomeu dos Mártires, Prof. Ana Alexandra Costa Rebelo Nogueira Almeida, da Escola EB - 2,3 da Agrela, Prof. Iolanda Marisa Carvalho Martins Ribeiro da Silva, da Escola EB 2,3/S Miguel Torga, Prof. Paula Ferreira e Prof. Paula Reis, da Escola Secundária Infanta D. Maria, Prof. Ana Gonçalves, do Agrupamento de Escolas de Padre Benjamim Salgado, Prof. Marisa Mota, do Agrupamento de Escolas de Mogadouro, Prof. Rita Gabriela Monteiro da Rocha, do Colégio Luso Francês, Prof. Elizabeth Woodhouse Aguilar, do Colégio Marymount, Claudia Salas Lizana e Orquídea Maria Teixeira Dias Andrade. Este agradecimento é ainda estendido aos biólogos evolutivos que integraram o júri responsável por avaliar e seleccionar os textos recebidos: José Melo-Ferreira e Rui Faria, do CIBIO/InBIO, Universidade do Porto; Paula F. Campos, do Centro para a GeoGenética, Museu de História Natural da Dinamarca, Universidade de Copenhaga; e Rodolfo Salas Lizana e Rogelio Rodríguez Flores, da Faculdade de Ciências da UNAM. Um agradecimento é também devido ao Prof. Albano Rocha, pela revisão do texto desta edição. Por último, agradece-se o apoio financeiro da ESEB, do Programa Operacional Potencial Humano-Quadro de Referência Estratégico Nacional do Fundo Social Europeu e Ministério da Educação e Ciência de Portugal (Fundação para a Ciência e a Tecnologia; bolsas de pós-doutoramento SFRH/BPD/64365/2009 a Rita Campos, SFRH/BPD/43264/2008 a José Melo-Ferreira, SFRH/BPD/73115/2010 a Sara Rocha, SFRH/BPD/89313/2012 a Rui Faria; bolsa PTDC/BIA-BIC/4177/2012, no âmbito do projecto FCOMP-01-0124-FEDER-028307, a Gonçalo Espregueira Themudo) e do Conselho Europeu de Investigação (ERC-2007-Stg 203161-PHYGENOM a Leonardo de Oliveira Martins).

CIBIO/InBIO, Novembro de 2013

Rita Campos

ÍNDICE

PARTE I: 40 PERGUNTAS E AS RESPOSTAS

CAPÍTULO 1: Definição de evolução

Paola Balzaretti Cabrera: O que é a evolução biológica?	16
Regina Pereda Sparrowe: O que é a evolução?	16
Álvaro Chaos Cador	17

CAPÍTULO 2: A natureza da evolução

Sebastião Quelhas Freire: A evolução é um processo aleatório?	19
Víctor Rogelio Hernández Marroquín	20

CAPÍTULO 3: Aceitação da evolução

Mariana Costa: Como é possível não aceitar a evolução?	22
Leonardo de Oliveira Martins	24

CAPÍTULO 4: Origem da variabilidade genética

Raquel Dias Andrade: Quais os principais factores que permitem a variabilidade genética?	26
Andreia Pinto Machado: Qual é a relação existente entre a mutação genética e a selecção natural na evolução dos organismos?	29
Mara Filipa Oliveira Gorito: Qual a relação que existe entre mutações e selecção natural na evolução dos seres vivos?	30
José Melo-Ferreira	33

CAPÍTULO 5: Uma hipotética carta de Mendel para Darwin

Marlene Veiga: Mito ou realidade? A carta...	35
Rodolfo Salas Lizana	37

CAPÍTULO 6: Evolução por selecção natural

Joana Dias: Como surgiu toda a diversidade presente na Natureza?	39
Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez: O que é a selecção natural?	41
Manuel Ramirez Garcia: Se só dois espécimes de uma espécie tiverem certa adaptação que lhes permite sobreviver toda a espécie poderia sobreviver?	42
Alicia Mastretta Yanes	42

CAPÍTULO 7: Evolução por selecção sexual	
Rita Dinis: Qual a teoria mais ousada sobre a evolução das espécies?	45
Belen Palmira Ibarra Aguilar: Em que ajuda os pavões terem penas de cor chamativas?	46
Gonçalo Mendes Rodrigues: Por que motivo só os veados (<i>Cervus elaphus</i>) machos têm hastes?	47
Alejandra Valero Méndez	47
CAPÍTULO 8: Evolução por selecção artificial	
Carlos Abegão: Porque é que os cães e os lobos têm comportamentos tão diferentes mas genética tão igual?	49
José Melo-Ferreira	51
CAPÍTULO 9: Evolução convergente	
Susana Cunha: Estarão o porco-formigueiro e o papa-formigas relacionados?	54
Ricardo J. Pereira	55
CAPÍTULO 10: Co-evolução	
David Omar Arellano Contla: O que é a co-evolução?	56
Sara Rocha	56
CAPÍTULO 11: Evolução do voo	
João Pedro Alves Silva: Como é possível que um animal, que vive em terra, comece a voar?	58
Rita Fonseca: Será que as galinhas já foram dinossauros?	60
Gonçalo Espregueira Themudo	62
CAPÍTULO 12: Evolução das aves que não voam	
Ana Rita Salgado Artur: Os pinguins são aves marinhas mas não voam. Porquê?	64
Ricardo J. Pereira	65
CAPÍTULO 13: Evolução dos crocodilos	
Valeria Incapie Zendejas: O que mudou entre os crocodilos pré-históricos e os actuais?	66
Sara Rocha	67

CAPÍTULO 14: Evolução das enguias eléctricas	
Eduarda Sá Marta: Como é que as enguias eléctricas evoluíram no sentido de produzirem descargas eléctricas tão elevadas?	69
Brian Urbano Alonso	71
CAPÍTULO 15: Evolução dos insectos	
Luis David Trevino Olvera: Porque é que os insectos diminuíram de tamanho?	73
Ângela M. Ribeiro	74
CAPÍTULO 16: Evolução do cavalo	
Carolina Borja Valarde: Como nos apercebemos que os cavalos evoluíram?	76
Rita Campos	76
CAPÍTULO 17: Evolução das baleias	
Mariana Valente e Torres: De onde vêm as baleias?	78
Emiliano Rodríguez Mega	80
CAPÍTULO 18: "Fósseis vivos"	
Gabriela Moreira dos Santos: Será que todos os seres vivos evoluíram?	81
Rita Campos	82
CAPÍTULO 19: Relações evolutivas entre humanos e chimpanzés	
Ana Luisa Vaz: Porque é que os homens são tão parecidos com os chimpanzés?	84
Giancarlo Roldan Salas: Descendemos do chimpanzé?	85
Pedro Gonçalves Faria: Se nós evoluímos dos macacos, porque é que eles ainda existem? Não deveriam ter sido eliminados pela selecção natural?	86
Rita Campos	87
CAPÍTULO 20: Evolução do bipedismo	
Paula Bautista Salas: Porque é que os seres humanos desenvolveram uma forma de movimento bípede?	89
Carolina Ramos: Porque é que os homens são bípedes?	91
Juan Carlos Zavala Olalde	92

CAPÍTULO 21: Evolução do formato dos olhos	
Catarina Saraiva: Porque os asiáticos têm os olhos rasgados?	94
Paula F. Campos	96
CAPÍTULO 22: Evolução das rugas dos dedos	
Andreia Soares Parafita: Por que é que os dedos enrugam na água?	97
Rita Campos	99
CAPÍTULO 23: Origens e consequências da inteligência humana	
Tamara Osuna: Porque é que os humanos desenvolveram um cérebro maior que o dos chimpanzés?	100
Luis Alfonso Hernández Vázquez: Porque é que o Homem tem uma capacidade de raciocínio maior que os outros animais?	101
João Ramalhão: Será a esquizofrenia o preço do surgimento da linguagem humana?	102
Luis Medrano González	103
CAPÍTULO 24: Evolução humana recente	
Daniel João Henriques: Estará o Homem ainda sujeito às leis da evolução?	106
Patricio Navarro Hermosillo: Porque é que os humanos não evoluíram?	108
Álvaro Chaos Cador	108
CAPÍTULO 25: Medicina evolutiva	
Joana Vila: Após 50 anos sem ela, a tuberculose reaparece... Como explicaria Darwin tal acontecimento?	111
Rita Campos	113
Capítulo 26: Darwinismo social	
David Afonso: Darwinismo, pai do Nazismo ou não?	115
Rui Faria	116

PARTE II: CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE EVOLUÇÃO

1. Concepções erradas sobre a teoria da evolução e processos evolutivos

A evolução é uma teoria sobre a origem da vida	121
A teoria da evolução implica que a vida tenha evoluído (e continue a evoluir) de forma aleatória, ou ao acaso	121
A evolução resulta no progresso; através da evolução, os organismos estão continuamente a aperfeiçoar-se	121
Os organismos podem evoluir durante o seu tempo de vida	122
A evolução apenas ocorre de forma lenta e gradual	123
Porque a evolução é lenta, os seres humanos não a conseguem influenciar	124
A deriva genética ocorre apenas em populações pequenas	124
Os seres humanos não estão a evoluir	124
As espécies são entidades naturais distintas, com uma definição clara, e que são facilmente identificáveis por qualquer pessoa	125

2. Concepções erradas sobre selecção natural e adaptação

Seleccção natural implica que os organismos se tentam adaptar	126
A selecção natural dá aos organismos o que eles precisam	126
Os seres humanos não podem ter impactos negativos nos ecossistemas porque as espécies irão evoluir de acordo com o que precisam para sobreviver	126
A selecção natural actua para beneficiar as espécies	127
Numa população, os organismos mais aptos são aqueles que são mais fortes, saudáveis, rápidos e/ou maiores	128
A selecção natural é a sobrevivência dos organismos mais aptos numa população	128
A selecção natural produz organismos que estão perfeitamente adaptados ao seu ambiente	128
Todas as características de um organismo são adaptações	129

3. Concepções erradas sobre árvores evolutivas

Taxa que são adjacentes nas pontas de uma filogenia são mais próximos entre si do que com qualquer outro taxa em pontas mais distantes da filogenia	130
Taxa que aparecem perto do topo ou no lado direito da filogenia são mais avançados que os outros organismos na árvore	130

Taxa que aparecem perto da base ou no lado esquerdo da filogenia representam os ancestrais dos outros organismos na árvore	131
Taxa que aparecem perto da base ou no lado esquerdo da filogenia evoluíram mais cedo do que os outros taxa da árvore	132
Numa filogenia, um braço longo indica que o táxon mudou pouco desde que divergiu de outros taxa	133
4. Concepções erradas sobre genética populacional	
Cada característica é influenciada por um <i>locus</i> do tipo Mendeliano	135
Cada <i>locus</i> tem apenas dois alelos	135
5. Concepções erradas sobre a teoria da evolução e sobre a natureza da ciência	
A evolução não é ciência porque não pode ser observada ou testada	136
A evolução é "apenas" uma teoria	136
A teoria da evolução é inválida porque é incompleta e não consegue dar uma explicação completa para a biodiversidade que observamos à nossa volta	137
As falhas no registo fóssil refutam a evolução	137
6. Concepções erradas sobre a aceitação da evolução	
A teoria da evolução tem falhas mas os cientistas não o admitem	138
A evolução é uma teoria em crise e está a colapsar à medida que os cientistas perdem crédito nela	138
A maior parte dos biólogos rejeitou o Darwinismo e já não concordam com as ideias desenvolvidas por Darwin e Wallace	139
7. Concepções erradas sobre as implicações da evolução	
A teoria da evolução leva a comportamentos imorais	139
A evolução suporta a ideia de "o poder faz a razão" (da expressão em inglês " <i>might makes right</i> ") e racionaliza a opressão de algumas pessoas por outras	140
Se se ensinar aos estudantes que eles são animais, eles ir-se-ão comportar como animais	140

8. Concepções erradas sobre evolução e religião	
A teoria da evolução e a religião são incompatíveis	141
9. Concepções erradas sobre o ensino da evolução	
Os professores devem ensinar "os dois lados" do tema da evolução e deixar os estudantes decidir – ou dar tempo igual para o evolucionismo e o criacionismo	141
A própria teoria da evolução é religiosa e portanto exigir que os professores ensinem evolução dá prioridade a uma religião em detrimento das restantes e viola a liberdade de expressão (viola a primeira emenda, no original)	142
10. Outras concepções erradas sobre evolução	
Os seres vivos adaptam-se às condições ambientais	142
Os órgãos vestigiais são órgãos atrofiados	143
A partir de um mesmo ancestral, devido à diferença entre os indivíduos, ocorre divergência entre os organismos que colonizam diferentes habitats	143
Qualquer interferência dos seres humanos sobre outros seres vivos é selecção artificial	143
PARTE III: CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE EVOLUÇÃO – GLOSSÁRIO	145
PARTE IV: REFERÊNCIAS E SUGESTÕES BIBLIOGRÁFICAS	151

PARTE I

40 PERGUNTAS

E AS RESPOSTAS

CAPÍTULO 1: DEFINIÇÃO DE EVOLUÇÃO

O que é a evolução biológica?

Por Paola Balzaretti Cabrera, 7º ano, Colégio Marymount

A evolução biológica são mudanças que se dão ao longo de muito tempo. A evolução foi comprovada ao ver fósseis e ao compará-los com espécies actuais. Alguns princípios da evolução são: a evolução é mais rápida nuns momentos que noutros, algumas espécies evoluem mais rapidamente que outras, as espécies que acabam de se formar não nascem evoluídas mas nascem simples e débeis. A evolução pode ser para melhor mas também pode ser para pior. A evolução ocorre num grupo e não numa única pessoa/organismo. Segundo Charles Darwin, a evolução ocorre por razões específicas; por exemplo a probabilidade de evolução é idêntica em animais e plantas. Em qualquer espécie nascem mais indivíduos do que os que conseguem obter o seu alimento pelo qual lutam para ver quem sobrevive e só os mais aptos o conseguem. Os mais adaptados vão ter poder sobre os menos adaptados. Os que sobrevivem, ou seja os mais adaptados, transmitem as suas vantagens à geração seguinte.

O que é a evolução?

Por Regina Pereda Sparrowe, 7º ano, Colégio Marymount

A evolução é o conjunto de transformações ou mudanças ao longo do tempo. A palavra evolução foi utilizada pela primeira vez no século XVIII pelo biólogo suíço Charles Bonnet. O conceito de que a vida na Terra evoluiu já havia sido expressado por vários filósofos gregos. No século XIX Jean-Baptiste (cavaleiro de Lamarck) revelou a sua teoria da transmutação das espécies, que foi a primeira teoria científica. Em 1858 Charles Darwin e Alfred Russel publicaram uma nova teoria científica. Em 1859 Darwin resumiu a evolução biológica numa verdadeira teoria científica.

A viagem.

De 1831 a 1836, o navio HSM Beagle viajou pelas costas da América do Sul e pelos arquipélagos do oceano Pacífico. Darwin baseou-se nas suas observações para escrever a sua obra. Antes de Darwin, o biólogo francês Lamarck já havia proposto a teoria da evolução. A teoria de Lamarck dizia que os primeiros organismos adaptaram-se ao meio ambiente de tal maneira que um órgão utilizado frequentemente será melhorado e, pelo contrário, um órgão não utilizado atrofiará e será eliminado.

As mutações fazem com que dentro de uma espécie haja variabilidade suficiente para que haja lugar à selecção natural. Uma mutação é uma alteração aleatória da estrutura química do ADN, que pode provocar desde alterações insignificantes até variações radicais, tanto benéficas como prejudiciais.

Por Álvaro Chaos Cadore,

*Faculdade de Ciências e Centro de Ciências da Complexidade,
Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)*

A palavra evolução pode significar várias coisas. Se a definição está relacionada com as alterações que ocorrem em populações de organismos vivos, é correcto usar a designação de evolução biológica. Para definir o termo não é necessário saber que Lamarck foi o primeiro naturalista que propôs uma teoria evolutiva ou que Darwin visitou a América do Sul numa viagem de investigação, e muito menos que as mutações são a matéria-prima da selecção natural. Tudo isso é irrelevante.

Analisemos as respostas. Ambas dizem que são as alterações que ocorrem ao longo de muito tempo. Isso é extremamente vago. A que alterações se referem? E onde ocorrem essas alterações? Quanto tempo é muito tempo? Examinemos por partes as definições. Começemos por saber quais são as mudanças que interessam. As características que os seres vivos possuem são de dois tipos: as herdadas e as adquiridas durante a vida. Um leão tem uma grande juba; tal como o seu pai e o seu avô, herdou-a dos seus antepassados. Essa característica é hereditária. Mas se o felino se arranha e fica com uma cicatriz no focinho, não herdou a cicatriz dos seus pais. E vai transmitir aos seus filhos a juba mas não a cicatriz. As características importantes na evolução biológica são apenas as que se transmitem de pais para filhos.

Uma população é um grupo composto por vários indivíduos da mesma espécie que se reproduzem entre si. Há populações muito grandes, formadas por milhões de indivíduos, e outras são pequenas, apenas contando com uma dezena ou menos de indivíduos. Apesar dos indivíduos de uma população pertencerem à mesma espécie, não são exactamente iguais. Há variações entre eles. É fácil perceber isso. Numa sala de cinema, nem todas as pessoas têm a mesma estatura ou a

mesma cor de cabelo. As populações naturais também variam. Vejamos um exemplo famosíssimo sobre a cor de uns lepidópteros. Há muito tempo havia uma população de mariposas, cujo nome científico é *Biston betularia*. A maioria delas eram cinzento claro. Viviam num bosque cujas árvores estavam cobertas por um líquen dessa mesma cor. Muitas gerações dessa mariposa viveram nesse bosque. De vez em quando nasciam mariposas cinzento escuro mas não viviam muito porque eram facilmente detectadas pelos seus predadores. Como eram escuras sobressaíam nos troncos claros e as aves viam-nas facilmente e caçavam-nas. Não se podiam camuflar, como faziam as suas irmãs claras. Quando as cidades próximas começaram a queimar carvão para gerar electricidade, a fuligem que se libertava, proveniente da combustão, assentava nos troncos das árvores, escurecendo-os e matando os líquenes. Pouco a pouco, o bosque foi escurecendo. Ao mesmo tempo, as mariposas que nasciam escuras tinham menos probabilidades de ser detectadas porque podiam pousar nas zonas escuras dos troncos. Agora sim, podiam-se confundir. Graças a esta alteração, aumentaram em número, geração após geração. Hoje em dia já não há líquenes sobre a casca das árvores. O bosque é escuro. A população de mariposas continua a viver lá mas a maioria é escura porque as claras são as que vivem pouco, ao ser facilmente detectadas pelas aves. A cor da maioria das mariposas da população original era clara; hoje é ao contrário, a maioria são escuras. A população alterou-se. Isto é a evolução biológica.

Quanto tempo é preciso esperar para que ocorra evolução biológica? Podemos deduzir isso da resposta anterior. Se o que evolui são as populações, então temos que esperar o tempo necessário para que se forme uma nova geração. Isso é muito tempo? Depende. Há organismos que demoram anos a formar uma nova geração, como as tartarugas ou os elefantes. Outros fazem-no rapidamente; os ratos e muitos insectos enquadram-se nesta categoria. Normalmente, quanto mais pequeno é o organismo mais depressa se forma uma nova geração. As bactérias podem formar uma nova geração em minutos; as baleias demoram muitos anos.

Esclarecidos os pontos anteriores, concluímos que a evolução biológica é a alteração que ocorre nas frequências das características hereditárias dos indivíduos de uma população ao longo das suas gerações. Darwin definiu-a como “descendência com modificação”.

Para terminar, é importante corrigir algumas ideias falsas que escreveram nas suas respostas. A evolução biológica não foi comprovada com fósseis. Os fósseis apenas provam a presença de organismos com determinado aspecto em diferentes períodos da Terra. A única maneira de comprovar a evolução biológica é vendo-a ou registá-la directamente; é possível fazê-lo estudando populações de organismos com gerações curtas, onde se pode ver como as populações se vão alterando. As raças de plantas e de animais criadas pelo Homem também a provam, porque, graças aos registos que há, é possível comparar populações antigas com recentes. As espécies recém-formadas não nascem mais frágeis ou simples que as anteriores. Pelo contrário, geralmente são mais complexas e, segundo Darwin, são mais fortes. Não se pode dizer que a evolução biológica seja para alguma coisa; trata-se simplesmente de um processo que ocorre na natureza. Nada mais. A evolução biológica não tem uma finalidade ou um objectivo. Darwin nunca disse que a evolução tinha razões precisas. Ele não fala em probabilidades de evoluir. Pelo contrário, mencionou que desconhecemos muitos componentes do processo. O que propôs foi que os seres vivos se adaptam através da selecção natural. Não há teorias científicas verdadeiras. Há teorias científicas que são mais robustas que outras porque estão melhor suportadas, mas não porque são verdadeiras.

CAPÍTULO 2: A NATUREZA DA EVOLUÇÃO

A evolução é um processo aleatório?

Por Sebastião Quelhas Freire, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

De uma maneira sucinta, não.

Embora seja inegável a enorme importância do acaso no processo evolutivo, este não é totalmente responsável pela evolução. Na verdade, a evolução pode ser dividida em dois processos: i) as mutações e a recombinação genética; ii) selecção natural.

As mutações, tal como a recombinação genética (o *crossing-over* na meiose e a fecundação), ocorrem natural e aleatoriamente nos seres vivos. Uma mutação é uma mudança na sequência de nucleótidos que ocorre devido a falhas na replicação das moléculas de ADN aquando da mitose ou da meiose. A recombinação genética está presente na prófase I da meiose, no *crossing-over* (permuta de material genético entre os cromossomas homólogos) e na fecundação (fusão de gâmetas). São estes processos que possibilitam a variedade genética e em ambos o acaso tem um papel fundamental.

A evolução, contudo, não se trata apenas de mutações e recombinações genéticas. Trata-se, também, da selecção das características determinadas por essas mutações e recombinações que tornam o ser mais adaptado ao ambiente em que vive. Este processo é chamado selecção natural. A selecção natural é totalmente não aleatória. Decerto já terá ouvido a expressão “sobrevivência do mais apto”, e ficará agora a saber que é este o lema da selecção natural, que nada mais é que um processo cíclico de sobrevivência e reprodução diferencial, ou seja, os mais aptos sobrevivem em maior número e, por consequência, reproduzem-se em maior número havendo, ao longo das gerações, uma acumulação de características na população, que poderá formar uma nova espécie. A selecção natural não é aleatória mas é relativa, isto porque o conceito de “mais apto” varia de ambiente para ambiente, isto é, um ser mais apto num

dado ambiente pode não o ser noutro, diferente. Assim, é o ambiente que condiciona a evolução, é ele que selecciona os indivíduos que estão melhor adaptados a fazer aquilo que fazem, no ambiente em que se encontram. É ele que governa a selecção natural. Os seres vivos são hoje como são e estão tão adaptados a fazer aquilo que fazem pois as pressões selectivas sofridas pelos seus antepassados permitiram a sobrevivência apenas àqueles que, naquele ambiente, eram mais aptos.

Concluo com uma citação de Richard Dawkins, biólogo evolucionista que, quando confrontado com esta questão, disse: “Isso é ridículo. A mutação é aleatória na medida em que não é antecipatória daquilo que é necessário. A selecção natural é tudo menos aleatória. É um processo guiado (...) pelos genes que sobrevivem e pelos que não sobrevivem. (...) É devido a este processo não aleatório que os leões são tão bons a caçar e os antílopes tão bons a fugir dos leões”

Por Víctor Rogelio Hernández Marroquín,

Faculdade de Ciências, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)

A evolução não é um fenómeno aleatório no sentido em que amanhã poderias acordar sendo um escaravelho ou que os teus filhos subitamente teriam asas; mas espero conseguir convencer-te de que a evolução também não está completamente direccionada. Quanto mais profundamente estudamos os fenómenos importantes para a evolução mais nos apercebemos que o acaso pode influenciar muitos deles.

Comecemos com a divisão acertada dos processos que propões mas tornemo-los mais gerais. Podemos pôr a mutação e a recombinação num processo mais amplo chamado criação de variação individual. Esta variação, definida como as diferenças entre os indivíduos de uma mesma população, pode observar-se a muitos níveis diferentes, que vão desde as diferenças no ADN até às diferenças entre os atributos externos. Nenhum par de organismos tem genomas completamente iguais, assim como também não têm a mesma aparência, fisiologia ou, no caso de alguns animais, comportamento. Como bem reconheces, o acaso tem um papel fundamental na origem da variação genética mas também interfere noutros processos de variação individual; por exemplo, os de desenvolvimento. Desde a alimentação dos pais até às relações iniciais com outras espécies, os estímulos externos que influenciam a formação de um embrião ou as primeiras etapas da vida de um organismo são tão variados como frequentes. A forma como o genoma do organismo irá responder a esses estímulos não é completamente previsível e, mesmo em situações semelhantes, pode ter resultados distintos. Para mais informações, pergunta a gémeos que conheças. Então, o facto de dois organismos

nunca serem iguais é tanto culpa da informação genética individual como do seu historial de desenvolvimento e em ambos os processos o acaso tem um papel fundamental.

Passemos agora à etapa seguinte do processo evolutivo. Uma vez que temos variação individual, entram em jogo todos os factores ambientais que influenciam a sobrevivência e reprodução desses indivíduos. A selecção natural é uma consequência da interacção entre os indivíduos e o seu meio ambiente, é verdade. No entanto, o acaso também actua a este nível, embora não o reconheçamos de imediato. Pensemos que, algumas vezes, nem o leão que caça melhor consegue apanhar o antílope nem o antílope mais veloz consegue escapar ao leão. As diferenças entre os indivíduos permitem-lhes ter maiores ou menores probabilidades de sobreviver e de se reproduzirem, mas não lhes asseguram nada. Na realidade, a selecção natural é uma questão de probabilidades. Claro que se és um leão com características que te conferem uma maior probabilidade para te reproduzires é quase certo que conseguirás um parceiro e terás leõesinhos e é desse modo que, gerações após gerações, a selecção pode produzir as adaptações completas que vemos nos organismos. No entanto, por vezes acontece que um indivíduo sobrevive ou reproduz-se mais que outros sem possuir as características mais adequadas para isso. Com um golpe de sorte, um antílope que não seja demasiado veloz pode conseguir sobreviver e ter as suas próprias crias. Se estes golpes de sorte, que vão contra as probabilidades, ocorrem frequentemente (como às vezes acontece em grupos pequenos), estamos perante a deriva genética, um processo evolutivo no qual o acaso é que domina. Assim, da interacção entre os indivíduos e o seu ambiente, a selecção natural não é o único resultado possível. Os organismos podem sobreviver e reproduzir-se quer tenham as características que lhes conferem maior probabilidade num dado ambiente quer não as tenham. Selecção natural e deriva genética são duas caras de um mesmo fenómeno, ao qual podemos chamar sobrevivência e reprodução diferenciais. O que as distingue é o grau de influência do acaso. E a verdade é que, na história evolutiva de qualquer espécie, encontraremos momentos em que a selecção ocorre mais que a deriva, momentos em que a deriva ocorre mais que a selecção e momentos em que ambas são igualmente importantes.

Em resumo, tanto na criação de variação individual como na posterior sobrevivência e reprodução, o acaso pode influenciar a evolução dos organismos. Isto não significa que os evolucionistas pensem que a história de uma espécie é um jogo de dados, como alguns fundamentalistas religiosos afirmam. Significa, como bem reconheces, que o acaso tem um papel importante no processo. Quão grande é realmente esse papel? Isso é uma discussão actual.

Por agora, podemos dar uma resposta à pergunta sobre se a evolução é aleatória. De um ponto de vista geral, a evolução não é aleatória mas realmente nenhum ser vivo pode escapar ao acaso, sob qualquer das suas formas. Logo, não o devemos descartar dos estudos sobre evolução. Sucintamente, a evolução é um processo que não é aleatório mas tem espaço para o acaso.

CAPÍTULO 3: ACEITAÇÃO DA EVOLUÇÃO

Como é possível não aceitar a evolução?

Por Mariana Costa, 7º ano, Escola EB - 2,3 da Agrela

Esta e outras questões como, por exemplo, “Como surgiram os seres vivos? De onde vêm eles? Quem deu origem à biodiversidade que conhecemos? Será que sempre existiram estes seres vivos?”, já foram por vós muitas vezes colocadas. Pois bem, à dúvida todos temos direito e a todos nos compete procurar a resposta mais correta, mais verdadeira e explicativa. Ora, cairemos nas explicações/respostas científicas.

Os vários e muitos estudos realizados por cientistas mostram-nos claramente que os seres têm origem uns nos outros, por sucessivas mudanças a que foram sujeitos... e há provas disso! A prova mais que provada que os seres têm origem uns nos outros, por mudanças morfológicas e fisiológicas a que foram submetidos ao longo dos tempos, é o registo fóssil que foi sendo encontrado e tem sido estudado. Os fósseis são, sem qualquer dúvida, o elemento chave, diria mesmo científico, que comprova a evolução dos seres vivos. É através do seu estudo que é possível comparar as características morfológicas e fisiológicas de um ser com um ser mais antigo (o possível antecessor, que se encontra num estrato rochoso mais inferior) e um ser mais recente (o possível descendente, que se encontra num estrato rochoso mais superior).

Os estudos paleontológicos mostram-nos que a vida, ao longo de milhões de anos, foi sofrendo mudanças. Hoje sabemos, por exemplo, que as primeiras formas de vida, estromatólitos, surgiram há 3 800 milhões de anos (MA) e eram seres vivos muito semelhantes às bactérias de hoje, seres de corpo mole. Mais tarde, apareceram organismos com carapaça ou com concha. Com o aparecimento da carapaça ou da concha os seres estavam mais protegidos de predadores e de condições ambientais adversas. Ora, eis um óbvio sinal da evolução dos seres vivos! Estes seres passaram a estar “mais bem” adaptados à vida. Passaram a ser estes os seres mais evoluídos e com origem em seres já existentes. Com este aspecto temos, no Câmbrio, um grupo de seres vivos

marinhos chamado trilobite, que também já apresentavam um comportamento nada comum para esse “tempo de vida tão remoto”, mas que traduz um sinal nítido de evolução - viviam em grupo, apresentavam então comportamentos gregários. No Devónico apareceram os primeiros peixes e os invertebrados terrestres. Começa a ser conquistado o ambiente terrestre por alterações morfológicas e fisiológicas dos seres aquáticos. Já no Carbónico, os paleontólogos constataram o aparecimento das primeiras florestas, de anfíbios e mais insectos. Continuamos em evolução! No Triásico apareceram os primeiros mamíferos, houve uma diversificação de répteis, em répteis mamalianos, pterossáurios (répteis voadores) e dinossáurios. Já no Jurássico ocorre uma diversificação das gimnospérmicas, com o aparecimento das sequóias e cicas. Dominaram os dinossáurios e apareceram as primeiras aves. No Cretácico apareceram as plantas angiospérmicas (como por exemplo a magnólia). Flores?! Ora, mais um aspecto de que traduz um passo para uma maior variedade das espécies vegetais. Mais recentemente, na Era Cenozóica, apareceram os mamíferos, e os primeiros hominídeos só há 1,6 MA – Australopithecus, que evoluíram para *Homo habilis*, *Homo erectus*, *Homo sapiens* e *Homo sapiens sapiens*.

Será que existe melhor história sobre a evolução do que a que aqui vos apresento?

Perdoem-me aqueles que acreditam na criação de tudo e de todos feita por um Deus, mas desconheço qualquer outra história com tão nítidas evidências de evolução da vida! Para acreditar na evolução/evolucionismo não é necessário ter fé ou crença. É necessário, sim, fazer ciência! É também necessário dar a conhecer as descobertas e conclusões científicas a todos! Aqui, a paleontologia tem dado grandes passos neste sentido e tem-se revelado uma área científica essencial na compreensão e conhecimento do passado, do presente e do futuro da vida.

Mas ocorre-me, ainda, uma análise mais pessoal e espontânea, e se quiserem até intuitiva, sobre a questão inicial que coloquei: reparem no nosso planeta, olhem à vossa volta! Tudo está em constante mudança e evolução! Nada é estático! Se admitimos que o próprio planeta é um planeta dinâmico, vivo, então tudo o que o constitui também sofre desse dinamismo. E os seres vivos, como sua parte integrante (Biosfera), também resultarão, sem dúvida, de um processo de evolução!

Por Leonardo de Oliveira Martins,

Faculdade de Biologia, Universidade de Vigo

A actividade científica é céptica por natureza, e é guiada pelo princípio da parcimónia de nunca incluir suposições desnecessárias, de forma a preferir sempre a explicação mais simples possível. Um corolário dessa lei é a chamada “navalha de Hanlon”, que nos exorta a nunca atribuir à malícia o que pode ser igualmente atribuído à ignorância. Assim, devemos reconhecer que parte da resistência em conhecer o pensamento evolutivo pode não ser apenas uma rejeição consciente das evidências. Por exemplo, quando somos crianças a nossa percepção faz-nos acreditar que não há nada que não tenha sido causado, e que todos os fenómenos têm um “porque”. Essa percepção persegue-nos até à vida adulta, quando tentamos ver relações de causa e consequência em todos os acontecimentos, mesmo quando não há uma relação causal ou a correlação é apenas aparente. Ou quando pensamos que as mudanças evolutivas têm um objectivo, como por exemplo um aumento em complexidade, e por conta disso acabamos a classificar os seres vivos como “mais” ou “menos” evoluídos. Essas explicações teleológicas são atraentes para nós, mas nem todas as mudanças evolutivas têm uma função, e elas não surgem para atingir objectivo algum, nem quando olhamos para a história evolutiva de alguma característica que parece ser vantajosa actualmente. A teoria da evolução é contra-intuitiva, e não é só por culpa das religiões. O facto da palavra “teoria” em ciência ter um significado diferente do que usamos no dia-a-dia também não ajuda: uma teoria científica é uma explicação unificadora de todo um conjunto de dados, que engloba várias hipóteses de algum aspecto da natureza. Em ciência, uma teoria nunca é “só uma teoria”. Esses equívocos acometem professores e alunos.

A evolução (e outras teorias científicas) pode ser rejeitada mais conscientemente devido à conformidade a um grupo e à subsequente racionalização dessa rejeição. Ou seja, o ambiente onde uma pessoa foi criada já possui uma narrativa à qual o indivíduo acaba se adaptando. Aqui, componentes religiosos e sociais têm um papel mais relevante, uma vez que o grupo pode imaginar que o estudo da teoria evolutiva leve à rejeição de Deus, ou à perda de um norte moral e portanto à deterioração da sociedade. Essa rejeição não pode ser atribuída simplesmente à ignorância pois é defendida por pessoas diplomadas, como filósofos pós-modernos e até mesmo criacionistas – apesar de nenhum deles ter formação ou experiência específicas em biologia.

Por outro lado podemos observar que no nível internacional países com uma taxa mais alta de rejeição à evolução tendem a ter dogmas religiosos mais intrincados nas suas culturas e políticas, bem como escolaridade, literacia científica e PIBs mais baixos. Os Estados Unidos da América são um caso à parte, dado que possuem um PIB alto, bem como uma boa literacia científica, mas ainda assim tem uma alta rejeição à evolução. Isso é explicado quando olhamos aos dados divididos por estado, em que observamos que onde há mais investimento em educação (uma medida melhor que o PIB) os indicadores de educação são melhores, assim como as taxas de aceitação da teoria evolutiva são mais altas. Cabe lembrar que todos esses indicadores estão correlacionados e não podemos isolar os seus efeitos, muito menos apontar quais as direcções de causa e efeito.

Há de facto uma tentativa concertada de desacreditar a teoria evolutiva, enraizada na religião, e que oferece uma explicação para a diversidade biológica chamada “criacionismo”. Mas explicações científicas são restritas a causas naturais (materiais), o que impede que usemos variáveis que não possamos controlar ou medir, tais como entidades sobrenaturais – se permitíssemos a sua inclusão então qualquer resultado seria possível. Essa restrição é vista por uns como uma limitação do processo científico e por outros como uma suposição provisória que os cientistas usam na prática, mas que de qualquer forma está de acordo com o princípio da parcimónia, e elimina o criacionismo como uma hipótese científica. Recentemente, os criacionistas têm tentado reduzir a conotação religiosa de sua teoria ao trocar o “criador” por um “designer” (ou “projectista”) genérico nas suas explicações, e ao criar falsos institutos de pesquisa.

O movimento criacionista não é um fenómeno exclusivamente cristão, posto que é bastante comum também entre muçulmanos e outros. O que não quer dizer que religião leve inevitavelmente à rejeição da evolução (veja por exemplo o “Projecto Carta dos Clérigos”, para não falar do posicionamento oficial dos papas), ou que o estudo da evolução leve à rejeição da religião; há vários cientistas religiosos famosos, como Francis Collins, Theodosius Dobzhansky, e Francisco Ayala. De facto, como o biólogo evolutivo Francisco Ayala bem lembrou, as explicações criacionistas são incompatíveis com a crença religiosa num Deus, porque assumir que todas as imperfeições e crueldade existentes no reino animal tenham sido projectadas é evidência de um criador sádico. Um exemplo são as gestações interrompidas naturalmente que afectam 20% de todas as gravidezes humanas conhecidas, e dizer que um sistema reprodutivo que falha assim tanto foi projectado, de propósito, é afirmar que o criador é incompetente ou um abortivo malvado.

Além de exemplos como o acima, de sub-optimalidade, que desafiam o criacionismo, as evidências da evolução como um facto são várias, das quais podemos citar:

1. A existência de um único material genético (ADN ou ARN) para todos os organismos, assim como de um único código genético (com pequenos variantes) que traduz o material genético em proteínas, além da existência de vias metabólicas comuns;
2. Uma hierarquia aninhada das espécies, com genes distintos gerando hierarquias similares (chamadas de filogenias), e a própria existência de genes equivalentes em espécies diferentes, com alta similaridade;
3. Achados arqueológicos que confirmam as formas intermediárias, e cujas datações geológicas estão de acordo com valores previstos geneticamente;
4. A existência de órgãos vestigiais e atavismos (estruturas anatómicas que aparecem ao acaso em indivíduos de espécies que já as haviam perdido, como a “cauda vestigial” em humanos);
5. O desenvolvimento embrionário dos animais, que nos ajuda a detectar casos onde as mesmas estruturas realizam funções distintas (por exemplo, a asa do morcego e o braço humano), e casos em que a mesma função é desempenhada por diferentes estruturas (por exemplo, produção de veneno);
6. A correlação entre a geografia e a filogenia das espécies, como o facto dos marsupiais serem encontrados apenas na Austrália e na América do Sul, indicando que o seu ancestral

comum é anterior à separação dos continentes. Por outro lado, não se encontram elefantes em nenhuma dessas regiões, sugerindo que seu ancestral é mais recente que essa separação continental.

7. A existência de “fósseis moleculares” em distintas espécies, como as sequências de ADN similares a genes mas que não são funcionais (chamadas de “pseudogenes”), ou parecidas com sequências virais que se sabe que se incorporam no genoma do hospedeiro (chamadas de “ERVs”). Quanto mais próximas são as espécies, mais elas partilham essas sequências vestigiais.

O que talvez ajude a reduzir o preconceito em relação ao pensamento evolutivo seja mostrar que a evolução não é algo distante, que pertence apenas a um passado com o qual não nos relacionamos, mas que é algo presente na nossa vida ordinária. A compreensão e aceitação da evolução fazem parte do desenvolvimento agro-pecuário (por exemplo, na selecção artificial, criação de híbridos e controlo de pestes), da prevenção de doenças (detectando os seus componentes genéticos, desenvolvendo antibióticos e estratégias epidemiológicas; até o cancro se desenvolve evolutivamente), e até mesmo da redução do sofrimento animal em experiências (quando seleccionamos e simulamos as formas mais simples que podem servir de modelo), e da arquitectura e engenharia (minimizando o impacto ecológico, por exemplo).

CAPÍTULO 4:

ORIGEM DA VARIABILIDADE GENÉTICA

Quais os principais factores que permitem a variabilidade genética?

Por Raquel Dias Andrade, 12º ano, Escola Secundária de Valongo

A reprodução sexuada permite obter indivíduos geneticamente diferentes entre si e dos progenitores, uma vez que se originam a partir de dois progenitores e resultam de dois fenómenos que estão intimamente relacionados entre si: a meiose e a fecundação.

A fecundação permite a combinação dos genes dos cromossomas maternos e paternos, originando descendentes com combinações únicas de genes. Assim, ao contrário da

reprodução assexuada, em que os descendentes são clones dos progenitores, estes são geneticamente diferentes entre si e dos progenitores, apresentando características diferentes uns dos outros. O ovo resultante da fecundação, célula diplóide (com o número característico da espécie), divide-se por mitoses sucessivas, sofre crescimento e diferenciação celular e dá origem a um indivíduo adulto. Para que possa ocorrer a fecundação, ou seja, duplicação do número de cromossomas, terá que ocorrer um processo anterior que permita a redução para metade dos cromossomas dos gâmetas, mantendo assim o número cromossómico característico de cada espécie ao longo das gerações. Esse processo é a meiose. A meiose é o processo que permite a formação dos gâmetas, células haplóides, ou seja, com metade dos cromossomas da espécie. Durante a meiose ocorrem vários fenómenos que permitem obter gâmetas com combinações genéticas sempre diferentes, o que permitirá, para além da fecundação, a variabilidade genética entre os descendentes de uma mesma população. E quais são eles?

Antes de mais, é importante deixar claro as fases constituintes deste processo: a meiose é constituída por duas divisões – a divisão I, reducional, e a divisão II, equacional. Cada divisão contém cinco fases ou etapas – profase I e II, metáfase I e II, anáfase I e II, telófase I e II e citocinese I e II. Assim, através deste processo uma célula diplóide dará origem a quatro células haplóides geneticamente diferentes entre si. Vamos, então, passar aos factores que introduzem a variabilidade genética na reprodução sexuada, fundamentais para a sobrevivência e evolução das espécies. Na profase I ocorre emparelhamento dos cromossomas homólogos pelos pontos de quiasma, constituindo tétradas cromatídicas, pois cada cromossoma é agora constituído por dois cromatídeos, resultado da replicação do ADN na fase S da interfase (ciclo celular). Nos pontos de quiasma ocorre *crossing-over*, um fenómeno que permite a recombinação intra-cromossómica dos genes maternos com os paternos, aumentando assim as possibilidades de combinações genéticas diferentes nos gâmetas. Na anáfase I ocorre o alinhamento dos cromossomas homólogos na placa equatorial e a segregação aleatória e independente para os polos da célula, originando dois conjuntos de cromossomas geneticamente diferentes, de entre as múltiplas combinações possíveis. Também na anáfase II

ocorre a separação aleatória dos cromatídeos-irmãos para os pólos da célula, que são geneticamente diferentes devido à ocorrência do *crossing-over*. Na fecundação ocorre a união aleatória dos gametas, o que permite combinações únicas de genes nos descendentes, garantindo a diversidade de características entre os indivíduos de uma população.

Para além destes factores, outros também contribuem para o aumento da diversidade genética como as mutações genéticas que podem ser génicas e cromossómicas. Nas mutações genéticas pode haver, principalmente na replicação do ADN, trocas, adição ou subtracção de nucleótidos de um gene, provocando alterações na informação que codifica para a síntese de uma dada proteína. Estas alterações podem-se expressar em novas características nos indivíduos, que podem ser favoráveis à sua sobrevivência no ambiente em que vive. As mutações cromossómicas encontram-se bastante relacionadas com a meiose, e constituem anomalias na estrutura dos cromossomas ou no seu número nos gametas. Na profase I, durante o *crossing-over* pode ocorrer perda, troca ou repetição de segmentos entre cromossomas de pares diferentes modificando assim a estrutura dos cromossomas nas células resultantes – mutações cromossómicas estruturais. Na anafase I e II, podem ocorrer mutações cromossómicas numéricas em que os cromossomas não são distribuídos equitativamente pelos dois pólos, resultando em gametas com um número anormal de cromossomas.

É na diversidade de características numa população que actua a selecção natural. Ao introduzir a variabilidade genética, a reprodução sexuada permite obter indivíduos com características diferentes que podem ser favoráveis a novas condições do meio, aumentando a probabilidade de adaptação a alterações ambientais. Assim, por selecção natural, são seleccionados os génotipos mais favoráveis, que se acumulam ao longo dos tempos, alterando o fundo genético das populações e permitindo a evolução das espécies.

Qual é a relação existente entre a mutação genética e a selecção natural na evolução dos organismos?

Por Andreia Pinto Machado, 11º ano, Agrupamento de Escolas de Padre Benjamim Salgado

A relação entre estes dois conceitos é grande, pois um conceito implica a existência do outro, isto é, a mutação genética cria variação de genes, que é submetida ao processo de selecção natural.

As mutações genéticas consistem em alterações nas sequências de nucleótidos do material genético, ou seja, variações no conjunto de genes da população. Estas podem ser favoráveis ao organismo a que pertencem ou podem ser prejudiciais. De uma forma geral, as mutações prejudiciais são raramente observadas numa população pois, por meio da selecção natural, apenas os mais aptos sobrevivem e ocorre a reprodução diferencial. Esta consiste num maior número de descendentes criados a partir de uma certa espécie que vivencia a selecção natural, acumulando desta forma as mutações favoráveis, resultando em mudanças evolutivas nas populações.

O conceito de selecção natural explica-se devido ao facto de características favoráveis que são hereditárias (origem em mutações génicas de linhagem germinativa) se tornarem mais vulgares em gerações sucessivas de uma população de organismos que se reproduzem, e de características desfavoráveis que são hereditárias se tornarem menos comuns. Este conceito foi proposto por Darwin para explicar a evolução das espécies e a adaptação dos seres vivos. Por exemplo, um rato pode produzir uma série de novas mudanças a nível genético, algumas delas até podem ser neutras (sem causar qualquer modificação no organismo), mas outras podem aumentar a sua melhor adaptação ao meio ambiente como, por exemplo, uma mutação que permite a sua mudança de cor ou a mudança de cor dos seus descendentes, tornando-se mais escuro e sendo portanto mais difíceis de serem vistos pelos predadores. Nesta situação a mutação será bastante favorável e como este rato tem maior probabilidade de sobrevivência, as suas características serão passadas para os

seus descendentes e, com o tempo, o número de ratos com essa característica (cor do pêlo) será maior, ou seja, a espécie evoluiu, sendo constante este tipo de evoluções.

Podemos então concluir que as mutações génicas transmitidas às espécies vindouras por meio da selecção natural permitem a evolução das espécies tornando-se estas mais aptas no meio onde vivem. No entanto não existem provas que as mutações genéticas sejam benéficas aos seres humanos na sua constituição actual, pois ainda não foi encontrada qualquer mutação génica que aumentasse a eficiência de uma proteína humana codificada geneticamente, e especialistas concordam que cada nova geração humana tem uma constituição genética levemente mais desordenada que a precedente, sendo esse processo de deterioração irreversível. Todas as terapias genéticas existentes apenas podem minimizar as transformações ocorridas devido à mutação, no entanto não irá reverter o processo degenerativo, apenas desvendar os seus efeitos.

Qual a relação que existe entre mutações e selecção natural na evolução dos seres vivos?

*Por Mara Filipa Oliveira Gorito, 11º ano, Escola EB 2,3/S
Miguel Torga*

O genoma de um indivíduo pode sofrer alterações, designadas mutações. Segundo o Neodarwinismo as mutações são um factor de evolução, podendo ser génicas ou cromossómicas.

As mutações génicas correspondem a mutações que afectam um único gene, em que um dos alelos sofre modificação devido a pequenas alterações no número ou na sequência de nucleótidos. Devido à redundância do código genético, algumas mutações pontuais não provocam alteração nos aminoácidos sintetizados aquando da tradução do mARN (ARN mensageiro), denominando-se mutações silenciosas. São muito comuns e responsáveis pela diversidade genética que não é expressa fenotipicamente. A mutação com perda de sentido é outro tipo de mutação génica, na qual há substituição de bases nucleotídicas que podem alterar a mensagem genética, de tal forma que um

aminoácido é substituído por outro na proteína. Este tipo de mutação, embora possa anular a actividade da proteína, na maioria das situações apenas diminui a sua eficiência catalítica, pelo que os indivíduos com estas mutações podem sobreviver mesmo que a proteína seja essencial à vida. Excepcionalmente, e ao longo da evolução, este tipo de mutação pode aumentar a actividade de algumas proteínas. Outro tipo de mutação génica é a mutação sem sentido, na qual há substituição de bases mas, neste caso, ocorre o aparecimento precoce do codão de finalização. Nem todas as mutações génicas assentam na troca de bases, podendo ocorrer a adição ou deleção de pares de bases únicas. Estas designam-se mutações por alteração do modo de leitura, uma vez que interferem na leitura da mensagem genética, levando geralmente à síntese de proteínas não funcionais.

As mutações cromossómicas correspondem a alterações de porções de cromossomas, ou de cromossomas completos, ou mesmo de conjuntos de cromossomas. As mutações cromossómicas mais comuns são as estruturais. Numa mutação cromossómica estrutural verifica-se a manutenção do número de cromossomas alterando-se apenas o arranjo e/ou o número de genes, podendo ser de quatro tipos: deleção; duplicação; inversão e translocação. As alterações cromossómicas por deleção representam uma perda no material cromossómico. As deleções visíveis de cromossomas humanos estão sempre associadas a grandes incapacidades. A duplicação caracteriza-se pela repetição de uma porção de cromossoma. As duplicações são alterações cromossómicas muito importantes sob o ponto de vista da evolução porque fornecem informação genética complementar, potencialmente capaz de assumir novas funções. Relativamente à inversão, esta ocorre quando um segmento cromossómico experimenta uma rotação de 180° em relação à posição normal, sem alterar a sua localização no cromossoma. A transferência de uma porção do cromossoma, ou mesmo de um cromossoma inteiro, para outro não homólogo designa-se por translocação simples. As translocações mais comuns são as translocações recíprocas, havendo troca de segmentos entre cromossomas não homólogos. Estas podem alterar drasticamente o tamanho dos cromossomas, assim como a posição do centrómero.

As mutações cromossômicas numéricas são anomalias em que há alteração do número de cromossomas. Podem ser poliploidias (multiplicação do conjunto de todos os cromossomas) ou aneuploidias (envolvem apenas um determinado par de homólogos). A não disjunção dos cromossomas homólogos durante a meiose é o principal responsável pela maioria das aneuploidias, pois erros no processo de separação dos cromossomas homólogos (ou cromátídeos) que se deslocam de diferente modo para os dois pólos da célula formam células com diferente património genético.

Assim, quando surge uma mutação hereditária num indivíduo de uma população, conferindo-lhe um fenótipo mais apto ao ambiente, a selecção natural beneficia-o na luta pela sobrevivência. Se esse mutante tiver êxito reprodutivo transmite esses genes aos descendentes, que apresentarão melhores capacidades de sobrevivência e consequentemente a população será gradualmente alterada. Se a mutação for letal ou originar indivíduos estéreis não interfere no processo evolutivo porque a selecção natural acaba por eliminar essas mutações da população, não sendo deste modo transmitidas à descendência e não havendo a sua perpetuação ao longo das gerações.

Se a mutação for somática pode originar um clone de células mutantes idênticas entre si, que se distinguem facilmente das restantes células do indivíduo. Em termos hereditários, uma mutação somática não é obviamente transmitida à descendência, exceptuando casos de reprodução assexuada. Pelo contrário, uma alteração a nível das células da linha germinativa é susceptível de ser transmitida aos descendentes. Assim, as mutações podem alterar a capacidade de sobrevivência dos mutantes e a selecção natural decide a sua preservação ou eliminação, ocorrendo assim a evolução.

Por José Melo-Ferreira,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

A mutação é responsável pela geração de nova diversidade genética pois redundna na criação de novos variantes. Resulta de um erro na cópia das cadeias de ADN durante a divisão celular (pode ocorrer também por influência ambiental, como a exposição à radiação) e, quando ocorre nas células reprodutivas dos seres vivos, pode ser transmitida à geração seguinte e assim ser introduzida na população. As mutações podem variar na magnitude e no tipo. Podem afectar uma única posição na sequência de ADN, grandes pedaços de cromossomas, ou mesmo cromossomas inteiros. Podem também resultar da substituição de um nucleótido (a unidade básica do ADN) por outro, mas também da duplicação, inserção, perda, inversão ou translocação de porções da cadeia de ADN. Se considerarmos o ADN como o livro que contém todas as instruções para construir e regular um ser vivo, a mutação é um erro ocorrido na cópia desse livro. A consequência desse erro pode ser nula, se as instruções se mantêm as mesmas, ou pode provocar a alteração das instruções. Neste último caso, o desfecho será também variado, dependendo do tipo de alteração e do meio onde o organismo vive – mas este assunto será abordado mais abaixo.

Nos organismos com reprodução sexuada (ou seja, em que a criação de um novo organismo resulta da combinação de material genético de dois organismos, os “pais”), ainda que a mutação seja a principal fonte de variação, há outros processos que permitem baralhar essa informação ao longo das gerações e assim criar combinações genéticas novas nos organismos descendentes (os “filhos”). Um é a separação aleatória dos cromossomas na formação dos gametas (as células sexuais que se fundem na fecundação). Se recebemos duas versões de um cromossoma dos nossos pais (chamados cromossomas homólogos), a versão que transmitimos aos nossos filhos é escolhida aleatoriamente. Por exemplo, considerando que os humanos têm 23 pares de cromossomas, há 2^{23} , ou seja 8 388 608, gametas diferentes que uma pessoa pode gerar, considerando apenas este aspecto (mas é preciso ter em atenção também a recombinação, de que se falará daqui a muito pouco). Na fecundação, a união dos gametas (no exemplo dos humanos, o óvulo e o espermatozóide) para conceber o ovo é também aleatória. Há por isso $8\,388\,608^2$, ou seja 70 368 744 177 664 combinações possíveis de cromossomas na formação de um ovo.

Há ainda outra fonte de novas combinações genéticas que resulta do facto de, durante a formação dos gametas, haver troca de material genético entre cromossomas homólogos antes da separação aleatória de que se fala em cima, num processo designado de recombinação. Neste caso, o mecanismo que permite a recombinação é designado de *crossing-over* cromossómico. Isto multiplica ainda o número de combinações genéticas possíveis na formação de um único indivíduo por um número indeterminado, resultando num valor virtualmente infinito!

Caro que partilhamos muita da nossa variação genética com os nossos pais e com os nossos irmãos e alguma com familiares afastados, ou mesmo com pessoas que desconhecemos e nem consideramos parentes, mas cada indivíduo que resulte de reprodução sexuada é portador de

uma combinação genética única (sendo os gêmeos “verdadeiros”, simplificando a questão, a exceção, já que resultam do mesmo ovo e por isso partilham o mesmo material genético). Se considerarmos agora todos os variantes genéticos de todos os genes de todos os indivíduos de uma população natural, temos o seu fundo genético. Este pode ser caracterizado pelas frequências em que cada variante ocorre na população. Esses variantes chamam-se alelos – os tipos de informação que podem ocorrer num determinado sítio do ADN ou gene, por exemplo. Em organismos diplóides como nós, para cada sítio do ADN há duas informações homólogas alternativas, uma que recebemos do nosso pai e outra que recebemos da nossa mãe: se essa informação for igual conta para a frequência populacional de um mesmo alelo; se forem informações diferentes contam para a frequência populacional de dois alelos distintos.

As frequências alélicas numa população podem alterar-se de geração em geração (é isso que é a evolução). A mutação, por exemplo, é um dos responsáveis por essa alteração (e a recombinação também) pois introduz variação nova na população. O destino de um variante genético depende essencialmente de duas forças evolutivas: a deriva genética e a selecção natural. Sendo o fundo genético de uma geração resultado de uma amostragem dos variantes genéticos da geração anterior, as alterações nas frequências alélicas podem ocorrer simplesmente devido ao acaso – é isso a deriva genética. Em populações pequenas a importância da deriva genética é grande (todos sabemos que amostras pequenas geralmente não são muito fiéis às proporções reais) e em populações grandes é menor, ainda que seja também importante. A deriva genética pode levar à fixação (tornar um alelo o único tipo de informação na população para aquele gene, ou seja, ter uma frequência de 100%) ou perda de alelos na população. Se um alelo, que pode ter surgido de novo por mutação, não tem influência na aptidão dos organismos no meio onde vivem, as mudanças na sua frequência na população depende geralmente da deriva genética. Mas a informação genética pode ser responsável por uma característica vantajosa. Nesse caso, os indivíduos que a possuem irão sobreviver e reproduzir-se mais e, assim, esse alelo tem tendência a aumentar de frequência na população através das gerações, podendo mesmo fixar-se e contribuir para a adaptação da população ao meio ambiente. Se, pelo contrário, a informação de um alelo é prejudicial, os indivíduos que a têm deixarão menos descendentes, ou mesmo nenhum, e por isso a tendência é que esse alelo acabe por desaparecer da população. A selecção natural ocorre, então, como consequência da variação existente numa população num determinado meio ambiente, e é uma das forças que determina o destino de uma mutação nas gerações seguintes.

CAPÍTULO 5: UMA HIPOTÉTICA CARTA DE MENDEL PARA DARWIN

.....

Mito ou realidade? A carta...

*Por Marlene Veiga, 11º ano, Agrupamento de Escolas
de Mogadouro*

Gregor Mendel
Heinzendorf, nº 16
6500-566 República Checa

Charles Darwin
Shrewsbury , nº 8
700-333 Inglaterra

Caríssimo Darwin, como vão as coisas por aí?

Antes de mais queria congratular-vos pelas fantásticas pesquisas e descobertas que tendes realizado, bem como pela publicação da obra "*The origin of species by means of natural selection*" ["A origem das espécies por meio da selecção natural"]. A árvore que representa a relação entre os animais e plantas da actualidade com outros já extintos, seus ancestrais, foi um golpe de mestre. Não sei se entendida verdadeiramente por todos ou até pelo próprio autor, meu caro Darwin. Tranquelize-se meu tão estimado Darwin, não pretendo nem venho com estas letras ridicularizar os vossos trabalhos e muito menos fazer aquilo que muitos do vosso círculo pensante já fizeram. As acusações que vos fazem são mera especulação de quem nunca observou atentamente o mundo que o rodeia. As provas que tanto vos pedem existem. Permanecem no meu jardim contempladas por quem aprecia a sua cor e forma e, no entanto, invisíveis aos olhos de todos aqueles que apenas as vêem e não as observam.

A vossa teoria acerca da evolução dos seres vivos é fabulosa; na minha opinião é perfeita ou, melhor, quase perfeita. As explicações que relatais da forma como evoluíram os seres vivos até apresentarem as características que observamos actualmente pareceram-me muito bem

fundamentadas, excepto duas pequenas, grandes, questões que ficaram no ar... Como já reparastes, em organismos semelhantes é possível distinguir características distintas. Que explicação vos suscitou tal constatação? Como é que essas características passam à descendência?

Não sei se estarei certo no que vos vou revelar.

Aparentemente os raciocínios parecem-me lógicos e, se o forem, meu caro amigo, nunca mais ninguém porá em causa aquilo que dizeis pois a resposta aos vossos problemas tem uma solução racional, experimental e confirmável. As minhas pesquisas e experiências em plantas permitiram-me concluir que as características são transmitidas, entre indivíduos da mesma espécie, durante a reprodução. Curioso? Passo a explicar... As minhas descobertas, contrariamente às vossas, cingiram-se a um pequeno espaço de jardim e à manipulação de ervilheiras da espécie *Pisum sativum*. Utilizei ervilheiras nas minhas experiências por serem plantas de fácil cultivo e de características facilmente observáveis. Apresentavam um intervalo curto entre as gerações e um grande número de descendentes, as suas flores são hermafroditas, nas quais o androceu e o gineceu ficam encerrados sob as pétalas, levando-as naturalmente à autofecundação. Todas estas características facilitaram a manipulação dos cruzamentos e a obtenção de linhagens puras, as que produzem descendência idêntica na autofecundação em todas as gerações. Quando desejo fazer cruzamentos selectivos retiro os estames (ainda imaturos) para evitar a autofecundação e, quando o gineceu está maduro, coloco no seu estigma os grãos de pólen de outra planta.

Os meus trabalhos não foram desenvolvidos, inicialmente, com um carácter científico, antes pretendiam dar resposta ao contexto social e histórico em que vivo. Como é do vosso conhecimento a região da Morávia encontra-se repleta de proprietários de terras que desejam uma “revolução agrícola” que aumente a produção. Para satisfazer este desejo, foram criadas nesta região muitas sociedades académicas e entre elas encontra-se a Sociedade de Ciências Naturais de Brno, da qual faço parte. Acresce a tais acontecimentos o facto de ter nascido no seio de uma família de agricultores que me agilizaram na habilidade da execução da técnica de polinização artificial, essencial para os cruzamentos entre ervilhas que efectuei. Mas alheemo-

-nos das explicações metodológicas e centremo-nos nos resultados, esses sim verdadeiramente importantes. Os trabalhos que desenvolvi conduziram-me à formulação de três leis que aqui vos deixo resumidamente. A primeira, à qual chamei lei da segregação, diz que na fase de formação dos gâmetas existem pares de factores que se segregam. A segunda lei, também conhecida como lei da uniformidade, declara que as características de um indivíduo não são determinadas pela combinação dos factores dos pais, mas sim pela característica dominante de um dos progenitores. Quanto à terceira lei, também denominada por lei da recombinação dos factores, diz que cada uma das características puras de cada variedade se transmitem para uma segunda geração de maneira independente entre si.

Espero que tenhais ficado tão esclarecido com as minhas descobertas como eu fiquei ao ler as vossas. A união dos dois saberes constituirá a revolução do pensamento científico... Não faleis disto a ninguém, queimai a carta se achardes prudente e vinde, o mais rápido que puderdes, visitar-me para podermos falar melhor deste assunto. Dai resposta a estas letras e acalmai esta mente fervilhante...

Gregor Mendel

Por Rodolfo Salas Lizana,

Faculdade de Ciências, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)

Depois da publicação da “A origem das espécies por meio da selecção natural”, as teorias de Darwin sobre a existência de um ancestral comum e a descendência com modificação foram aceites com relativa facilidade no mundo científico e entraram rapidamente no mundo social. No entanto, a ideia de que o principal mecanismo da evolução é a selecção natural não foi aceite tão rapidamente. O motivo para tal está relacionado com os trabalhos de Mendel, envolvendo os mecanismos da hereditariedade. Para Darwin, como para muitos dos seus conterrâneos, a hereditariedade dos caracteres devia-se a uma mistura, por partes iguais, das características dos pais. Por exemplo, se um dos pais é preto e o outro branco, a descendência deveria ser cinzenta. A herança de caracteres misturados é incompatível com a evolução por selecção natural, pois uma característica vantajosa nalgum dos progenitores perder-se-ia parcialmente ao misturar-se com as do outro progenitor, que não seriam necessariamente vantajosas. Para que a selecção natural possa ocorrer, a característica deve aumentar em frequência nas populações onde existe, ao aumentar o número de descendentes com essa

característica; mas na herança misturada não há forma disto acontecer.

Os trabalhos de Mendel, por outro lado, exigem regras pelas quais se herdam “factores” (que actualmente chamamos de genes) que conferem a quem os possui diferentes características, como a cor amarela ou a superfície rugosa das sementes das ervilheiras. Esta teoria da hereditariedade é compatível com a evolução por selecção natural unicamente quando se considera que uma característica morfológica é o resultado da acção de muitos genes que contribuem, um pouco cada um, para essa característica; por exemplo, a altura, o peso ou a cor do cabelo. Foi no princípio do século XX que o geneticista e matemático inglês Ronald A. Fisher percebeu que os trabalhos de Mendel (e muitos dos que continuaram o seu trabalho) e a selecção natural de Darwin eram perfeitamente compatíveis. Esta descoberta provocou uma revolução científica na biologia, que se prolongaria por décadas e que agora conhecemos com a Síntese Moderna. Nela, e com base nas ideias de Darwin, reuniu-se todo o tipo de informação (paleontológica, anatômica e genética, entre outras), unificando pela primeira vez todo o conhecimento científico sobre a evolução biológica.

Tem-se especulado muito sobre se Darwin leu os trabalhos de Mendel e não há uma resposta definitiva para tal debate. Sabe-se que Mendel leu muitos trabalhos de Darwin, incluindo a segunda edição em alemão de “A Origem”, em 1863. Fez muitas anotações muito meticulosas no seu exemplar, incluindo sinais de admiração ocasionais. Em 1865, Mendel apresentou à Sociedade para o Estudo das Ciências Naturais de Brno o seu trabalho intitulado “Experiências em hibridação de plantas”, onde descreve as principais conclusões que culminariam nas leis que a Marlene descreve no seu texto. Mendel pediu 40 cópias da sua publicação e enviou-as aos mais destacados cientistas da época. Diz-se que uma dessas cópias foi enviada a Darwin, mas uma coisa é ter sido enviada, outra é que tenha sido recebida e outra ainda que Darwin a tenha lido. O que se sabe é que Darwin escrevia e recebia diariamente muitas cartas, muitas das quais estão actualmente preservadas em museus de diferentes países, e nenhuma destas foi escrita ou vem de Mendel.

Apesar de Darwin não ter recebido o manuscrito de Mendel, teve muitas oportunidades para ler sobre ele. Num livro sobre híbridos de plantas, cujo autor é Hermann Hoffman, havia uma página completa dedicada aos trabalhos de Mendel. A cópia do livro de Hoffman que pertenceu a Darwin tem anotações nas margens próximas desta página mas não na página em questão. De igual modo, uma vez foi pedido a Darwin que sugerisse um livro sobre hibridação em plantas e ele enviou uma cópia de um livro de Wilhelm Focke que tratava sobre esse tema, publicado em 1881. O trabalho de Mendel estava incluído nesse livro, entre as páginas 108 e 111, as mesmas que, na cópia enviada por Darwin, estavam juntas, sem sinais de terem sido separadas.

É muito curioso que uma personagem tão metódica como Darwin não se tenha apercebido da relevância dos trabalhos de Mendel, se é que leu algo sobre eles. O próprio Darwin fez experiências de hibridação com ervilheiras, não procurando as proporções dos caracteres na descendência, como Mendel, mas apenas as características dos híbridos. Em particular, a Darwin interessava algo a que os agricultores chamam “o vigor híbrido” e que faz com que a descendência híbrida tenha características diferentes das dos seus progenitores; por exemplo, que sejam mais resistentes a condições desfavoráveis do meio ambiente ou que sejam mais altos

ou dêem mais frutos. É igualmente curioso que nos resultados de uma dessas experiências, realizada com uma planta chamada comumente de “dente de leão” (*Antirrhinum majus*), Darwin tenha observado que um variante assimétrico muito raro (chamado pelórica) se encontrava, na segunda geração, numa proporção de quase 3:1 (90 formas normais e 37 assimétricas ou pelóricas), justamente como previa a segunda lei de Mendel. Há ainda outra especulação sobre Mendel e Darwin: que o trabalho de Mendel apresentava os seus resultados de uma forma completamente matemática, explicando proporções e cruzamentos. Diz-se que Darwin não gostava da matemática e é possível que a forma como Mendel expressou os seus resultados tivesse afastado a atenção de Darwin para outros horizontes.

Seja como for, os trabalhos de Mendel não se aplicam de uma maneira óbvia à proposta de selecção natural de Darwin. Os caracteres que Mendel observou são discretos (rugoso ou liso, amarelo ou verde), enquanto que a ideia de Darwin sobre a evolução e a hereditariedade era gradual (por exemplo, deveriam observar-se todos os estádios intermédios entre rugoso e liso). É por isso que as descobertas de Mendel, no início do século XX, marcou o ponto mais baixo de credibilidade da teoria da evolução por selecção natural. Foram precisos muitos anos até que o talento de Fisher ligasse uma coisa à outra. Por isso, provavelmente não foi assim tão mau que os trabalhos de Mendel tenham estado “escondidos” por muito tempo e que Darwin não os tenha lido (ou não lhes tenha prestado a devida atenção).

CAPÍTULO 6:

EVOLUÇÃO POR SELECÇÃO NATURAL

Como surgiu toda a diversidade presente na Natureza?

Por Joana Dias, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

Quando se faz uma análise do que nos rodeia, de toda a diversidade que contemplamos e de todas as espécies existentes, facilmente nos deparamos com uma beleza inata a qual denominamos de Natureza. Mas... como terá surgido toda esta biodiversidade?

Até ao século XVIII era defendida a teoria fixista, que explicava a origem da vida de acordo com o criacionismo, ou com o catastrofismo ou, até mesmo, através da

geração espontânea. Estas defendiam que as espécies são imutáveis, isto é, não originam outras. À medida que os conhecimentos científicos se ampliavam, estas teorias foram deixadas para trás. O evolucionismo impôs-se e, de entre muitos cientistas que o defenderam, dois grandes nomes ficaram na história da ciência: Lamarck e Darwin. Os evolucionistas defendem que as espécies vão evoluindo de acordo com as pressões selectivas que os ambientes vão exercendo. O ambiente, do ponto de vista do Lamarckismo, cria uma necessidade de adaptação, isto é, através de um esforço individual cada indivíduo vai utilizando ou não uma determinada função do seu corpo (lei do uso e desuso) e, ao adquirir uma determinada característica, passá-la-á à descendência (lei da transmissão de caracteres adquiridos). Do ponto de vista do Darwinismo, o ambiente tem um papel seleccionador – teoria da selecção natural – pois numa população onde haja variabilidade intra-específica os indivíduos mais aptos a uma mudança ambiental irão sobreviver, ao contrário dos menos aptos (sobrevivência diferencial) e, consequentemente, irão reproduzir-se com uma maior frequência (reprodução diferencial) originando indivíduos com diferentes características, mais bem adaptados, podendo originar uma nova espécie.

Após estas teorias surgiu o Neodarwinismo – teoria sintética da evolução – que se assemelha bastante à de Darwin mas, devido ao conhecimento científico então acumulado, consegue explicar como surge a variabilidade dentro de uma mesma população. Defende que esta variabilidade existe devido à meiose, fecundação e mutações (são raras, mas quando ocorrem podem fazer surgir determinadas características que aumentam o poder adaptativo da população, fazendo evoluir a espécie). Desta forma, com o passar do tempo, o fundo genético de uma população vai-se alterando e irão assim surgir novas espécies como também irá ocorrer a extinção de outras. Estas diferenças entre indivíduos de diferentes espécies mas, no entanto, bastante semelhantes, são visíveis após uma breve análise das interações que estabelecem com o meio em que estão inseridas. Como exemplo temos as diferentes espécies de raposas que, por terem sofrido pressões selectivas diferentes, sofreram um processo de evolução divergente.

Vulpes zerda, mais conhecida por raposa-do-deserto, tal

como o nome indica habita zonas desérticas e, como tal, possui orelhas e cauda com cerca de 15cm, o que lhe facilita a perda de calor, e possui o pêlo de cor de areia para a ajudar a camuflar. Por outro lado, se observarmos *Alopex lagopus*, raposa-do-ártico, já são observáveis orelhas de pequenas dimensões e uma grande camada de pêlos para que não tenha perdas de calor que façam baixar a sua temperatura corporal. Esta, no inverno possui uma pelagem branca enquanto no verão o seu pêlo já muda de cor para castanho, para que se possa camuflar. *Alopex lagopus* também possui umas patas compridas para que não se afunde no gelo. Estas duas espécies de raposas, *Vulpes zerda* e *Alopex lagopus*, são a prova de que os seres vivos, por sofrerem diferentes tipos de pressões selectivas, vão evoluir de forma diferente, de acordo com o habitat em que se inserem. São os diferentes tipos de ambiente e habitats presentes na Terra que vão levar a que por processos evolutivos diferentes haja um grande leque de espécies na Terra. São os diferentes processos evolutivos, presentes em cada reino, Monera, Protista, Fungi, Plantae ou Animalia, que têm vindo a criar uma enorme biodiversidade na Natureza que pode ser contemplada através de um atento olhar sobre as diferentes formas de vida que nos rodeiam.

O que é a selecção natural?

Por Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez, 7º ano,
Colégio Marymount

Charles Darwin propôs que apenas os indivíduos mais fortes sobrevivem. Sobrevivem os que estão melhor adaptados ao seu ecossistema e às condições de vida. Nem todos os indivíduos que nascem chegam à idade adulta. Apenas uma pequena percentagem sobrevive, porque nem todos se adaptam. Os filhos de cada indivíduo herdaram as adaptações do seu pai e/ou mãe. Isto não é garantia de que irão sobreviver, já que também há outros indivíduos que podem estar mais adaptados. Estas adaptações que os filhos herdaram serão também herdadas pelos seus filhos e netos (se os houver). Estas adaptações ajudam estes indivíduos a continuar a sobreviver por muito tempo mas também

depende da forma como o indivíduo a usa (a adaptação). Pode ser que haja um indivíduo muito adaptado fisicamente mas que seja muito tonto. Isto significa que não estão suficientemente adaptados comportamentalmente. Isto significa que não é o melhor adaptado. Também pode acontecer que seja muito adaptado comportamentalmente mas não fisicamente. Estes também vão morrer. O indivíduo tem que estar adaptados das duas formas para poder sobreviver e fazer a diferença dentro da sua espécie.

**Se só dois espécimes de uma espécie
tiverem certa adaptação que lhes permite
sobreviver, toda a espécie poderia sobreviver?**

Por Manuel Ramirez Garcia, 7º ano, Colégio Marymount

Também depende muito da fertilidade. Se um é macho e a outra fêmea seria muito mais fácil. Se os dois são machos penso que ainda poderia ser (já que também há outras fêmeas) mas com certas complicações porque talvez alguns dos filhos não herdem certa adaptação. Mesmo assim penso que seria muito complicado fazer uma espécie inteira com apenas dois, mas não impossível. Também depende se a adaptação é favorável para caçar ou para sobreviver noutro aspecto. Porque se é para conseguir sobreviver a algum desastre natural a adaptação seria muito favorável mas se é para conseguir alimentar-se mais facilmente penso que não tenha muita importância.

Por Alicia Mastretta Yanes,

Centro de Ecologia, Evolução e Conservação, Universidade de East Anglia

A evolução ocorre principalmente através de dois processos: a deriva genética e a selecção natural. Aqui vou explicar apenas como ocorre a evolução por selecção natural. Para fazê-lo, vou usar um exemplo conhecido: os ratos imunes à varfarina.

Falar de evolução é falar do processo através do qual surgiu a variedade da vida na Terra. Por isso, antes de falar dos ratos vamos pensar no que é a biodiversidade. A biodiversidade começa no nível dos ecossistemas: as florestas, desertos e selvas que vemos ao percorrer as estradas mexicanas são muito diferentes uns dos outros. As florestas são formadas por pinhei-

ros e carvalhos, os desertos por cactos e arbustos espinhosos e as selvas por ceibas, *Bursera simaruba* e outras árvores tropicais. Depois há a diversidade de espécies: embora as florestas do México e de Portugal sejam semelhantes na sua aparência, na realidade são formadas por espécies diferentes de pinheiros e carvalhos, assim como são diferentes todos os animais que as habitam. Mas a biodiversidade não acaba aí: também há variação entre os indivíduos de uma mesma espécie, que se deve a características genéticas que se transmitem de pais para filhos. Por exemplo, entre os humanos há pessoas com estatura diversa. A diferença deve-se em parte ao ambiente (ter tido uma boa alimentação na infância) e em parte aos genes que herdaram dos seus pais (pais altos transmitem aos seus filhos genes que os fazem crescer mais). Esta diferença entre os indivíduos de uma espécie é conhecida como diversidade genética. É graças à diversidade genética que há diferenças na aparência e (em parte) na forma como agem os indivíduos de uma espécie mesmo que vivam sob as mesmas condições ambientais.

Mencionar que existe variação entre indivíduos é relevante porque as espécies são, ao fim e ao cabo, formadas por indivíduos: a espécie humana são as mulheres, homens, meninas e meninos do mundo. O que leva a pensar noutra observação: os indivíduos que formam uma espécie geralmente agrupam-se numa ou mais populações, que podem estar mais ou menos isoladas. Por exemplo, no México há uma espécie de pinheiro que apenas cresce no cimo de montanhas muito altas. Assim, as árvores que crescem no topo do Popocatepetl (uma montanha perto da Cidade do México) formam uma população e as que crescem no topo do Cofre de Perote (outra montanha, perto do Golfo do México), outra. É muito importante perceber que as espécies são populações de indivíduos porque a evolução ocorre ao nível das populações. Os indivíduos e seus descendentes (filhos) não evoluem; o que acontece é que a percentagem de indivíduos com certos genes numa população se altera ao longo das gerações.

Aqui é quando por fim entra na história o exemplo da varfarina. A varfarina é um anti-coagulante. O que significa que evita a cicatrização: quem a consoma em grande quantidade pode sangrar até à morte após sofrer um corte, mesmo que pequeno. A varfarina começou a ser utilizada como veneno para ratos por volta de 1950. Depois de cerca de 5 anos, durante os quais a varfarina foi muito bem sucedida a eliminar ratos, começaram a conhecer-se populações de roedores imunes (ou seja, capazes de sobreviver) à varfarina. Como é isso possível? A resposta é que evoluíram por selecção natural. Mas como? Começemos por recordar o que se disse atrás: existe diversidade genética. Ou, por outras palavras, nem todos os ratos são iguais. Na população, de forma independente e anterior a serem envenenados com varfarina, poderia haver alguns ratos com um alelo, ou seja, uma mutação num gene que faz com que a forma como a vitamina K se regenera se altere ligeiramente. A vitamina K é um nutriente que os mamíferos necessitam para que o nosso sangue possa coagular e a varfarina impede a cicatrização porque interfere com o processo de regeneração da vitamina K. Se não há varfarina no ambiente, comparados com os ratos normais, os ratos com o alelo mutante têm uma pequena desvantagem, uma vez que o seu método é menos eficiente e necessitam consumir mais vitamina K; mas no geral têm uma vida normal. No entanto, o que acontece é que, se ambos os tipos de ratos são envenenados com varfarina, a vitamina K dos ratos normais é afectada mas a dos ratos com a mutação não; ou seja: são imunes. Então, se se envenena uma população de ratos com alguns ratos imunes, estes terão mais possibilidades de sobreviver

que os ratos normais. Também é possível que um gato os cace ou que não encontrem comida mas terão vantagem sobre os ratos normais porque não sangrariam até à morte se sofressem algum golpe. Deste modo, embora na população original houvesse muito poucos ratos imunes, estes teriam mais possibilidades de sobreviver e de se reproduzirem que os ratos normais. O facto de os ratos imunes se reproduzirem não quer dizer apenas que novos ratos substituem os que morreram envenenados mas também que estes novos ratos herdaram a imunidade à varfarina. Nas primeiras gerações ainda haverá ratos normais mas eventualmente é possível que todos os ratos da população sejam imunes à varfarina.

O exemplo que se apresentou é um dos que mostra que a selecção natural favorece os indivíduos com uma certa mutação, de forma a que esta se torne cada vez mais comum nas novas gerações da população, possivelmente até que todos a tenham. Mas também pode acontecer o contrário; por exemplo, as mutações que produzem o que chamamos de doenças genéticas não se transmitem às gerações seguintes porque os indivíduos que as têm não se conseguem reproduzir. E existem outros tipos de selecção: por exemplo, quando ter qualquer um dos extremos de uma característica, mas não o intermédio, é favorecido. É o que acontece, por exemplo, com o bico de uma ave africana: os indivíduos com o bico muito grosso são muito bons a quebrar e a alimentar-se de um certo tipo de sementes e os que têm o bico muito fino de outro tipo de sementes. Ambos os tipos de bico são favorecidos pela selecção natural. Mas se os indivíduos se cruzam entre si as suas crias nascem com bicos nem muito grossos nem muito finos e não são particularmente bons a quebrar nenhuma das diferentes sementes, estão em desvantagem.

A selecção natural é fácil de explicar usando exemplos de características particulares, como a resistência à varfarina ou o bico das aves. Mas um organismo tem muitos genes interagindo entre si. Por exemplo, para que um rato numa população que se quer eliminar com varfarina se reproduza não só precisa de ser imune ao veneno mas também de ser capaz de se alimentar e de sobreviver. Se tem uma mutação que o fez perder a visão, possivelmente não se conseguiria reproduzir enquanto que outros ratos imunes sim. Lembremo-nos também que estes processos ocorrem num ambiente que se altera. Se se deixa de administrar varfarina à população de ratos porque já são todos imunes, as gerações seguintes não regressam à forma normal de regenerar a vitamina K porque esse alelo já não existe na população. Os ratos não terão uma forma eficiente de regenerar a vitamina K e assim será a população (a não ser que surja uma mutação). Os seres vivos não estão desenhados da melhor maneira possível, apenas nos adaptamos com base na variação genética pré-existente nas populações. Por fim, é importante não esquecer que a evolução não ocorre só por selecção natural, mas que ao mesmo tempo ocorre deriva genética. É assim que as alterações que podem ocorrer em poucas gerações (como a adaptação à varfarina) se vão acumulando e, a longo prazo, as diferenças entre as populações podem tornar-se diferenças entre espécies e eventualmente levar à enorme variedade de vida que temos na Terra.

CAPÍTULO 7:

EVOLUÇÃO POR SELECÇÃO SEXUAL

.....

Qual a teoria mais ousada sobre a evolução das espécies?

Por Rita Dinis, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

A ideia da evolução surgiu com Lamarck, no final do século XIX. Mas os postulados por ele defendidos foram posteriormente desacreditados com as ideias inovadoras de Darwin. Darwin desenvolveu duas grandes teorias que explicariam o desenvolvimento das espécies: a teoria da selecção natural e a teoria da selecção sexual.

A teoria da selecção natural defende que as espécies têm de ser adaptadas ao contexto. Isto daria as condições mínimas de sobrevivência. As espécies desenvolveram-se porque surgiam mutações que eram favoráveis à sobrevivência de espécies e eram transmitidas às gerações seguintes. Mas esta não foi a teoria que mais curiosidade despoletou em Darwin. A segunda teoria, por ser inesperada, interessou-o verdadeiramente, apesar de saber que enfrentaria desaprovação universal. Esta defendia dois pressupostos:

1. Os machos competiam pela obtenção da fêmea.

Isso fez com que as armas de combatividade dos machos aumentassem e evoluíssem para combater os outros machos da mesma espécie. Em muitas espécies um único macho fica com a maioria das fêmeas, por isso, teriam de lutar entre si

2. Selecção dos machos disponíveis pelas fêmeas.

As armas de combatividade não tinham apenas o propósito de lutar contra os outros machos mas serviam também para atrair as fêmeas. Estas têm que escolher o macho com melhores genes para passar à descendência, sendo altamente selectivas. Por isso é que existe o dimorfismo sexual (assimetria entre os sexos). Por exemplo: os elefantes marinhos do norte, em que os machos são muito maiores que as fêmeas. O macho foi crescendo porque sempre que aparecia um maior que os outros ganhava os confrontos e as fêmeas escolhiam-no. Porque inicialmente os sexos teriam o mesmo tamanho.

Assim, as fêmeas seriam responsáveis pela evolução

e pelo aumento da inteligência pois preferem machos mais inteligentes. Mas esta teoria foi esquecida porque isso seria dar importância às mulheres. Esta teoria ainda deixa muitas pessoas incrédulas em relação ao facto de serem as fêmeas e não os machos as responsáveis pela reprodução, pelos genes que irão passar para as próximas gerações.

O caso do pavão desafia os princípios da selecção natural: é vistoso (a sua exibição é perigosa e atrai predadores), é muito grande (precisa de muitas calorias e tem maior risco de parasitas), ou seja, a sua manutenção é dispendiosa. Mas é explicado pelo princípio da selecção sexual em que atrairia as fêmeas. Assim, o que interessa um ser estar bem adaptado ao meio se não é preferido pelas fêmeas para passar os seus genes à descendência?

Em que ajuda os pavões terem penas de cor chamativas?

Por Belen Palmira Ibarra Aguilar, 7º ano, Colégio Marymount

As penas bonitas, tão características dos pavões, não são apenas para a nossa, seres humanos, admiração, mas também os ajuda a chamar a atenção de suas presas, e é assim que atraem o seu alimento. A sua alimentação é principalmente omnívora, composta principalmente por sementes, frutas, bagas, plantas, vegetais, insectos, rãs e pequenos répteis, que são atraídos pelas suas penas vistosas. Esses animais, apesar do seu grande tamanho, podem voar, outra função fornecida por suas penas.

Nem todos os pavões têm estas penas de cores como azul e verde, com olhos negros com branco, mas só os machos têm esta adaptação tão característica. Estes estendem as suas coloridas penas da cauda para ficarem parecidas com um leque e também serve para atrair e fazer a corte à fêmea na época da reprodução. A fêmea não tem as belas penas coloridas mas sim uma plumagem branca, e às vezes castanha com verde iridescente no pescoço e, obviamente, não é tão bela como a plumagem de um macho. O macho abre suas asas para as fêmeas, movendo-se numa impressionante e um pouco estranha forma. A cauda é muito importante neste caso particular, é geralmente a cauda vistosa e colorida que faz uma fêmea escolher um macho.

.....

Por que motivo só os veados (*Cervus elaphus*) machos têm hastes?

Por Gonçalo Mendes Rodrigues, 5º ano, Agrupamento de Escolas Frei Bartolomeu dos Mártires

O aparecimento e a evolução das hastes dos veados tiveram início há cerca de 250 mil anos. Os cientistas, baseados na teoria evolucionista de Darwin, explicam o seu aparecimento pela necessidade destes mamíferos lutarem entre si à cabeça, levando ao endurecimento do osso frontal e à formação de pequenas saliências, que foram evoluindo ao longo do tempo até às ramificações que conhecemos hoje. Assim, de acordo com a teoria evolucionista de Darwin, a existência de hastes nos veados machos e a não existência de hastes nos veados fêmeas pode ser explicada pelas frequentes lutas à cabeça que os machos faziam entre si para atraírem as fêmeas. Deste modo, em épocas de acasalamento, o veado macho com as hastes mais fortes era eleito entre os veados fêmeas, passando os seus genes às gerações seguintes.

Por Alejandra Valero Méndez,

Faculdade de Ciências, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)

Talvez por esta altura já tenhas percebido que a teoria da evolução por selecção natural proposta por Charles Darwin diz que aquelas características que aumentam a probabilidade dos organismos sobreviverem e se reproduzirem são as que permanecem nas populações naturais. Mas Darwin era um homem que não ficava completamente satisfeito com certas explicações e fazia sempre mais perguntas. Uma dessas perguntas foi: porque é que existem características nos seres vivos que põem em perigo a sua sobrevivência? Alguns exemplos deste tipo de característica são as esporas dos galos, que podem ferir severamente outro indivíduo; não seria lógico pensar que a selecção natural eliminaria características que diminuem a sobrevivência? Outra questão levantada por Darwin foi o porquê de haver características que (aparentemente) não estão relacionadas com a sobrevivência. Um exemplo são as penas vistosas de algumas aves do paraíso, como o macho de *Parotia lawesii*.

Darwin precisou de vários anos de observações para poder chegar a uma resposta; observando o comportamento animal, apercebeu-se que existem características particulares que apenas os machos têm, e não as fêmeas, e que estas características estão muito associadas ao facto de determinados indivíduos se reproduzirem... e outros não. Estas características

são geralmente muito chamativas: por vezes são estruturas de tamanho exagerado (como as hastes dos veados ou de outros quadrúpedes) e outras vezes são estruturas com cores muito brilhantes (como as penas dos pavões reais). O que é bastante frequente é o facto de que na maioria dos animais apenas um dos sexos as tem, e o outro não (muitas vezes é o macho que as tem mas em casos raros é a fêmea).

Darwin observou que estas características aparentemente não aumentam a sobrevivência de quem as tem mas sim que estão directamente relacionadas com o processo reprodutivo. Por exemplo, as renas macho, e outros quadrúpedes machos que têm hastes, são animais muito territoriais e lutam com machos que cheguem demasiado próximo das áreas que defendem. Nestas lutas dão-se muitas cabeçadas e quem tem as maiores hastes é capaz de ganhar as lutas e expulsar o outro macho do seu território. As fêmeas são espectadoras destes confrontos e várias podem permanecer junto do macho com as maiores hastes e reproduzir-se com ele. Nos elefantes marinhos, cujos machos têm presas extraordinárias, também ocorrem lutas e o vencedor é quem se reproduz. Mas nem sempre é necessário que as fêmeas sejam testemunhas destes confrontos dramáticos: nos besouros rinoceronte (nome vulgar porque são conhecidos os coleópteros sul-americanos da subfamília Dynastinae), por exemplo, os machos têm chifres na cabeça que usam em lutas com outros machos, sobretudo na época de reprodução. Mas as fêmeas não estão presentes durante estas lutas: o que acontece é que os machos que ganham as lutas passam a ocupar territórios com recursos alimentares abundantes e de boa qualidade; quando as fêmeas saem em busca de alimentos, em preparação para a temporada de reprodução, encontram-se mais frequentemente com os machos que conseguiram ocupar esses territórios quando ganharam as lutas. Darwin notou que aquelas características dos animais que fazem com que um macho tenha mais probabilidades de se reproduzir que outro, depois de se terem enfrentado fisicamente, permaneceram na população graças ao mecanismo de selecção intra-sexual.

Mas as lutas entre machos não são a única forma de assegurar que um indivíduo se vai reproduzir. Noutras espécies, os machos não se enfrentam uns aos outros; vão directamente ter com as fêmeas à procura da sua aprovação. Vejamos alguns exemplos. Os machos de pavão real têm umas penas especiais na cauda, que exibem às fêmeas durante a época de reprodução, acompanhado de uma dança. Tanto os sinais visuais, químicos, acústicos ou as danças são designados como padrão de corte, e este padrão é diferente de espécie para espécie. As fêmeas observam a corte dos machos, por vezes com muita atenção outras com pouca, e se esta for bem executada usam determinados sinais comportamentais para indicar ao macho que o escolheram para se reproduzirem. Nalgumas espécies, os machos, em vez de dançarem ou cantarem, fazem a corte oferecendo à fêmea um “presente”: há uns insectos semelhantes a moscas em que apenas os machos têm asas, as fêmeas não; quando chega a época de reprodução, as fêmeas, que vivem em terra, sobem até ao cimo de uma erva e esperam que apareça algum macho que as apanhe e as leve num passeio “romântico” para visitar diversas flores, onde se possam alimentar de néctar. Se as visitas satisfizerem o apetite da fêmea, no final do passeio ela reproduz-se com o macho que a levou a passear. Darwin notou que aquelas características que fazem com que um macho tenha mais probabilidades de se reproduzir depois de as exibir directamente à fêmea permaneceram na população graças a um mecanismo ligeiramente diferente, a que chamou selecção inter-sexual.

Tanto a selecção intra-sexual como a selecção inter-sexual são parte de uma das explicações

mais ousadas sobre a evolução das espécies, e foi também elaborada por Charles Darwin; Darwin reconheceu que estes dois mecanismos constituem uma forma especial de selecção, a que chamou selecção sexual. Segundo Darwin, a selecção sexual ajuda-nos a compreender que certas características dos animais que não necessariamente aumentam a sua sobrevivência permaneceram nas populações porque aumentam a probabilidade de alguns indivíduos se reproduzirem.

Nos últimos anos foi possível compreender melhor a selecção sexual. Por exemplo, apenas um sexo tem estas características especiais, sobretudo em espécies nas quais um sexo (os machos) se reproduz mais frequentemente que o outro (as fêmeas). Se os machos competem por se reproduzirem mais que as fêmeas, o desenvolvimento de estruturas que aumentam a sua probabilidade de reprodução (como as hastes dos veados) é beneficiado.

CAPÍTULO 8:

EVOLUÇÃO POR SELECÇÃO ARTIFICIAL

Porque é que os cães e os lobos têm comportamentos tão diferentes mas genética tão igual?

Por Carlos Abegão, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

Há muitos estudos que afirmam que o cão é um descendente do lobo. Mas será mesmo verdade?

O lobo é um dos maiores membros da família Canidae e é um predador nato nos ecossistemas a que pertence, o que o torna pouco adaptável à presença humana. O cão foi um dos primeiros animais a ser domesticado pelo Homem no final da Era Glacial, quando os humanos ainda necessitavam de caçar para ter comida. Hoje em dia o cão é considerado como “o melhor amigo do Homem”, pois este aceita o seu dono como “chefe da matilha”, o que torna a relação entre humano e cão numa amizade entre duas espécies tão diferentes.

O estudo comparativo do ADN do cão e os seus possíveis

antecessores (lobo cinzento, coiote e chacal) mostrou uma semelhança superior a 99,8% entre o cão e o lobo e não ultrapassa os 96% com as outras duas espécies. As semelhanças entre cães e lobos são tais que os trabalhos de arqueologia para fazer uma distinção exacta entre os vestígios de cada espécie se tornam muito complicados. O cão primitivo só se diferencia do seu ancestral por alguns detalhes pouco fiáveis, como o comprimento do focinho ou particularidades na arcada dentária. Pensa-se, portanto, que cães e lobos são duas subespécies muito idênticas geneticamente mas que apresentam uma diferença comportamental muito elevada. Outro facto que parece confirmar esta teoria é a existência de mais de 45 subespécies de lobos, que poderiam estar na origem da diversidade racial observada nos cães.

Há, contudo, questões que continuam sem resposta. Se são mesmo seres vivos pertencentes à mesma família porque apresentam comportamentos tão diferentes? Os biólogos continuam sem perceber os motivos que fazem com que o lobo seja um animal selvagem e o cachorro o “melhor amigo do Homem”, no entanto muitos apresentam teorias relacionadas com estes dois animais. Segundo um estudo da bióloga Kathryn Lord, da Universidade de Massachusetts em Amherst, esta diferença comportamental poderá ser causada pelas primeiras experiências sensoriais e o período de socialização, ou seja, os primeiros cheiros, os primeiros estímulos visuais, e os primeiros ruídos. A investigadora descobriu que os filhotes de lobo começam a andar e a explorar o mundo quando ainda não vêem nem ouvem, e têm o olfacto pouco desenvolvido. Por outro lado, os cachorrinhos só começam a explorar o mundo quando os sentidos da visão, da audição e do olfacto estão a funcionar, o que os torna capazes de interagir com os humanos e outros animais. “É quase surpreendente o quanto cães e lobos são diferentes no início da vida, se levarmos em conta o quão semelhantes geneticamente eles são. Alguns filhotes de cães são incapazes de se mexer. Já os lobos são activos exploradores que caminham com boa coordenação e são capazes até de escalar pequenos obstáculos”, refere a bióloga. A investigadora afirma que estas diferenças significativas quanto ao desenvolvimento de filhotes de cães e lobos os põem em trajectórias distintas em relação

à capacidade de se relacionar com outras espécies, o que poderá justificar a diferença ao nível do comportamento com a presença humana.

Sabe-se que antigamente os humanos caçavam os lobos, mas ficavam com as crias que, quando amadureciam, ficavam menos submissas e acabavam por ser mortas ou abandonadas. Contudo havia excepções, algumas das crias permaneciam dóceis e continuavam a obedecer às ordens. Isto fez com que estas se cruzassem com outros lobos domesticados o que, juntamente com a alteração da dieta e dos cruzamentos destes lobos, possibilitou mudanças na estrutura destas espécies, como a redução do corpo, da cabeça e dentes. A cor do pêlo e o formato das orelhas e da cauda também sofreram alterações na evolução de lobo para cão.

Concluindo, os estudos genéticos apontam o lobo como ancestral do cão, fazendo este parte da mesma espécie que o lobo, diferindo apenas na subespécie (*Canis lupus familiaris*, no caso do cão) mas, apesar de estas duas subespécies apresentarem um código genético bastante idêntico, têm uma diferença comportamental significativa. Esta diferença comportamental pode dever-se aos estímulos a que os animais estão sujeitos no primeiro mês (caso dos cães) e nas duas primeiras semanas (caso do lobo), que determinam as suas atitudes comportamentais face à espécie humana.

Por José Melo-Ferreira,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

A domesticação é um dos mais fascinantes processos evolutivos. Consiste na conversão das características de plantas ou animais para uso humano, feita através de muitas gerações de cruzamentos controlados, planeados de forma a perpetuar certas características de interesse. Na domesticação, o que determina a capacidade de um indivíduo em reproduzir-se e deixar descendência não é a sua aptidão no habitat natural (selecção natural) ou a sua capacidade para acasalar (selecção sexual), mas sim a posse de atributos que o Homem considerou convenientes. Por este motivo a domesticação é um processo de selecção artificial.

A domesticação permitiu e acompanhou o desenvolvimento da agricultura, um ponto-chave do progresso das sociedades humanas já que possibilitou a sedentarização de comunidades anteriormente caçadoras-recolectoras. O estudo da domesticação é assim fundamental para compreender o próprio desenvolvimento da sociedade humana moderna. A integração de

conhecimentos gerados por diferentes disciplinas científicas como a genética, paleontologia ou arqueologia permite-nos vestir a pele de historiadores do mundo natural e perceber como decorreu o processo de domesticação de uma determinada espécie. As ferramentas genéticas permitem-nos, por exemplo, comparar a informação contida no ADN das raças domésticas e das populações selvagens que lhes deram origem, ou mesmo analisar o ADN antigo presente em fósseis de indivíduos selvagens e domésticos com centenas ou milhares de anos, ou seja, que existiram em tempos mais próximos do início da domesticação. A paleontologia ajuda-nos, entre outras coisas, a documentar e datar registos fósseis de seres vivos domesticados (embora, como o Carlos refere, muitas vezes não seja nada fácil distinguir indivíduos selvagens e domésticos), e a arqueologia permite por exemplo perceber como ocorreu a convivência com animais nas comunidades humanas.

As plantas e os animais começaram a ser domesticados há muitos milhares de anos, por variadas razões, como a produção de alimento (por exemplo a carne de vaca ou de porco, o leite, o milho ou o arroz), de bens (como a lã de ovelha ou o algodão), transporte (como o cavalo ou burro), companhia (como os cães e os gatos), ornamento (como coelhos, cães, gatos e muitas aves, como pombos ou periquitos) entre muitas outras. É por isso que vemos coelhos domésticos de todas as cores e tamanhos, ou cães também com aspecto variado e que servem tarefas tão diversas como protecção, auxílio ou simplesmente companhia. No que diz respeito aos animais, a selecção de comportamentos dóceis, destacada pelo Carlos, foi fundamental para permitir a convivência dos animais com o Homem e para facilitar a própria continuação do processo de domesticação. Por isso é que o comportamento é uma das características mais marcantes que distingue os animais domésticos dos seus parentes selvagens. E como se faz esta selecção? Pelo cruzamento sucessivo, ao longo de muitas gerações (refinar um atributo pode levar centenas de anos), dos animais mais dóceis, para que uma característica se torne cada vez mais marcada numa raça. Como os animais que possuem uma mesma característica e que são cruzados entre si são inicialmente poucos e geralmente aparentados (e por isso têm informação genética mais parecida), a domesticação leva a uma perda sucessiva de diversidade genética, não só nos genes que determinam essa característica (que é mais marcada), mas também nos restantes. Muitas vezes, dois animais da população selvagem são mesmo mais diferentes geneticamente do que um animal doméstico e um selvagem da mesma espécie. É por isso que os cães são tão semelhantes geneticamente com os lobos, a espécie selvagem que lhe deu origem, mesmo sendo aparentemente tão diferentes em muitas características, como o comportamento. E mesmo entre raças os comportamentos são muito variados, o que resulta de cruzamentos orientados para esse efeito. Essas diferenças têm uma base genética profunda e resultam de centenas ou mesmo milhares de anos de selecção artificial. Não é por isso desconhecida a razão das diferenças marcantes entre indivíduos que são evolutivamente tão aparentados. E essa proximidade genética reflecte-se por exemplo na viabilidade dos cruzamentos entre cães e lobos. Este facto, comum a muitas outras espécies domesticadas, como os gatos, pode resultar na introdução de combinações genéticas típicas das raças domésticas nas populações selvagens e na diminuição da sua aptidão no meio natural, colocando assim em risco a sua sobrevivência. Noutros casos, mais raros, a combinação genética introduzida no meio selvagem pode conferir uma melhor adaptação ao meio. Um exemplo desta última

situação é a introdução de variantes genéticos que conferem uma pelagem de cor preta em populações de lobo da América do Norte. No entanto, a poluição do património genético das populações selvagens através do cruzamento com raças domésticas é na grande maioria das vezes nociva para a sobrevivência das populações selvagens e um problema para a conservação da biodiversidade.

O animal doméstico mais emblemático é sem dúvida o cão. A investigação científica tem vindo a clarificar muitos dos aspectos-chave da sua domesticação, restando ainda algumas dúvidas sobre outros. Os cães actuais foram domesticados a partir do lobo (*Canis lupus*) há pelo menos 15 mil anos (havendo trabalhos que sugerem que poderá mesmo ser mais antiga), o que faz do cão o primeiro animal conhecido a ser domesticado. A domesticação inicial terá ocorrido no Sul da Ásia Oriental ou no Médio Oriente, sendo possível que tenha uma história complexa de múltiplos eventos de domesticação a partir de diferentes populações de lobo e até de cruzamentos posteriores com indivíduos selvagens. Não é ainda claro como e porquê foram os cães domesticados. Os humanos poderão ter deliberadamente capturado e criado crias de lobo para usar como protecção ou auxílio na caça. Alternativamente, os lobos poderão ter-se, eles próprios, aproximado de aldeamentos humanos em busca de comida e, ao longo de várias gerações, aqueles que tinham comportamentos mais dóceis e se aproximavam mais acabavam por ter maiores probabilidades de sobreviver. Ou seja, poderá ter havido um processo inicial de selecção natural de algumas características que tornaram esses lobos atractivos para uma selecção artificial direccionada pelo Homem. Sem dúvida que o progresso científico permitirá em breve saber ainda mais sobre o processo que conduziu à existência de mais de 400 raças do melhor amigo do Homem.

CAPÍTULO 9: EVOLUÇÃO CONVERGENTE

Estarão o porco-formigueiro e o papa-formigas relacionados?

*Por Susana Cunha, 11º ano, Escola Secundária Infanta
D. Maria*

Ao observarmos a morfologia do porco-formigueiro ou oricteropo (nome científico: *Orycteropus afer*) e do papa-formigas gigante (nome científico: *Myrmecophaga tridactyla*) podemos encontrar várias parecenças. As mais visíveis são os focinhos e línguas compridas e patas dianteiras semelhantes. No entanto, estes animais pertencem apenas à mesma classe, sendo portanto um bom exemplo de convergência evolutiva.

A evolução convergente é um fenómeno evolutivo através do qual seres desenvolvem características semelhantes apesar de não possuírem um ancestral comum que as apresente. Esta evolução deve-se a pressões selectivas semelhantes por parte do meio ambiente em que estão inseridos. Darwin defendeu a existência de variabilidade intra-específica, ou seja, que dentro da mesma espécie existem pequenas variações de indivíduo para indivíduo, o que é actualmente explicado pela ocorrência de mutações génicas. Os mais aptos a sobreviver no meio onde vivem ou, por outras palavras, os que têm características mais favoráveis à sua sobrevivência, vão prevalecer. Estes têm portanto maior facilidade reprodutiva e passam a sua informação genética, e consequentemente as suas características, à descendência. Isto traduz-se numa maior frequência de certos genes na população, ou seja, de certas características mais favoráveis. Resumindo, estruturas anteriormente muito diferentes passam a apresentar características e funções semelhantes devido a uma selecção natural que as privilegia.

O papa-formigas e o porco-formigueiro são mamíferos com uma dieta muito parecida. Ambos baseiam a sua alimentação em formigas e térmitas, razão pela qual possuem focinhos e línguas tão compridas e patas optimizadas para vasculhar formigueiros. Tanto o papa-formigas como o porco-formigueiro desenvolveram estas características de modo independente com o objectivo de se adaptarem melhor à sua dieta, apresentando

um fenótipo (características visíveis, como a morfologia) muito semelhante apesar do seu genótipo (informação genética) ser muito diferente. Isto significa que o porco-formigueiro e o papa-formigas, apesar de serem muito semelhantes, não estão relacionados. Apenas sofreram o mesmo tipo de evolução.

Por Ricardo J. Pereira,

Instituto de Oceanografia Scripps, Universidade da Califórnia em San Diego

Casos de convergência evolutiva são das demonstrações mais claras de formação de espécies por selecção natural. A teoria da evolução por selecção natural prevê que a adaptação a habitats distintos leva à formação de características morfológicas diferentes e, eventualmente, à formação de novas espécies funcionalmente adaptadas a esse habitat. No entanto, quando o mesmo habitat existe em áreas geograficamente isoladas, a selecção natural pode resultar na evolução repetida de novas espécies especializadas nesse novo habitat. A evolução convergente pode levar a um grau de especialização funcional tão extremo que espécies convergentes podem ser morfológicamente quase indistinguíveis, apesar de terem evoluído de ancestrais diferentes.

Como a Susana explica, o porco-formigueiro e o papa-formigas são um exemplo claro de evolução convergente porque resultam de linhagens evolutivas independentes que se adaptaram ao mesmo nicho ecológico. O porco-formigueiro é uma espécie endémica do continente africano, enquanto o papa-formigas é endémico da América Central e do Sul. A separação dos dois continentes durante o período Jurássico (há cerca de 135 milhões de anos) criou uma barreira geográfica entre os animais e plantas que aí viviam. Desde então, as espécies em ambos os lados do novo oceano Atlântico evoluíram independentemente, colonizando uma grande diversidade de habitats, e formando inúmeras espécies especializadas em cada um dos nichos ecológicos encontrados nos dois novos continentes. A linhagem evolutiva a que pertence o porco-formigueiro originou espécies tão distintas como os elefantes e musaranhos, enquanto a linhagem evolutiva do papa-formigas deu origem às preguiças e tatus. As duas espécies não desenvolveram características semelhantes com o objectivo pré-determinado de se adaptarem à dieta. O que aconteceu foi que a disponibilidade de formigas e térmitas nos dois continentes criou uma pressão selectiva semelhante em continentes habitados por espécies diferentes. Esta pressão selectiva actuou na variabilidade existente nas duas populações ancestrais, beneficiando, ao longo de várias gerações, indivíduos com caracteres mais aptos a esse nicho. Assim, a partir de linhagens ancestrais diferentes, características morfológicas associadas ao porco-formigueiro e ao papa-formigas evoluíram independentemente.

À primeira vista, a semelhança morfológica entre o porco-formigueiro e o papa-formigas pode ser interpretada como uma indicação de que a evolução por selecção natural é lenta. No entanto, um estudo mais aprofundado revela que este é um exemplo claro de que a selecção natural pode formar novas espécies rapidamente e, mais importante, repetidamente.

CAPÍTULO 10: CO-EVOLUÇÃO

O que é a co-evolução?

Por David Omar Arellano Contla, 7º ano, Colégio

Marymount

A minha definição: co-evolução é a designação que se dá ao fenómeno de adaptação evolutiva mútua produzida entre presa e predador.

Janzen, em 1980, rebateu que co-evolução é o processo pelo qual dois ou mais organismos fazem pressão de selecção mútua e sincronizada (no tempo geológico). Quer dizer, evoluem, as presas mudam de tácticas para não serem caçadas e os caçadores mudam e tornam-se mais fortes que antes, mais rápidos, etc.

Exemplos: as orquídeas evoluíram juntamente com alguns insectos em termos de morfologia, pois têm formas de insectos e o aroma é usado para atrair o macho e assim levar o pólen no tórax dos insectos.

Por Sara Rocha,

Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),

Universidade do Porto

Co-evolução pode ser definida como um processo de mudanças evolutivas recíprocas despoletadas pela interacção entre duas (ou mais) espécies. Embora alguns dos exemplos mais conhecidos se refiram a co-evolução entre presas e predadores, todo o tipo de interacções pode conduzir a processos co-evolutivos, principalmente mutualismos (onde ambos os intervenientes beneficiam), relações predador-presa ou parasita-hospedeiro (onde o primeiro beneficia e o segundo é prejudicado) ou competição (onde ambas as partes saem prejudicadas).

Um exemplo são os bodiões-limpadores - pequenos peixes que se alimentam de ectoparasitas de peixes maiores, chamados “clientes”. Os primeiros usufruem de alimento e os segundos livram-se dos parasitas. Os peixes maiores são geralmente predadores dos mais pequenos mas neste caso a co-evolução moldou a relação entre as duas espécies de modo a que os “clientes” não tentam preda as espécies que os “limpam”, que ao mesmo tempo deixam de fugir destes. Alguns peixes limpadores passaram a depender quase exclusivamente da comida

fornecida pelos seus “clientes” e isto leva-nos a outro aspecto importante da co-evolução: as interações entre as espécies podem ocorrer durante parte ou todo o ciclo de vida das espécies em questão, ser mais ou menos determinantes para a sobrevivência das espécies em questão e portanto conduzir a diferentes graus de especialização. Em alguns casos, uma ou ambas as espécies intervenientes podem deixar de conseguir completar o seu ciclo de vida sem a outra.

Plantas e seus polinizadores são outros exemplos de co-evolução a partir de relações mutualistas e que podem conduzir a co-adaptações extremas: várias espécies de plantas, como por exemplo as orquídeas, foram desenvolvendo formas - muitas vezes muito específicas - de atrair os seus polinizadores recompensando-os com alimento. Por isso algumas flores têm aparência de insecto (para atrair outros), aromas atractivos ou flores com determinada morfologia, e das quais apenas determinadas espécies se conseguem alimentar - nestes casos a morfologia da planta vai evoluindo no sentido de maximizar a quantidade de pólen delas transportado, assim como a sua taxa de fertilização, e a espécie polinizadora no sentido de maximizar o seu acesso ao néctar (alimento). A orquídea de Darwin (*Angraecum sesquipedale*), por exemplo, com uma impressionante corola com cerca de 30 cm, é polinizada por uma borboleta com uma probóscide com aproximadamente o mesmo tamanho.

É importante salientar que a co-evolução ocorre a muitos níveis da hierarquia biológica e não apenas entre espécies: a vida originou-se através da co-evolução de moléculas ligadas por redes metabólicas; processos celulares co-evoluem – estudos mostram por exemplo que os níveis de expressão de proteínas que interagem variam de um modo concertado à medida que certas espécies se diferenciam, e os principais organelos celulares, como mitocôndrias e cloroplastos, co-evoluíram com os seus “hospedeiros”, por exemplo transferindo genes do seu genoma para o genoma nuclear do “hospedeiro”, que por sua vez “prescindiu” da sua maquinaria genética de produção de energia e/ou de fotossíntese. Co-evolução pode mesmo ocorrer entre genes e cultura, como por exemplo no caso da expansão da tolerância à lactose na espécie humana depois da domesticação de ovelhas, cabras e gado: o padrão de expansão geográfica da variante do gene (alelo) que permite a tolerância à lactose, isto é, que permite a digestão do leite, é concordante com o padrão de riqueza alélica do gado para proteínas relacionadas com a produção de leite e ainda com a distribuição das sociedades pastorícias do Neolítico, sugerindo que as vantagens do consumo de leite actuaram como força selectiva, influenciando tanto a diversidade genética do gado (para proteínas relacionadas com a produção de leite) como a composição genética das populações humanas (com expansão de alelos que permitem a digestão da lactose).

As interações co-evolutivas podem resultar na coexistência estável entre as espécies ou na extinção de uma delas (sobretudo em relações de parasitismo ou predador-presa). A não ser que a sobrevivência das duas espécies seja essencial para ambas, uma espécie poderá facilmente levar à extinção da outra – não há nenhuma garantia de que ambas consigam permanecer no “jogo”, ainda que a maioria das interações co-evolutivas que conseguimos observar sejam casos em que isso aconteceu. Uma hipótese que tenta explicar a dinâmica de interações co-evolutivas e o porquê da capacidade de sobrevivência relativa das espécies envolvidas se manter constante é a chamada “Hipótese da Rainha de Copas”, em alusão à personagem do conto “Alice através do espelho” de Lewis Carrol. Quando Alice

perguntou à Rainha porque é que apesar de tanto correrem não saíam do sítio, a Rainha respondeu: “Aqui, é preciso correr o máximo que se puder, para ficar no mesmo lugar!”. A analogia com a dinâmica da co-evolução é que não importa o quanto uma espécie se adapte à outra, esta vai sempre mudar também, em resposta, mantendo-se a capacidade de sobrevivência relativa das duas espécies constante. Outro exemplo é a lagarta da borboleta-monarca (*Danaus plexipus*) e a planta da qual se alimenta (espécies do género *Asclepias*). A planta produz um látex bastante tóxico para as lagartas, que foram evoluindo uma certa resistência ao veneno para se alimentarem. Além disso, as lagartas desenvolveram ainda uma adaptação comportamental: antes de comerem a planta, fazem um corte na base das folhas e esperam que o látex escorra caule abaixo, levando a maior parte das toxinas com ele, ingerindo assim uma quantidade muito menor de veneno. Não se sabe muito bem como a co-evolução agiu para que surgissem as toxinas da asclépias ou a tolerância das lagartas, ou mesmo o comportamento de alimentação que estas lagartas exibem. Provavelmente o látex da planta foi adquirindo níveis maiores de toxicidade ao longo do tempo, e as lagartas, níveis maiores de resistência. Os dois organismos direccionaram assim, pelo menos em parte, a evolução um do outro.

Esta é uma das dificuldades em estudar co-evolução: vemos os seus efeitos na Natureza, mas é difícil medir como a co-evolução actua nos organismos. Não vemos a corrida em si, apenas o constante empate entre seus competidores!

CAPÍTULO 11: EVOLUÇÃO DO VOO

Como é possível que um animal, que vive em terra, comece a voar?

Por João Pedro Alves Silva, 7º ano, Escola EB - 2,3 da Agrela

Estudos mostram que as aves evoluíram dos primeiros répteis. Planar foi o primeiro passo e o segundo foi o batimento dos membros. Descobertas paleontológicas e estudos de registos fósseis de dinossáurios e esqueletos de aves actuais revelaram semelhanças entre si, o que levou a concluir que eles tiveram um antepassado comum. Esse antepassado comum pertenceria ao grupo dos dinossáurios

(répteis) – os terópodes, animais muito ágeis, bípedes e que se alimentavam tanto de outros animais como de vegetais. Esse grupo viveu no período Cretáceo inferior, entre 120 e 130 milhões de anos (MA) atrás. Mais, os cientistas previam que as aves tivessem evoluído de dinossáurios terópodes com penas e, mais uma vez, encontraram os fósseis que validaram a sua previsão.

A primeira relação encontrada entre aves e répteis foi com o fóssil *Archaeopteryx lithographica* – e já Charles Darwin a conhecia. Este fóssil foi encontrado numa pedreira na Alemanha, em 1860, com idade aproximada de 145 MA (período Jurássico) e com um esqueleto praticamente igual ao dos terópodes. Hoje não há certeza de que *Archaeopteryx* seja a única espécie a ter dado origem a todas as aves modernas mas de qualquer das maneiras não restam dúvidas que ele pertence a uma longa série de fósseis que explicam nitidamente o aparecimento das aves modernas. As características típicas dos répteis, como uma mandíbula com dentes, uma cauda longa e com ossos, as garras, os dedos separados na asa e um pescoço que se encontra ligado ao crânio por trás, em vez de por baixo, foram sendo substituídas por outras, muito semelhantes às das aves actuais, como ter penas grandes, um dedo grande do pé oponível, usado, naturalmente, para o animal se empoleirar, um pescoço que se ligado ao crânio por baixo e um esterno mais largo. Ainda não foi possível esclarecer se *Archaeopteryx* podia voar, apesar de possuir penas em todo o corpo. Mas tudo leva a crer que sim pois as suas penas assimétricas, tal como as asas dos aviões, desenvolvem um perfil alar, necessário para um voo aerodinâmico. Depois de *Archaeopteryx* não foi encontrado nenhum vestígio de outra forma intermédia réptil-ave durante imensos anos.

Já nos anos 90, uma série de descobertas, na China, de fósseis de terópodes com penas e alguns com pernas compridas preencheu a lacuna que faltava entre *Archaeopteryx* e as aves actuais (penas em todo o corpo que ajudavam a planar e pernas compridas que ajudavam a aterrar). Mais, uma equipa de paleontólogos encontraram e descreveram dois fósseis muito semelhantes ao de uma ave – um deles é um pequeno dinossáurio com penas, que dorme com a cabeça recolhida debaixo do seu membro dianteiro, dobrado e semelhante a uma asa; outro fóssil também

encontrado é um terópode fêmea que morreu exibindo um comportamento idêntico ao das aves quando estão a chocar ovos. Apesar de tudo o que ainda não se conhece, no seu conjunto, estudos paleontológicos mostram, assim, que as aves tiveram origem em répteis, nos dinossauros do grupo dos terópodes, e que *Archaeopteryx* e os seus parentes mais recentes mostram características semelhantes a aves e a répteis.

Será que as galinhas já foram dinossauros?

Por Rita Fonseca, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

A resposta a esta pergunta é sim. A verdade é que, depois de milhões de anos de evolução, encontramos hoje em dia na Terra primos dos dinossauros, sendo um destes as galinhas. Existem diversos argumentos baseados na evolução das espécies que apoiam esta teoria.

Começando pelos argumentos paleontológicos, foi recentemente descoberto um fóssil de *Archaeopteryx*, um organismo com características de ave e de réptil. Este apresenta uma forma intermédia entre dois grupos de animais, sendo denominado pelos cientistas de forma de transição. Esta descoberta apoia a teoria de que as aves que conhecemos hoje derivam dos répteis. Outra semelhança entre as galinhas e os dinossauros prende-se com a sua anatomia. Ambos os grupos partilham diversas características, como a capacidade de dobrar o pescoço em forma de S, bacia larga, pés com quatro dedos, sendo que só se apoiam em três e ainda ossos ocos. Estas semelhanças funcionam como um forte argumento de que as galinhas evoluíram dos dinossauros, mantendo diversas estruturas em comum, que nos permitem ligar os dois grupos através de uma série filogenética.

Em adição aos argumentos que já referi, a evolução da ciência nas últimas décadas permitiu comparar o ADN da galinha com o dos dinossauros, levando à descoberta de grandes semelhanças entre estes. Com a evolução, os dinossauros terão adquirindo características diferentes até que chegaram ao que nós chamamos de galinhas. Apesar de o seu fenótipo se ter modificado de forma acentuada,

seria de esperar que o seu genótipo (genes) se mantivesse semelhante ao de outrora, apesar de alguns dos genes não se manifestarem. Devido à evolução científica é agora possível provar que isso aconteceu. Com efeito, após a análise dos vários argumentos a favor da evolução dos dinossauros para galinhas, é possível estabelecer uma ligação entre os dois e dizer com relativa certeza que o segundo evoluiu do primeiro.

De acordo com a teoria aceite de evolucionismo, o Neodarwinismo, mudanças no meio terão desencadeado a evolução das várias espécies de dinossauros. De cada vez que ocorria uma mudança significativa, os indivíduos que possuíam características que os tornavam mais aptos à sobrevivência prosperavam. Assim, através da selecção natural, que levava à reprodução diferencial, assistia-se à sobrevivência do mais apto. Desta forma, certas características eram perpetuadas e outras preteridas. No caso específico dos dinossauros estes não terão sido extintos após a queda de meteoritos. Alguns indivíduos de espécies com certas características terão sobrevivido pois estas características tornavam-nos aptos no novo meio. Com a mudança drástica no ambiente, a evolução da espécie mudou também de forma acentuada. Os mais aptos neste ambiente passaram a ser os animais de pequeno porte e herbívoros, devido maioritariamente à escassez de alimento. É possível que mudanças climáticas, particularmente para um ambiente mais frio, tenha levado a que indivíduos que tinham o corpo coberto de penas, em vez de escamas, se tornassem mais aptos, sendo esta característica perpetuada e acentuada ao longo das gerações. Outras mudanças terão sido a perda da capacidade de voar e o aparecimento de bico, devido, por exemplo, à mudança de alimento disponível, acessível a partir do solo e que tornava mais aptos indivíduos que não conseguiam voar ou que possuíam uma boca mais afinada e com maior número de semelhanças com um bico. Ao fim de numerosas mudanças, e com a intervenção de diversas mutações genéticas favoráveis, e por isso passadas às gerações seguintes, e de recombinação genética, os dinossauros evoluíram para as aves que temos hoje em dia no planeta Terra, nomeadamente para a galinha.

Por Gonçalo Espregueira Themudo,

*Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR/CIMAR),
Universidade do Porto & Centro para a GeoGenética, Museu de História Natural
da Dinamarca, Universidade de Copenhaga*

Conhecem-se quatro grupos de animais que evoluíram a capacidade de voar: a subclasse de insectos Pterygota, os pterossauros, as aves e os morcegos. Embora nem todos tenham partido, pelo menos directamente, da terra para começar a voar, vamos explicar como se pensa actualmente que a transição para o voo ocorreu. O voo não surgiu de um dia para o outro. Não foi uma galinha pré-histórica que, cansada de andar, decidiu um dia que queria voar e transformou os braços em asas. O processo foi lento e resultou de mudanças graduais na anatomia dos membros ao longo de centenas de gerações. O modo exacto como surgiu o voo nos diferentes grupos não é conhecido com certeza, mas há várias hipóteses, cada qual com o seu mérito.

A capacidade de voar surgiu pela primeira vez em insectos da subordem Pterygota há 350 milhões de anos. São os únicos invertebrados (animais sem coluna vertebral) que se conhece com a capacidade de voar. A origem do voo dos insectos foge um pouco à pergunta uma vez que é possível que os antepassados dos insectos com asas não vivessem na terra, mas sim na água. Mesmo assim, é curioso ver como em grupos diferentes se modificaram estruturas diferentes para chegar a soluções semelhantes. Os apêndices que mais tarde se tornariam nas asas que conhecemos eram possivelmente usados como auxílio à deslocação na superfície da água, um pouco como as velas num barco; ou como paraquedas, quando os animais caíam das árvores. Estes apêndices, por sua vez, evoluíram possivelmente a partir de guelras móveis, ou seja, apêndices que tinham já capacidade de se mover, ligados a músculos; ou apêndices localizados nos membros dos insectos. Por isso, toda a aparelhagem necessária estava presente de forma rudimentar e foi reaproveitada para facilitar o voo. Os outros animais que desenvolveram a capacidade de voar são todos vertebrados (têm coluna vertebral). Três grupos evoluíram de forma independente a capacidade de voar: os pterossauros (agora extintos), aves e morcegos. Pelo menos alguns deles não passaram directamente do solo para ar, tendo primeiro subido às árvores. É provável que estes animais tenham conseguido primeiro planar do que voar. A diferença entre planar e voar é que no primeiro um animal só precisa de se sustentar no ar um pouco mais de tempo do que durante uma queda, como quando se lança um avião de papel, enquanto que o voo implica algum método de propulsão, e maior capacidade de manobras. Duas hipóteses para a origem do voo são comuns aos três grupos: a hipótese dos animais corredores e a hipótese arbórea.

Quando da descoberta dos primeiros fósseis de pterossauros (que quer dizer “lagartos com asas”), no século XIX, pensava-se que não eram capazes de voar, quanto muito apenas planar, muito devido ao grande tamanho de alguns exemplares (um dos maiores pterossauros, *Quetzalcoatl*, podia chegar a pesar 250kg e ter uma envergadura de asa de 11 metros). Mas os cientistas agora concordam que sim, mesmo os pterossauros de maior tamanho voavam. Como o registo fóssil é bastante limitado, não se sabe quais são os parentes mais próximos

dos pterossauros, o que poderia fornecer mais pistas sobre como surgiu o voo nestes lagartos. Os pterossauros conseguiam voar movimentando membranas alares que ligavam os membros anteriores (da frente) aos posteriores (de trás), e que eram controladas pelo quinto dedo dos membros anteriores que era extremamente comprido comparado com os outros dedos. Parece haver algum desacordo em relação ao modo como os pterossauros levantavam voo, se corriam em quatro patas e lançavam-se para o voo, talvez ao descer uma encosta; se corriam em duas patas e começavam a bater as asas antes de levantar voo, como as aves; ou se tinham de trepar a árvores para então se lançarem daí. Investigadores do Reino Unido sugeriram, em 2010, que estes animais seriam capazes de levantar voo sem necessidade de grandes clareiras ou correrias, usando os membros anteriores como alavanca, tal como um saltador usa uma vara para se levantar alguns metros do solo, e depois utilizando os seus poderosos músculos das asas para começar a voar imediatamente.

Por sua vez, os antepassados dos morcegos possivelmente já tinham as membranas que ligam os dedos uns aos outros, mas não as utilizavam para voar, antes para saltar e planar entre árvores. Estas adaptações das extremidades que permitem que um animal plane são relativamente comuns, sendo conhecidas em alguns mamíferos, répteis e anfíbios actuais. A passagem da planagem para o voo sustentado é um processo um pouco misterioso, mas pode estar de alguma maneira ligado ao desenvolvimento de uma outra inovação evolutiva dos morcegos, a comunicação por ultra-sons, que em alguns grupos permite ainda que os morcegos localizem as suas presas, mesmo no escuro, e então chamada ecolocalização.

Nas aves, uma das hipóteses para a origem do voo é de que os seus antepassados começaram a bater os membros anteriores como modo de facilitar a subida de encostas íngremes, um pouco como nós levantamos os braços para nos levantarmos do sofá. Animais com membros anteriores maiores teriam maior facilidade de subir colinas, o que lhes permitiria descobrir comida em locais mais distantes, o que por sua vez permitiria ter mais descendência que herdaria esses membros maiores. Os parentes mais próximos das aves são dinossauros terópodes (“patas de besta”), um grupo de animais que apareceu pela primeira vez no Triássico e que inclui talvez o mais famoso dos dinossauros, o *Tyrannosaurus rex*. Sendo as aves descendentes destes dinossauros, muitos paleontólogos incluem as aves nos Theropoda, o que significa que se pode considerar que as galinhas e todas as outras espécies de aves que conhecemos actualmente não só descendem deles mas são de facto dinossauros. Vários fósseis de dinossauros terrestres bípedes têm sido descobertos nas últimas décadas, com indicação de que estariam cobertos de penas, ou pelo menos estruturas primitivas semelhantes a penas. Isto não só sugere que o aparecimento de penas é anterior à capacidade de voar, e por consequência, às aves, como suporta a ligação entre as aves e os dinossauros.

CAPÍTULO 12:

EVOLUÇÃO DAS AVES QUE NÃO VOAM

.....

Os pinguins são aves marinhas mas não voam. Porquê?

*Por Ana Rita Salgado Artur, 11º ano, Escola Secundária
Infanta D. Maria*

Segundo o Lamarckismo, o ancestral seria uma ave terrestre e, logo, não necessitavam de ir ao mar. Houve uma alteração do meio onde viviam, passando este a ser aquático. As aves, para não morrerem, sentiram a necessidade de nadar, para se alimentarem. Para tal, não necessitavam de voar. Deste modo, as suas asas atrofiaram, ficando cada vez mais pequenas e desempenhando a função de barbatanas (Lei do uso e do desuso). Esta nova característica – asas pequenas – foi transmitida à descendência (Lei da herança dos caracteres adquiridos).

Por outro lado, o Darwinismo defenderia que a população ancestral seria terrestre. Nessa população havia variabilidade, ou seja, pinguins com asas atrofiadas, mais pequenas, e pinguins com asas desenvolvidas. Nessa população, os pinguins competiam para sobreviver. Com a necessidade de se alimentarem no mar, os pinguins cujas asas eram atrofiadas e desempenhavam a função de barbatanas tinham vantagem sobre os outros, porque se alimentavam e fugiam dos predadores mais facilmente. Eram portanto os mais aptos, logo os mais adaptados, sobreviviam mais facilmente e tinham mais oportunidades de se reproduzirem (sobrevivência e reprodução diferencial). Ocorreu deste modo uma selecção natural dos mais aptos, que aumentou, de geração em geração, o número de indivíduos com asas atrofiadas. Com o tempo, ocorreu uma transformação da população, e os pinguins actuais têm asas atrofiadas.

De acordo com o Neodarwinismo, a população ancestral seria terrestre. Nessa população havia variabilidade de formas, ou seja, pinguins com asas atrofiadas, mais pequenas, e pinguins com asas desenvolvidas. Esta

variabilidade de formas resulta de haver variabilidade genética, causada por mutações ou por ocorrer recombinação génica durante a meiose ou fecundação. Nessa população, os pinguins competiam para sobreviver. Com a necessidade de se alimentarem no mar, os pinguins cujas asas eram atrofiadas e desempenhavam a função de barbatanas tinham vantagem sobre os outros, porque se alimentavam e fugiam dos predadores mais facilmente. Eram portanto os mais aptos, logo os mais adaptados, sobreviviam mais facilmente e tinham mais oportunidades de se reproduzirem (sobrevivência e reprodução diferencial). Ocorreu deste modo uma selecção natural dos mais aptos, que aumentou, de geração em geração, o número de indivíduos com asas atrofiadas, ou seja, aumentou a frequência dos genes responsáveis por esta característica. Com o tempo, ocorreu uma transformação do fundo genético da população, e os pinguins actuais têm asas atrofiadas, não conseguem voar, mas são nadadores excepcionais que passam a maior parte do tempo na água.

Por Ricardo J. Pereira,

Instituto de Oceanografia Scripps, Universidade da Califórnia em San Diego

Evolução pode ser definida como descendência com modificação, uma vez que caracteres hereditários vão sendo modificados ao longo de sucessivas gerações. Como a Ana Rita explica no seu texto, a herança destes caracteres é um dos princípios transversais às várias teorias evolutivas, desde o Lamarckismo ao Neodarwinismo. A evidência mais clara de descendência com modificação é a existência de estruturas homólogas, isto é, estruturas que têm a mesma origem ou estrutura básica mas que podem desempenhar funções diferentes. Um dos exemplos mais emblemáticos de estruturas homólogas é a anatomia interna dos membros dos mamíferos. O cavalo, o Homem, a baleia e o morcego usam os membros anteriores para formas de locomoção diferente. Apesar da diferente função, os membros de todos estes mamíferos têm um número de ossos semelhantes e na mesma posição relativa, para além de derivarem da mesma estrutura embrionária. A existência destas estruturas homólogas só pode ser explicada pela existência de um ancestral comum a todas estas espécies de mamíferos, e pela consequente adaptação a habitats e funções diferentes.

A diferente função das asas dos pinguins relativamente às restantes aves resulta num outro exemplo de estruturas homólogas. As asas dos pinguins partilham a mesma estrutura interna e desenvolvimento embrionário das outras aves, sugerindo que o ancestral do pinguim era uma ave não marinha, e provavelmente voadora. A transição do meio terrestre para o meio marinho

levou a uma série de adaptações ao novo habitat, em particular a uma forma de locomoção diferente. Como resultado, os pinguins modernos apresentam asas rudimentares mais semelhantes a barbatanas de outros animais marinhos, que lhes permitem nadar até mais de 500 metros de profundidade e explorar recursos que não estão disponíveis para outras aves. Mais do que a perda da função de voo, as asas dos pinguins são um exemplo claro de como uma estrutura ancestral evoluiu para assumir uma nova função, e permitir adaptação a novos habitats.

CAPÍTULO 13:

EVOLUÇÃO DOS CROCODILOS

O que mudou entre os crocodilos pré-históricos e os actuais?

Por Valeria Incapie Zendejas, 7º ano, Colégio Marymount

Os crocodilos vêm dos Arcossáurios, ou répteis predominantes. A partir desse grupo de animais evoluíram outros três: os Pterossáurios no ar, os dinossauros em terra firme e crocodilos nos rios e pântanos. Os cientistas pensam que sobreviveram porque resistem às mudanças. Se o seu habitat se torna intolerável, entram em letargia debaixo da lama e até debaixo da água. Os crocodilos sobreviveram porque comem de tudo e vivem mais ou menos em todo o lado.

Os crocodilos pré-históricos eram quase de certeza de sangue frio, e se aquecia demasiado abriam e abrem a boca para refrescar a língua e quase não gastavam energia, e comiam uma presa por semana. Os crocodilos não podem mastigar porque não têm dentes afiados para cortar, têm técnicas para desmembrar os animais que não conseguem mastigar.

Os crocodilos são os dinossauros que vivem actualmente. *Deinosuchus* foi o maior crocodilo, media 15 metros. Mas havia crocodilos muito mais pequenos, chamados Aptossáurios. O crânio do crocodilo é quase igual ao do crocodilo pré-histórico, porém os seus corpos evoluíram

para o seu estilo de vida aquática. A mudança mais importante dos crocodilos foi o paladar. Filtram a água pelas suas vias nasais. Agora os crocodilos são mais pequenos e têm outros tipos de adaptações.

Por Sara Rocha,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

Os crocodilos são um grupo de répteis que, apesar do seu aspecto, são evolutivamente mais aparentados com as aves do que com outros répteis, como as tartarugas ou os lagartos. Os répteis são portanto um grupo parafilético, isto é, um grupo que não inclui todos os descendentes do seu ancestral comum (já que as aves se encontram entre estes). Aves e crocodilos formam um grupo chamado de Arcossáurios. O registo fóssil diz-nos que o ancestral comum a todos os Arcossáurios terá existido há cerca de 250 milhões de anos (MA), durante um período chamado Pérmico, o início da “Era dos Répteis”. Sem outros predadores, estes répteis primitivos – chamados de “arcossauromorfos” – espalharam-se pela Terra e diversificaram, ocupando quase todo o tipo de habitats e nicho ecológico (aquáticos, terrestres, herbívoros, carnívoros, etc). Destes, são conhecidos alguns fósseis muito antigos, como o *Proterosuchus* (datado de cerca de 240 MA), que se supõe teria a aparência semelhante a um crocodilo actual, com mandíbulas longas, músculos muito poderosos, pernas curtas e cauda longa, o *Triophossaurus*, um herbívoro de cerca de 2,5 metros, ou os Rincossaurios, um grupo de várias espécies, também herbívoras, cuja característica mais distintiva seria o focinho curto e dentes modificados formando um forte bico.

Mais tarde diferenciaram-se os dinossáurios e os crocodilos primitivos – “crocodilomorfos” – há cerca de 225 MA. Ambos os grupos diversificaram muito, surgindo espécies de morfologia e ecologia bastante diferentes, que dominaram a Terra durante vários milhões de anos – o Triássico, o Jurássico e parte do Cretácico – estávamos em plena Era dos Répteis. Posteriormente todos os dinossáurios se extinguíram (as aves são os seus parentes mais próximos e únicos descendentes vivos), mas algumas linhagens de crocodilos sobreviveram até aos dias de hoje. Quando pensamos em crocodilos, hoje em dia, não os associamos exactamente com a palavra “diversidade”, mas o registo fóssil (que nos permite também saber quando existiram estas espécies) revela-nos crocodilos “corredores” de patas longas, crocodilos marinhos, capazes de mergulhos longos e profundos, crocodilos do tamanho de “chihuahuas” e do tamanho de um *Tyrannosaurus rex*, crocodilos carnívoros vorazes e crocodilos herbívoros.

Sabe-se que os crocodilos mais primitivos (do Triássico) parecem ter sido espécies pequenas e terrestres, de aparência muito diferente dos crocodilos actuais. Teriam patas e caudas longas e corpos estreitos, talvez com a envergadura aproximada de um cão grande, como seria o caso do *Hesperosuchus*. Seriam provavelmente bons corredores, alimentando-se de insectos e outros animais pequenos. Como sempre, as excepções existem e conhece-se um fóssil deste

período, que se classifica como um crocodilo bastante primitivo, e que, ao contrário dos outros, seria muito grande, com um crânio com um mínimo de 60cm. Pensa-se que ocuparia o nicho de grande predador terrestre, antes do aparecimento de grandes dinossáurios.

Com o grande evento de extinção entre os períodos Triássico e Jurássico, que se estima ter dizimado grande parte da vida existente na Terra nessa altura, grande parte destes grupos extinguiu-se, passando os dinossáurios a dominar os nichos terrestres. Assim surgiram as formas aquáticas e marinhas que constituíram a maioria dos grupos de crocodilos primitivos durante o Jurássico. Algumas espécies, como os *Metriorhynchus*, desenvolveram mesmo membros em forma de barbatanas e caudas semelhantes aos peixes actuais, tendo possivelmente uma aparência de certo modo semelhante a grandes golfinhos, de focinhos muito alongados. Um grupo que se pensa ser próximo a este, o género *Dakosaurus* (que significa “lagarto-mordedor”), tinha mesmo um crânio enorme e compacto e mandíbulas fortes, provavelmente adaptados para comer outros grandes répteis marinhos e mesmo voadores, como alguns dinossáurios. Sabe-se que teriam entre 4 a 5 metros de comprimento. Seria o análogo à baleia-assassina dos dias de hoje. Durante o Jurássico, Cretácico e Terciário foi-se originando uma diversidade enorme de formas terrestres, semi-aquáticas e aquáticas. Algumas formas (como os géneros *Simosuchus*, *Chimeraesuchus* e *Malawisuchus*) tornaram-se herbívoras enquanto outras linhagens se tornaram predadores terrestres, como os carnívoros *Sebecus*.

Todas estas formas se foram extinguindo, em particular no final do Cretácico (como aconteceu com os dinossáurios), e é precisamente aí que surgem os parentes mais próximos dos crocodilos “modernos” (os Eusuchia, aos quais pertence a ordem Crocodilia). A esta ordem pertencem todos os “crocodilos” que existem actualmente: crocodilos (família Crocodilidae), jacarés (família Alligatoridae) e gaviais (família Gavialidae). Os gaviais são espécies de água doce, de focinho longo e estreito, que quase nunca abandonam a água. Os membros da família Crocodilidae reconhecem-se pela sua mandíbula em forma de “V”, pelos dentes da mandíbula inferior expostos e pela presença de órgãos sensoriais em todo o corpo. Os jacarés têm um focinho mais arredondado e os dentes nunca ficam expostos quando fecham a boca. Em conjunto, são cerca de 23 espécies de predadores aquáticos, entre os quais o maior réptil da terra, um crocodilo que habita o sudeste asiático e o norte da Austrália – *Crocodylus porosus* – que pode chegar a medir mais de 6 metros e pesar mais de 1 000Kg. Ainda assim, representam apenas uma pequenina parte da diversidade que já existiu neste grupo.

CAPÍTULO 14:

EVOLUÇÃO DAS ENGUIAS ELÉCTRICAS

.....

Como é que as enguias eléctricas evoluíram no sentido de produzirem descargas eléctricas tão elevadas?

Por Eduarda Sá Marta, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

Parece incompreensível como certos seres marinhos, como a enguia eléctrica, *Electrophorus electricus* (Linnaeus, 1766) possuem o poder fascinante de produzir elevadas descargas eléctricas que podem chegar aos 650 volts, capazes de imobilizar animais de porte muito superior ao destes peixes eléctricos. Já ao Homem sempre foi negada esta capacidade, podendo apenas idealizar heróis e até figuras míticas que poderiam gerar electricidade com a maior das facilidades. Sendo assim, como se pode então justificar esta intrigante característica das enguias eléctricas?

Em primeiro lugar, talvez a capacidade de controlar a electricidade não esteja assim tão longe do alcance doutros seres vivos, incluindo nós próprios. O cérebro dos humanos, bem como todo o seu sistema nervoso, é percorrido por inúmeros impulsos eléctricos a cada fracção de segundo, constituindo estes últimos verdadeiros exemplos de fenómenos bioeléctricos. Estes ocorrem não só em humanos e animais com cérebros evoluídos, mas também em muitos outros e variados seres, abrangendo igualmente órgãos com outras funcionalidades. Supondo uma origem comum relativa aos impulsos eléctricos verificados nas enguias eléctricas e noutros seres vivos, seria justificável admitir a possibilidade desta característica tão singular ter sido seleccionada, gradualmente e ao longo de gerações, entre os indivíduos desta espécie.

Um dos mais significativos fundamentos terá sido o ambiente competitivo e recheado de perigos em que espécies como a das enguias eléctricas habitaram ao longo da sua existência. As enguias eléctricas podem ser encontradas nas águas da Amazónia e no Rio Orinoco, onde as mais diversas

e exóticas espécies habitam. Será portanto de estranhar como um animal aparentemente tão inofensivo como a enguia eléctrica possa sobreviver em ambientes tão hostis. De facto, a enguia eléctrica possui até outras características peculiares, sendo que os machos costumam ter tamanho inferior ao das fêmeas. Para além disso, os indivíduos desta espécie não possuem escamas, têm de reemergir à superfície a cada dez minutos a fim de obterem oxigénio e, em princípio, o seu corpo mole e fino não representa nenhuma ameaça para qualquer outra espécie. Como poderiam indivíduos com estas características sobreviver no mundo selvagem? Na verdade, um simples recurso às potencialidades do sistema nervoso, utilizando impulsos eléctricos que atravessam os nervos para imobilizar outros seres vivos, poderia ser exactamente o que esta espécie precisava. Sob a perspectiva darwinista, os indivíduos que privilegiassem esse uso e/ou tivessem nervos mais desenvolvidos e junto à superfície corporal, seriam os mais aptos dadas as condições do meio ambiente (pois poderiam defender-se mais facilmente) e originariam mais descendência, verificando-se reprodução diferencial. Todas estas diferenças, observadas agora à luz do Neodarwinismo, resultariam da variabilidade intra-específica, fruto de mutações e da recombinação genética, que são inegavelmente fulcrais para a evolução das espécies.

Hoje em dia, as enguias eléctricas possuem vários órgãos que produzem electricidade, constituindo estes praticamente 80% do corpo de cada indivíduo. Tais potencialidades permitem a estes peixes afugentarem os seus inimigos, caçarem mais eficazmente e até comunicarem com outros da sua espécie. Estes animais são extraordinários, ao ponto das suas descargas eléctricas poderem revelar-se fatais mesmo para humanos. Capacidades extraordinárias são variações de mecanismos pré-existent, inicialmente mais simples e que de forma gradual deram origem às mais fantásticas características que contribuem para a enorme biodiversidade que nos rodeia. Muito há que agradecer aos cientistas que contribuíram e aos que ainda hoje contribuem para o conhecimento do nosso mundo, pois dessa forma também o Homem terá a oportunidade de se conhecer a si próprio.

Por Brian Urbano Alonso,

Faculdade de Ciências, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)

Um dos aspectos mais interessantes da teoria da evolução é a simplicidade dos seus princípios. Para explicar o caso das enguias precisamos explicar primeiro a variação entre indivíduos e a sobrevivência diferencial entre eles. Podemos usar como exemplo os mamíferos, embora os princípios se apliquem a todas as espécies. É importante realçar que os fenómenos adquirem importância evolutiva quando ocorrem em vários indivíduos de uma população. Alguns mamíferos podem ter várias crias ao mesmo tempo (ninhada). Alguns cachorros da ninhada podem ser maiores que outros, ganir de maneira diferente, ter melhor olfacto e encontrar mais rapidamente a sua mãe, para se alimentarem; tudo isto pode fazer com que alguns tenham maiores probabilidades de sobreviver e que outros morram. Esta sobrevivência desigual mantém-se ao longo da sua vida; quando os cachorros crescem, vão persistir aqueles que se conseguem esconder dos seus predadores, caçar mais presas ou resistir ao tempo. Algumas das características que herdaram dos seus pais permitem-lhes sobreviver mais saudáveis, para se conseguirem reproduzir e ter filhos. Então, a característica vantajosa pode passar de uma geração à seguinte. Quando as características assim transmitidas dão vantagem aos indivíduos que as têm, diz-se que é uma adaptação. É importante realçar que há várias características nos organismos que não são adaptações. Algumas características podem ser adaptações do passado, mas nem todas têm ou tiveram uma função adaptativa. As plantas precisam de luz para viver e a maioria é verde; o que acontece é que a forma como a maioria das plantas absorve a luz solar faz com que as vejamos verdes mas se fossem de outra cor e pudessem aproveitar a energia solar, sobreviveriam. A cor verde não é uma adaptação mas sim uma consequência de outro processo.

A electricidade é uma forma de energia amplamente usada pelos seres vivos. Usamo-la para muitas coisas: impulsos nervosos, movimento dos músculos e controlo da membrana celular. O movimento de soluções com cargas positivas e negativas através dos poros das membranas pode gerar electricidade. Quando este movimento ocorre em muitas células e estas actuam em conjunto, o movimento destas soluções pode gerar uma tensão, tal como a que mantém o nosso coração a bater. A capacidade de gerar e utilizar electricidade é denominada de electropcepção e actualmente conhecem-se cerca de 500 espécies de peixes que têm capacidade de gerar descargas eléctricas de forma contínua e/ou produzir uma única descarga de grande potência. Esta capacidade dos peixes de gerarem electricidade é uma adaptação e sabemos-lo porque aumenta a capacidade de sobrevivência e reprodução dos seus portadores. Os impulsos eléctricos dos peixes podem ser usados para vários fins: detectar predadores, presas, companheiros ou como sistema de localização em águas turvas.

O peixe eléctrico mais conhecido é *Electroporus electricus* (Linnaeus, 1766) ou enguia eléctrica. Na verdade, não é uma enguia; este peixe pertence à família Gymnotidae, ou aos chamados peixes gimnotos, mas devido à sua forma alongada são chamados de enguias. É um peixe que tem pulmões em vez de brânquias e precisa ir constantemente à superfície respirar. A espécie ocorre apenas na América do Sul (nos rios Amazonas e Orinoco), embora haja espécies

relacionadas que vivem em toda a América. Este animal pode gerar descargas de até 500 Volts (V) mas há registos de descargas de 2 000V, só que apenas em condições laboratoriais (para teres uma ideia, os aparelhos eléctricos que temos em casa podem estar ligados a uma linha de 110 ou 220V, dependendo do país onde vivemos).

A capacidade de gerar esta quantidade de energia vem de um tecido de origem muscular distribuído ao longo de toda a parte ventral da enguia e que se chama órgão eléctrico. Neste caso, os indivíduos que teriam este tipo de tecido sobreviveram mais e tiveram mais filhos que os indivíduos que não o tinham ou tinham-no em baixa proporção. Ao longo das gerações, algumas populações completas geravam energia, de tal maneira que agora encontramos essa característica em qualquer indivíduo da espécie, embora seguramente continue a existir variação entre eles (é assim que funciona a selecção natural). As espécies de peixes próximas desta família geram cargas de energia diferentes. Em alguns sítios, os que têm descargas mais fortes podem sobreviver menos que os que têm descargas fracas, pois as condições nas quais algumas características são melhores ou piores para a sobrevivência dependem da diferença que há entre os indivíduos e o meio ambiente onde vivem. Tudo depende do que designamos de pressão selectiva (neste caso, qualquer coisa que permitiu que a capacidade de gerar electricidade resultasse numa vantagem; por exemplo, defesa contra predadores, sinais para potenciais companheiros em águas turvas ou caçar presas rapidamente). Os organismos que tinham um órgão eléctrico maior tinham uma maior probabilidade de sobrevivência e as suas características foram herdadas pelas gerações seguintes. Assim, este parece ser um caso típico de selecção natural positiva. A questão é que, usando somente a variação entre indivíduos e a sobrevivência diferencial, podemos explicar o aparecimento de muitas características complexas, como o caso do órgão eléctrico, que permite às enguias gerar poderosas descargas eléctricas.

CAPÍTULO 15: EVOLUÇÃO DOS INSECTOS

Porque é que os insectos diminuíram de tamanho?

Por Luís David Trevino Olvera, 7º ano, Colégio Marymount

Há 400 milhões de anos apareceram os primeiros insectos; no período Pérmico existiam insectos que chegavam a medir 40 e 75cm. O que levou a que os insectos diminuíssem de tamanho? Crê-se que os insectos foram diminuindo de tamanho pouco a pouco por duas razões: em primeiro lugar por falta de oxigénio. Antes, o oxigénio presente na atmosfera era de cerca de 30% e os insectos tinham um tamanho grande. Os cientistas propuseram que a diminuição do oxigénio na atmosfera até aos níveis actuais, de apenas 21%, provocou a drástica diminuição em tamanho dos insectos. Outra teoria propõe que o aparecimento das aves, cujo principal alimento eram os insectos, fez com que estes fossem obrigados a ter mais agilidade para não serem agarrados e devorados pelas aves. Embora ambas as hipóteses sejam possíveis nenhuma das duas foi confirmadas. Até agora, a hipótese mais provável é aquela segundo a qual os insectos diminuíram de tamanho por terem de sobreviver às aves, então não completamente adaptadas; ao diminuir de tamanho era mais fácil esconderem-se. No entanto, a outra teoria também poderá estar correcta, porque com a estimativa do oxigénio que havia naquele tempo aperceberam-se que o oxigénio diminuiu 9% e os insectos necessitam oxigénio, tal como nós, e, ao diminuir o oxigénio na atmosfera devido ao aumento de seres vivos na Terra, os insectos foram obrigados a diminuir o seu tamanho para sobreviver.

Então, com base na explicação anterior, creio que a hipótese mais razoável é a que diz que os insectos diminuíram de tamanho por causa das aves. Explicarei porquê: eu penso que esta é a teoria correcta porque os animais se adaptam para sobreviver e isso foi o que fizeram para adaptar-se; ao diminuir de tamanho, porque isso os tornava mais rápidos e podiam esconder-se mais facilmente

dos seus predadores (aves), isso fez com que as aves também mudassem as técnicas de apanhar os insectos, mas os insectos também encontraram lugares pouco acessíveis como dentro de árvores, talvez sob o solo, etc.

Por Ângela M. Ribeiro,

*Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR/CIMAR),
Universidade do Porto*

Há cerca de 300 milhões de anos (MA), nos períodos Carbonífero inferior e Permiano superior, o planeta Terra tinha habitantes excepcionais: insectos gigantes. Os insectos, durante a sua história evolutiva (o mais antigo fóssil data do Devoniano médio), alcançaram tamanhos dez vezes superiores aos registados actualmente. Por exemplo, a evidência fóssil mostra que algumas libélulas tiveram uma envergadura de asas de cerca de 70 cm, comparável com a do peneireiro comum (*Falco tinnunculus*) ou, de uma forma mais imediata, o tamanho de três palmos de um adulto.

O tamanho corporal é uma das características dos animais que mais tem fascinado os biólogos, como se pode constatar num artigo publicado em 1926 por Haldane. Mais especificamente, quais os motivos pelos quais os insectos que um dia foram gigantes, relativamente às proporções actuais, decresceram de tamanho é uma questão que tem intrigado os biólogos evolutivos há décadas. O argumento mais utilizado para explicar este padrão atribui o tamanho gigante às condições de hiperóxia da paleo-atmosfera (ver, por exemplo, o trabalho desenvolvido por Harrison e colaboradores). Estima-se que a quantidade de oxigénio na atmosfera seria 30 – 50% superior do que actualmente, o que por consequência teria tornado a atmosfera hiperdensa. O mecanismo de respiração nos insectos é controlado activamente. Ao contrário dos vertebrados, em que o sangue transporta o oxigénio desde os pulmões para os tecidos, os insectos têm um sistema circulatório aberto, e portanto o oxigénio necessário para o metabolismo celular é canalizado directamente para os tecidos por uma complexa rede de túbulos: as traqueias. A demanda energética, e logo de oxigénio, dum insecto gigante seria elevada, e só suprida em condições de hiperóxia. Concomitantemente, a atmosfera hiperdensa facilitava a aerodinâmica dos insectos alados, ou seja, fazia com que o gasto energético associado ao voo fosse menor.

Embora os insectos adultos sejam terrestres, muitos deles passam por uma fase larvar aquática em que a respiração é feita por difusão através da cutícula, sem que haja um controlo activo do influxo de oxigénio. Embora seja essencial à vida, o oxigénio em elevadas quantidades pode tornar-se nocivo. Tal como a atmosfera, também o meio aquático pré-histórico teria uma elevada concentração de oxigénio. Portanto, se durante a ontogenia dos insectos primitivos houve uma fase larvar, um possível mecanismo para controlar a toxicidade causada por este gás seria aumentar de tamanho de forma a que a razão área/volume corporal decresça e logo diminuísse o movimento passivo de oxigénio o que implicaria um aumento de tamanho do insecto adulto.

Para além de propostas conceptuais, perceber de que forma é que a variação na concentração de oxigénio afecta o tamanho dos organismos implica a implementação de testes formais; ou seja, testes que envolvem a manutenção de insectos em sistema fechado, permitindo a manipulação das concentrações de oxigénio durante várias gerações e medindo o tamanho corporal. Embora escassas, estas experiências mostram que a variação na concentração de oxigénio afecta a taxa de metabolismo, taxa de crescimento, stress oxidativo e o tempo de desenvolvimento e têm, assim, contribuído para o desenvolvimento de um modelo sobre como o factor abiótico “concentração de oxigénio” pode ter de facto afectado a evolução do tamanho dos insectos. A hipótese abiótica “concentração de oxigénio” foi recentemente colocada em causa por Clapham e Karr. Os autores compilaram dados sobre o tamanho das asas dos insectos (mais de 10 500 asas de insectos fossilizados) para testar a correlação entre os níveis de oxigénio atmosférico e o tamanho dos insectos ao longo da história evolutiva destes animais. Este trabalho denota que o tamanho máximo dos insectos e a variação do oxigénio atmosférico estão correlacionados até ao final do Período do Jurássico, cerca de 140 - 130 MA atrás. Pese embora a atmosfera continuasse hiperóxida, a partir do Cretácico inferior essa correlação foi quebrada: o tamanho dos insectos começou a diminuir. Outra inversão na tendência de tamanho verificou-se no final do período Cretáceo (90 MA a 60 MA atrás). Portanto, a hipótese “disponibilidade de oxigénio” deixa de ser suficiente para explicar a drástica redução de tamanho observada nos insectos. É interessante notar que os períodos acima referidos coincidem com dois marcos importantes na evolução das aves: primeiro, o aparecimento das linhagens basais (por exemplo: a primeira ave, *Archaeopteryx*, data de 150 MA) e, segundo, a radiação das Neoaves (isto é, aves modernas excepto Galliformes e Anseriformes) e dos Passeriformes. Para além da radiação das aves modernas, também a evolução dos morcegos (há cerca de 70 MA) pode ter sido relevante na redução de tamanho dos insectos.

Os elevados níveis de oxigénio no Mesozóico tardio teriam facilitado a aerodinâmica e performance do metabolismo energético nas aves ancestrais. Os insectos gigantes tiveram que enfrentar competidores com um tamanho e manobrabilidade sem precedente. As aves vieram ocupar os nichos ecológicos até então exclusivos dos insectos, ocasionando a deslocação de nicho. Mais ainda, é possível que as aves e os morcegos, tal como acontece na actualidade, tenham sido predadores de insectos. Os insectos com menor tamanho teriam uma maior facilidade para se evadir dos predadores alados que passaram a ocupar os céus a partir do Jurássico superior. O aumento da concentração de oxigénio terá determinado a frequência de fenótipos particulares através de mecanismos fisiológicos e biomecânicos; todavia, para entendermos porque é que o tamanho dos insectos decresceu teremos não só que considerar o factor abiótico “concentração de oxigénio atmosférico” mas também os factores bióticos “competição e predação”. Responder à questão “porque é que os insectos diminuíram de tamanho?” requer a integração de conhecimentos de paleontologia, geologia, ecologia, fisiologia e evolução. Só assim poderemos entender os mecanismos por trás deste padrão biológico, e concomitantemente vislumbrar os motivos da diversidade de tamanhos que podemos observar na fauna actual.

CAPÍTULO 16: EVOLUÇÃO DO CAVALO

Como nos apercebemos que os cavalos evoluíram?

Por Carolina Borja Valarde, 7º ano, Colégio Marymount

Os primeiros equídeos teriam quatro dedos em cada extremidade dos seus membros anteriores, e apenas três nas extremidades dos posteriores. Depois da evolução, o número de dedos que apoiavam no solo, ao longo dos anos, foi-se reduzindo a três, depois a dois, até que chegou ao casco único, que é o que o cavalo actual tem. Igualmente, os primeiros cavalos teriam o tamanho de um cordeiro, e vários dedos em cada pé. O *Anchitheriinae* foi o primeiro a aparecer na Europa. O seu pescoço era mais largo que o dos cavalos actuais. A espécie evoluiu (especialmente na América do Norte) e tornou-se maior e mais adaptada à corrida. Teriam dentes adaptados a alimentar-se de folhas tenras.

Há aproximadamente 30 milhões de anos o clima alterou-se e afectou os dedos, verificando-se uma redução progressiva do número de dedos. A almofada plantar desaparece para dar lugar a um único casco sólido. Ao mesmo tempo, o tamanho e a potência dos cavalos também aumentaram. Adicionalmente, os seus dentes adaptaram-se a uma nova dieta: ervas rijas.

Por Rita Campos,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

Respondendo directamente à pergunta formulada pela Carolina, mas tornando-a mais geral, apercebemo-nos que os seres vivos evoluíram observando várias pistas. Estas pistas são tão diversas como o registo fóssil, o ADN, a fisiologia, a anatomia, o comportamento ou a distribuição geográfica dos organismos ao longo da história da Terra. Foquemo-nos nos dois primeiros tipos de pistas: o registo fóssil e o ADN. E o que é o registo fóssil? São ossos, sementes, impressões de folhas ou esqueletos ou outros vestígios de organismos que viveram na Terra. Datando correctamente os vestígios ou o substrato onde esses vestígios se encontram

e comparando-os com outros vestígios podemos reconstruir a história evolutiva das formas de vida que existem e já existiram no nosso planeta. E o ADN? O ADN é por vezes designado como o “livro de instruções” dos seres vivos. Hoje sabemos que estas instruções não são tão simples e lineares como, por exemplo, as instruções para fazer aquele bolo de chocolate delicioso que comíamos em casa da avó. Mas para responder a esta pergunta podemos considerar que o ADN é uma sequência de bases nucleotídicas (o alfabeto do ADN apenas tem quatro letras: A, C, G e T) que codificam uma grande variedade de funções e que são partilhadas por todos os seres vivos. E porque é que o ADN é importante no estudo da evolução das espécies? Porque, por exemplo, comparando sequências de dois organismos podemos ver qual o grau de semelhança entre elas, ou seja, se têm as mesmas bases colocadas nas mesmas posições. Se encontrarmos muitas semelhanças, concluímos que esses dois organismos partilharam um ancestral há pouco tempo; se, pelo contrário, encontrarmos uma grande percentagem de diferenças, então podemos concluir que o ancestral comum entre esses dois organismos é muito antigo. Ou seja, podemos calcular o grau de parentesco entre os organismos e desenhar a sua “árvore genealógica” (que, neste caso, chamamos “árvore filogenética”). Este tipo de comparações também permite estimar o tempo que passou desde que duas linhagens se separaram do seu ancestral comum mais recente.

E então, o que sabemos sobre a evolução dos cavalos? Felizmente, porque o registo fóssil deste grupo de animais é muito rico, sabemos muito. Começamos por contextualizar o cavalo na árvore da vida. Os cavalos pertencem à ordem dos Perissodáctilos, que significa “dedos dos pés ímpares” (talvez não tenha sido por acaso que a Carolina iniciou a sua resposta referindo-se à evolução dos dedos dos pés!), e à família Equidae. Embora actualmente só exista um género, *Equus*, há dados que indicam que no passado esta família foi muito diversa. Assim, na árvore filogenética dos equídeos encontramos muitos ramos no passado mas apenas sete na actualidade, correspondentes às sete espécies do género *Equus* que existem actualmente. E que passado é esse? Bom, os dados mais recentes, obtidos a partir de ADN recuperado de um osso de um cavalo que viveu no Pleistoceno médio (há cerca de 560 - 780 mil anos) e da comparação deste com cinco raças de cavalos, duas outras espécies de equídeos actuais e de um cavalo do Pleistoceno tardio (43 mil anos), indica que os primeiros organismos do género *Equus* apareceram há cerca de 4 - 5 milhões de anos (MA). Através deste estudo ficámos também a saber que as populações de cavalos selvagens e domésticas divergiram há cerca de 38 - 72 mil anos, que a única linhagem selvagem actual é o cavalo-de-przewalski (*Equus ferus przewalskii*) e que os períodos de grandes oscilações climáticas dos últimos 2 MA terão influenciado as populações de cavalos, que sofreram grandes flutuações no número de indivíduos.

Mas este ancestral comum dos cavalos, zebras e burros actuais é apenas uma das várias linhagens de equídeos que se conhecem. Como dito em cima, o rico registo fóssil deste grupo permitiu reconstruir a sua história evolutiva, que começou na América do Norte, no Eoceno (há cerca de 55 MA), com um animal do tamanho de um cão de médio porte designado de *Hyracotherium*. Este ancestral comum dos equídeos vivia na floresta e tinha quatro dedos nas patas dianteiras e três nas traseiras. No final do Eoceno, há cerca de 40 MA, apareceram linhagens de equídeos um pouco maiores e com três dedos nas quatro patas, classificadas como pertencentes ao género *Mesohippus*. Mas é no Mioceno, há cerca de 15 - 20 MA, que

se observa a maior diversificação deste grupo de mamíferos, que passaram de um conjunto relativamente homogêneo de indivíduos que se alimentavam de folhas para uma grande variedade de formas, quer nas proporções do corpo, quer na morfologia dos dentes. No entanto, o aparecimento de algumas características comuns a estas novas linhagens de equídeos, nomeadamente os dentes mais robustos e o dedo do meio aumentado, estará relacionado com grandes alterações climáticas. O clima quente do início do Eoceno que favoreceu o desenvolvimento de florestas tropicais na América do Norte deu lugar a um clima temperado, levando ao aumento das áreas cobertas por ervas, as pradarias norte-americanas, ideais para animais adaptados a pastar e a conseguir correr rapidamente, caso aparecesse algum predador. Há cerca de 9 MA já não havia vestígios da floresta tropical e quase todas as espécies de equídeos que habitavam este tipo de ecossistema haviam desaparecido.

A grande diversificação de géneros (mais de 12, no final do Mioceno, há cerca de 5 MA) e espécies verificada durante o Mioceno foi também acompanhada por uma expansão geográfica, a partir da América do Norte; a colonização da Ásia terá começado pela Beríngia e, a partir daí, as populações de cavalos dispersaram pela Europa, Médio Oriente e África. Há cerca de 10 mil anos os cavalos selvagens extinguiram-se na América do Norte, sobrevivendo apenas nas grandes planícies asiáticas. Como vimos anteriormente, o único descendente selvagem destes sobreviventes é o cavalo-de-przewalski mas tanto as populações ferais da América do Norte como as raças domésticas partilham um mesmo ancestral. Todos estes equídeos têm o dedo intermédio transformado em casco; no entanto, os dedos laterais, vestígios dos antepassados com três e quatro dedos, mantêm-se no seu esqueleto.

CAPÍTULO 17: EVOLUÇÃO DAS BALEIAS

De onde vêm as baleias?

*Por Mariana Valente e Torres, 7º ano, Escola EB –
2,3 da Agrela*

A compreensão deste processo começou a ser esclarecida a partir de estudos de fósseis realizados na Ásia (Paquistão) em 1978. Aí, foram descobertas rochas datadas com cerca de 50 milhões de anos, com um crânio fóssil que após análise mostrou ser de um mamífero terrestre, carnívoro, que vivia

na margem dos rios. Este animal foi chamado de *Pakicetus*. Baseado em estudos paleontológicos, sabe-se que *Pakicetus* viveu numa época conturbada na região durante um período de aquecimento da Terra, com o degelo das calotes polares e aumento do nível do mar, o que diminuiu a área terrestre e aumentou a marinha. Assim, muitas espécies terrestres ter-se-ão extinguido e outras ter-se-ão adaptado à água.

Especula-se que talvez *Pakicetus* tenha nesta época começado a explorar o meio aquático, de forma esporádica, à procura de alimento, locomovendo-se de forma desajeitada, tipo “cão”. A análise detalhada do crânio de *Pakicetus* mostrou semelhanças de alguns ossos da região do ouvido com os ossos do ouvido de baleias e golfinhos. Esta semelhança foi interpretada com uma forte evidência científica da evolução dos cetáceos (baleias e golfinhos) a partir de mamíferos terrestres! Em 1992, a descoberta, no Paquistão, de um fóssil em sedimentos marinhos de 48 milhões de anos contribuiu para a teoria da evolução das baleias a partir de mamíferos terrestres. Foi descoberto um fóssil completo, de um animal semelhante a baleias, mas com grandes patas e articulações móveis que sugeriram capacidade de sustentar a locomoção terrestre. Este animal foi chamado de *Ambulocetus natans* (baleia que anda e nada). Nos anos seguintes, várias outras descobertas fósseis foram feitas. Salienta-se o *Rhodhocetus*, encontrado também no Paquistão, em sedimentos marinhos, cuja análise das patas mostrou semelhanças significativas da articulação dos seus tornozelos com a articulação do tornozelo dos artiodáctilos, como o hipopótamo, contribuindo para a teoria da origem artiodáctila das baleias.

Do exposto, podemos concluir que as baleias tiveram origem num mamífero terrestre, que evoluiu até ao *Rhodhocetus*, que supostamente é um ancestral dos cetáceos (baleias) e que, com muita facilidade, podemos dizer que o hipopótamo é um bom candidato a “parente” próximo das baleias! É que, apesar de ser um parente próximo dos mamíferos terrestres, é tão aquático quanto é possível um mamífero terrestre ser.

Por Emiliano Rodríguez Mega,

Instituto de Ecología, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)

Querida Mariana:

Que boa investigação sobre a evolução das baleias! Conforme mencionas, há 50 milhões de anos (MA) apareceram os primeiros ancestrais dos cetáceos actuais – o grupo que engloba as baleias e os golfinhos – nas margens do mar de Tétis, uma enorme massa de água que se formou quando a Pangeia, uma enorme massa continental, se começou a fragmentar. Estes ancestrais de hábitos anfíbios, cujos representantes incluem fósseis como *Pakicetus* e *Ambulocetus*, caminhavam e banhavam-se nas margens da água nas suas quatro patas. Na verdade, é provável que alguns deles fossem marinhos mas reproduziam-se em terra firme, como fazem actualmente as focas, morsas e lobos marinhos. Desde há cerca de 20 anos, e através de evidências genéticas, se sabe que estes animais descendem dos artiodáctilos – um grupo que inclui veados, vacas, girafas, camelos e muitos outros organismos – e são particularmente próximos dos hipopótamos. No entanto, os hipopótamos que agora podemos ver nos zoológicos originaram-se há apenas 15 MA: 35 MA depois dos cetáceos! Assim parece ser difícil afirmar que estes rechonchudos animais são os parentes mais próximos das baleias; mas na verdade oferecem-nos uma imagem aproximada de como terão sido os primeiros cetáceos.

Como bem afirmas, a origem dos cetáceos estará associada à alteração da sua dieta e não à sua entrada na água, como muitos pensam. Isto é algo que se sabe pelas diferenças na dentição entre os cetáceos ancestrais e os actuais, e pelo facto de alguns artiodáctilos terem também sido aquáticos (como os Raoellidae). Daqui evoluíram dois grupos de cetáceos que até hoje continuam a explorar as águas dos nossos oceanos: os odontocetos e os mysticetos. A principal diferença entre ambos é a presença de dentes nos odontocetos, que lhes permitem alimentar-se de diferentes tipos de peixes ou lulas, e de barbas nos mysticetos, que os ajudam a filtrar a água que entra na sua boca para se alimentarem dos organismos microscópicos que formam o plâncton marinho. Talvez os melhores representantes dos odontocetos sejam os cachalotes e os golfinhos; por seu lado, os mysticetos incluem a baleia-franca e a baleia-da-gronelândia.

No entanto, muitas outras adaptações contribuíram para que os cetáceos conseguissem colonizar os mares. Enumero as cinco mais importantes:

1. O seu corpo é alongado, como um submarino (ou seja, têm corpos fusiformes), o que lhes permite deslocar-se mais facilmente em meio aquático.
2. Têm um corpo grande, podendo acumular grandes quantidades de gordura a partir da qual obtêm energia e água; além disso, como não têm o corpo revestido por pêlos como os restantes mamíferos, os cetáceos dependem da sua gordura para não perder calor.
3. Como os rins são os principais órgãos que regulam a água e os sais no corpo, os cetáceos apresentam modificações nestes órgãos que lhes permitem viver em ambientes salinos.
4. Os cetáceos podem armazenar grandes quantidades de oxigénio no sangue e tecidos, podendo por isso mergulhar durante longos períodos de tempo antes de precisar de respirar novamente.
5. Os odontocetos desenvolveram uma grande capacidade de ecolocalização que lhes per-

mite localizar e capturar as suas presas; isto é, emitem sons que lhes dão informação sobre o ambiente que os rodeia; além disso, a audição dos cetáceos está muito mais desenvolvida que noutros mamíferos.

Este tipo de adaptações são importantes para a biologia dos cetáceos mas também têm sido uma fonte de fascinação para nós, os humanos. Tanto que, desde há muitos anos, diferentes culturas se têm inspirado na beleza e mistério destes animais. Conservá-los é uma medida com carácter de urgência, não só pelo seu importante papel nos ecossistemas aquáticos mas também para proteger a sua história evolutiva e, de alguma forma, a nossa própria história.

CAPÍTULO 18: "FÓSSEIS VIVOS"

.....

Será que todos os seres vivos evoluíram?

Por Gabriela Moreira dos Santos, 7º ano, Escola EB – 2,3 da Agrela

Existem várias espécies de animais, e até plantas, que não evoluíram e uma delas é o *Limulus polyphemus*, comumente conhecido como caranguejo-ferradura ou límulo. Este ser é um artrópode marinho, muito relacionado com os escorpiões que hoje podemos encontrar no Golfo do México. O límulo surgiu na era Mesozóica (mais ou menos há 400 milhões de anos (MA) - 300 MA) e manteve-se inalterado desde o primeiro registo fóssil, segundo estudos realizados. Por que será que esta espécie não evoluiu? Só há uma explicação - o límulo não teve motivos para evoluir! O límulo não precisou de mudar de ambiente, nem de alterar o seu corpo, ou alterar as suas características para viver melhor. Ele sempre apresentou um excelente "design"! Os cientistas dizem que este animal atingiu o seu máximo de evolução, estase. Veja-se, o límulo possui uma ampla carapaça que impedia e impede o ataque de vários predadores. O límulo suporta grandes variações de salinidade e de temperatura e pode sobreviver meses sem

alimento. Estes são sem dúvida aspectos que evidenciam as características adaptativas e excelentes deste ser vivo. O límulo é assim um exemplo de um ser que não sofreu alterações ao longo dos tempos, contrariando a ideia de que todos os seres evoluíram. Ao límulo e a estes seres que permaneceram iguais ao longo dos tempos já ouvimos chamar “fósseis vivos” e até o grande senhor defensor da teoria da evolução das espécies falava neles: “Fósseis vivos... formas anómalas. (que) têm vivido até os dias actuais, por terem habitado uma área limitada, e de, assim, ter sido exposto à concorrência menos grave...” (Darwin 1859). Considerando os “fósseis vivos” como os organismos que sobreviveram por um considerável tempo sem sofrer mudanças morfológicas significativas, tendo chegando até nós tal como eram, há muitos cientistas que contestam essa expressão. Mas como podemos ou devemos nós chamar a estes seres que existem sob a forma fóssil e existem, hoje, tal e qual como eram, desde há milhões de anos? Não me parece que estejamos a cometer um grave erro ao designá-los de “fósseis vivos”! Darwin chamava-lhes “formas anómalas”. Hoje chamamos-lhes “fósseis vivos”. Ninguém se lembrou de os designar, por exemplo, de “seres evoluídos”? Parece-me que esta expressão seria muito bem atribuída pois esses seres revelam um grau de evolução muito acentuado, daí a sua não necessidade de evoluir mais.

Por Rita Campos,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

Comecemos por rever sobre o que falamos quando falamos de evolução (biológica). Adaptando a definição de Darwin, “descendência com modificação”, evolução é a alteração das características das populações ao longo das gerações. Os mecanismos que promovem essas alterações são a selecção natural, a selecção sexual e a deriva génica; a entrada de novos variantes na população deve-se essencialmente à mutação e à recombinação. Os mecanismos evolutivos actuam sobre a variação que existe na população, fazendo com que determinados variantes aumentem ou diminuam de frequência ou que sejam mesmo eliminados dessa população. Nesse caso, poderá uma população não evoluir? Sim, claro, desde que, ao longo das gerações (ou seja, ao longo de uma escala temporal), não se observe qualquer variação nas suas características! Então, para que isso aconteça, é preciso que não haja entrada de novos

variantes na população - não há mutação nem recombinação - ou, se houver, terão que ser rapidamente eliminados, nem que haja flutuações nas frequências dos variantes que já existem. E, graças ao trabalho de alguns matemáticos, sabemos em que condições isso pode ocorrer; por exemplo, se a população for muito (mas mesmo muito!) grande. Ou seja, em teoria sabemos em que condições as populações não evoluem mas a verdade é que essas condições dificilmente ocorrem na natureza.

A Gabriela refere um exemplo de uma espécie que não evoluiu, o límulo (*Limulus polyphemus*), chamando-a de “fóssil vivo”. Correctamente, atribui a designação a Darwin que, no entanto, não terá sido tão assertivo como parece, pelo breve excerto transcrito. O que Darwin efectivamente escreveu, no capítulo IV d'A origem das espécies (“Seleccção natural ou a sobrevivência do mais apto; Circunstâncias favoráveis à produção de novas formas por selecção natural”), foi: “... e em água doce encontramos algumas das formas mais anómalas agora conhecidas no mundo, como o *Ornithorhynchus* e *Lepidosiren*, que, tal como os fósseis, ligam, até certo ponto, ordens que actualmente se encontram muito separadas na escala natural. Estas formas anómalas quase podem ser designadas fósseis vivos; elas terão resistido até ao presente pelo facto de terem habitado áreas confinadas e por terem estado expostas a uma competição menos variada, e por isso menos severa.” Darwin faz apenas uma referência breve a tal designação, que acabou por se popularizar e passou a ser usada para identificar organismos que pertenceram a um grupo muito diversificado no passado mas que no presente são o único representante desse grupo e que são praticamente idênticos a fósseis desses grupos, ou seja, passaram longos períodos evolutivos sem sofrer alterações, sem “evoluir”. No entanto, esta semelhança entre fósseis e “fósseis vivos” é apenas aparente.

Na verdade, ao contrário do que a Gabriela afirma, não é nada fácil encontrar na literatura científica exemplos de animais ou plantas que não evoluíram. Pelo contrário! O que se tem vindo a verificar é que organismos tidos como “fósseis vivos” não só são diferentes dos seus ancestrais fósseis como muitos são mesmo classificados noutra espécie ou género, tendo uma origem mais recente do que inicialmente se pensava. Um exemplo clássico do erro que é classificar organismos como “fósseis vivos” é o celacanto, um magnífico peixe que durante muito tempo foi apenas conhecido no registo fóssil; quando se encontraram os primeiros exemplares, verificou-se que eram quase iguais às formas fósseis, passando o celacanto a ser conhecido como um exemplo de “fóssil vivo”. Acontece que hoje sabemos que existem de facto diferenças entre os exemplares actuais e os do passado e que as populações actuais apresentam diferenças que nos permitem classificá-las como pertencentes a duas espécies diferentes: *Latimeria chalumnae* e *Latimeria menadoensis*. Quanto ao límulo, a história não é muito diferente. Vários estudos demonstram que há diferenças morfológicas entre as populações actuais e os achados fósseis e que as populações actuais apresentam também diferenças, nomeadamente na sua morfologia e composição genética. Na verdade, as populações actuais apresentam níveis de diferenciação genética muito elevados. O que quer dizer que não só as populações actuais divergiram dos seus ancestrais como continuam a divergir umas das outras. São diferentes! Claro que para um olho mais destreinado parecem morfológicamente iguais. Mas talvez o mesmo olho destreinado não fosse capaz de distinguir um esqueleto de *Homo erectus* do de um *Homo sapiens*; ou o de um papa-formigas do de um porco-formigueiro. Por vezes,

a evolução ocorre através de mudanças pequenas num determinado plano corporal ou pela convergência de determinadas características quando as espécies, apesar de evolutivamente distantes, exploram nichos ecológicos muito idênticos.

Aos exemplos do límulo e do celacanto juntam-se muitos outros exemplos de organismos que foram erradamente designados de “fósseis vivos” mas que, tal como o límulo ou os celacantos, apresentam diferenças entre as populações actuais e entre as actuais e as espécies encontradas no registo fóssil. Alguns desses organismos são, por exemplo, o ginkgo (*Ginkgo biloba*), crustáceos do género *Triops* ou a tuatara (*Sphenodon punctatus*).

Por fim, resta corrigir o argumento final da Gabriela: se a designação “fóssil vivo” induz em erro e deveria ser evitada (ou mesmo banida), chamar a estes organismos “seres evoluídos” é mesmo errado. Porque a evolução não se mede em graus, não há “mais” nem “menos” evoluído ou evolução mais ou menos “acentuada”. Poderá haver populações ou espécies melhor adaptadas ao seu ambiente - e talvez o límulo e os seus ancestrais fósseis sejam um exemplo disso - mas nunca podemos medir a evolução como algo progressivo. Como vimos no início do texto, as populações evoluem porque há alterações nas suas características hereditárias e essas alterações não dependem da “necessidade” mas sim da existência de mutação e recombinação e dos efeitos dos mecanismos evolutivos.

CAPÍTULO 19: RELAÇÕES EVOLUTIVAS ENTRE HUMANOS E CHIMPANZÉS

Porque é que os homens são tão parecidos com os chimpanzés? (Teoria Neodarwinista)

Por Ana Luisa Vaz, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

Usualmente os chimpanzés são incorrectamente chamados de macacos, mas eles estão na família dos grandes símios, assim como nós. O Homem faz parte da superfamília de primatas chamada Hominoidea, que inclui somente grandes macacos, como o gibão (um símio do sudoeste asiático), o orangotango, o gorila e o chimpanzé. Em comum com o Homem, esses macacos têm porte desenvolvido, capacidade

de rotação do braço no ombro, ausência de rabo e certas características dentárias (32 dentes, molares com quatro pontas). Existem, porém, argumentos que provam estas semelhanças entre o Homem e estes grandes macacos, neste caso o chimpanzé.

O chimpanzé e o Homem partilham o mesmo ancestral, ou seja, ambos têm a mesma origem. Esta mesma origem pode ser explicada através da comparação feita entre o ADN das duas espécies, e as semelhanças são de 98%. Este valor pode ser comprovado pela hibridação do ADN, onde, comparando duas cadeias de ADN de espécies diferentes, quanto maior a percentagem de ligações entre as suas bases, maior o grau de parentesco entre os indivíduos. Uma das teorias propostas para a diferença entre estas duas espécies é os chimpanzés possuírem mais dois cromossomas que o Homem. Outro argumento que mostra as semelhanças entre o chimpanzé e o Homem é existir um fóssil de transição denominado por *Sahelanthropus tchadensis*, que é um fóssil que reúne características que hoje se encontram em grupos distintos, que prova a evolução divergente.

O chimpanzé e o Homem são espécies homólogas, visto que possuem o mesmo plano interno, mas podem divergir na forma que apresentam devido a terem sido seleccionadas por pressões ambientais diferentes. Isto comprova a evolução divergente, apesar do tempo de divergência entre as duas espécies ter sido pouco, visto que o seu grau de parentesco é elevado. É de facto surpreendente ver que apenas 2% de diferenças do ADN entre o Homem e o chimpanzé faz uma grande distinção na estrutura corporal e cerebral das duas espécies. Isto só prova o quanto a origem e a evolução das espécies são processos extremamente semelhantes.

Descendemos do chimpanzé?

Por Giancarlo Roldan Salas, 7º ano, Colégio Marymount

A explicação científica da evolução do Homem é que somos descendentes do chimpanzé. Há livros e revistas onde se diz que não descendemos do chimpanzé mas sim que temos um antepassado comum com eles; acredita-se que o antepassado comum foi um chimpanzé chamado Ardi, que viveu milhões

de anos antes de Lucy. Muitas pessoas perguntam-se o porquê de, se descendemos do chimpanzé, porque é que os chimpanzés não mudaram todos para humanos? Mas Darwin disse que nós somos os seus parentes biológicos, não os seus descendentes. Os chimpanzés e os humanos continuam a evoluir mas os chimpanzés nunca se transformarão em humanos. Uma diferença entre os humanos e os chimpanzés é que os chimpanzés têm 24 pares de cromossomas e os humanos apenas 23; esta é uma grande diferença pois uma perda teria um efeito muito grave.

Evolução ou criação? Há anos não se questionava a teoria de que todos os seres vivos foram criados por Deus mas surge Charles Darwin e, com a sua teoria da evolução, explicava perfeitamente a existência de vida na Terra. Por isso em minha opinião não descendemos deles, apenas temos parecenças com eles, e um ancestral comum.

.....

Se nós evoluímos dos macacos, porque é que eles ainda existem? Não deveriam ter sido eliminados pela selecção natural?

Por Pedro Alexandre Gonçalves Faria, 11º ano, Agrupamento de Escolas de Padre Benjamim Salgado

Em primeiro lugar, é errado dizer que nós evoluímos dos macacos, apenas temos um ancestral comum com eles, que evoluiu de formas diferentes, consoante as condições ambientais a que foi sujeito, uma vez que todos somos primatas. Este processo evolutivo de selecção pode ser explicado segundo a teoria reformulada de Darwin, o Neodarwinismo. Isto porque quando Darwin lançou a sua teoria não tinha conhecimento dos dados mais recentes sobre a genética, descobertos por Mendel, não conseguindo assim explicar qual a origem de diferentes características dentro da mesma espécie, que tornavam os seres vivos dessa mesma espécie mais aptos, relativamente a outras com características menos favoráveis num determinado meio, como é o caso das girafas de pescoço curto na savana, que acabaram por desaparecer. Darwin sabia apenas que essas características se transmitiam hereditariamente de umas gerações para as outras. A predominância de uma

determinada característica dentro de uma espécie era fruto do mecanismo de selecção natural, onde sobrevivem os mais aptos, como as girafas de pescoço longo que sobreviveram até hoje por conseguirem atingir os ramos mais altos das árvores na savana. Essa predominância poderia alterar ao longo do tempo se ocorressem alterações das condições impostas pelo ambiente.

Quando os mistérios da genética foram finalmente descobertos, conseguiu-se provar que essas características provinham de mutações que ocorriam ao nível do material genético, acabando por serem transmitidas para a descendência. Estavam assim explicadas as variações de características dentro das espécies. Além disso as condições que levaram às mutações não ocorreram em todos os ecossistemas onde se encontravam as populações de primatas. Ocorreram apenas em alguns ecossistemas impulsionando a evolução de algumas populações de primatas para os nossos ancestrais, os australopitecos, que como sabemos eram nómadas e se espalharam por todo o mundo. Em cada parte do mundo os nossos ancestrais foram enfrentando novas condições, que originaram novas mutações e que deram origem às variações que existem hoje no *Homo sapiens sapiens*, como os nórdicos, os africanos, os latinos, os asiáticos...

Os ancestrais comuns ao Homem e aos macacos que enfrentaram outras condições impostas pelo ambiente, que não eram iguais às que enfrentou o ancestral que divergiu para o Homem, evoluíram para outros seres vivos como os gorilas, os orangotangos, os chimpanzés e os macacos, que fazem parte da ordem dos primatas, tal como nós, *Homo sapiens sapiens*.

Por Rita Campos,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

É verdade que somos muitos parecidos com os chimpanzés porque, considerando todos os seres vivos, estes são os nossos parentes mais próximos. Se olharmos para uma representação da árvore da vida, a grande árvore evolutiva de todas as espécies do planeta, como se de uma árvore genealógica se tratasse, poderíamos até dizer que humanos (género *Homo*) e chimpanzés (género *Pan*) são irmãos. Nesse caso, o pai/mãe dos dois grupos seria uma espécie a partir da qual as duas linhagens separaram o seu trajecto evolutivo: uma das linhagens deu origem

aos humanos e a outra aos chimpanzés. Este pai/mãe é o que designamos de “mais recente ancestral comum”. Porquê especificar o “mais recente”? Porque todas as espécies estão ligadas por um ancestral comum - e este é um dos mais fascinantes aspectos da teoria da evolução, o facto de todos os seres vivos partilharem parte da sua história! - mas quando reconstituímos a história evolutiva de duas espécies (ou grupos de espécies) procuramos encontrar o ancestral comum mais recente, aquele que marca o ponto a partir do qual cada uma das espécies começou a evoluir de forma independente. Quanto mais próximas são as espécies, menos tempo decorreu desde que se separaram desse ancestral. Na analogia da árvore genealógica, o mais recente ancestral comum entre dois irmãos é o pai/mãe e entre dois primos é o avô/avó. Então, partilhamos mais características com os nossos irmãos do que com os nossos primos. E é pelo mesmo motivo que, em regra, somos mais parecidos com os nossos irmãos do que com os nossos primos.

Mas então quem é o mais recente ancestral comum entre humanos e chimpanzés? Não temos ainda a certeza. Dados genéticos e outras estimativas sugerem que este ancestral terá vivido entre 10 e 5 milhões de anos (MA) atrás e alguns achados fósseis, atribuídos ao que teriam sido os primeiros homínídeos, ajudam a reconstruir um pouco melhor a história evolutiva da linhagem dos humanos. Dois desses primatas foram referidos pela Ana Luisa e pelo Giancarlo nas suas respostas: *Sahelanthropus tchadensis* e *Ardipithecus ramidus*. A estes podemos acrescentar outros dois: *Orrorin tugenensis* e *Ardipithecus kadabba*. *Sahelanthropus tchadensis* (literalmente, homem do Sahel do Chade), que terá vivido na África ocidental há 7 - 6 MA, *Orrorin tugenensis*, que terá vivido na região onde hoje fica o Quênia entre 6 - 5,7 MA, e *Ardipithecus kadabba*, que terá vivido na actual Etiópia entre 5,8 - 5,2 MA, apresentavam já alguns traços comuns com o Homem, como o facto de já serem bípedes. O problema é que estes achados resumem-se a pouco mais que crânios, o que, naturalmente, limita uma análise mais aprofundada sobre estas espécies. Há inclusive algum debate sobre a classificação de *Sahelanthropus tchadensis* como homínídeo. Por outro lado, tal como tinha acontecido com Lucy, o mais bem conhecido exemplar de *Australopithecus afarensis* e que terá vivido em África há 3,2 MA, foi possível recuperar um exemplar de *Ardipithecus ramidus* quase completo. Este exemplar ficou conhecido como Ardi, uma fêmea que terá vivido há 4,4 MA na mesma região onde se encontraram os vestígios de *Ardipithecus kadabba*. Da análise detalhada de Ardi foi possível concluir que estes homínídeos apresentavam características próprias e não semelhantes aos grandes símios actuais. Isto veio contrariar a ideia de que os primeiros homínídeos seriam muito semelhantes aos grandes símios, o que terá provavelmente induzido em erro muitas pessoas, que leram erradamente nesta hipótese que se defendia que o Homem descende dos macacos. Estas novas evidências sugerem que o mais recente ancestral comum entre Homem e chimpanzé teria sido substancialmente diferente de qualquer outro primata actual.

Desde que a linhagem dos humanos divergiu da dos chimpanzés acumularam-se muitas alterações, que hoje se reflectem nas diferenças que encontramos entre os dois grupos. Uma dessas alterações foi no número de cromossomas, tal como referido nos textos anteriores: enquanto os chimpanzés (e outros primatas, como os gorilas) têm 24 pares de cromossomas, nós apenas temos 23. Mas então quer isso dizer que perdemos um cromossoma, uma porção tão grande de informação genética?! Não, na verdade o que aconteceu foi que, na linhagem

humana apenas, ocorreu uma fusão entre dois cromossomas. A sequenciação dos genomas de humanos, chimpanzés e gorilas permitiu comparar os diferentes cromossomas das três espécies e concluir que o nosso cromossoma 2 é o resultado da fusão de dois cromossomas que estão presentes nos outros primatas.

No seu conjunto, a descoberta destes hominídeos funcionou como uma potente lupa para o nosso passado. A possibilidade de todas estas espécies apresentarem já características compatíveis com o bipedismo, ainda que facultativo, levantou novas hipóteses sobre que forças selectivas terão actuado nos primeiros tempos da nossa evolução. Possivelmente, e ao contrário do que se pensava, não terá sido o ambiente mas sim a organização social destes nossos antepassados o principal motor da evolução. Ao facilitar a colheita de alimentos ou outros bens e os cuidados parentais, o bipedismo terá funcionado como uma vantagem reprodutiva, seleccionando os indivíduos com maior capacidade de caminhar com os dois pés.

CAPÍTULO 20: EVOLUÇÃO DO BIPEDISMO

Porque é que os seres humanos desenvolveram uma forma de movimento bípede?

Por Paula Bautista Salas, 7º ano, Instituto Cultural

Em primeiro lugar, para podermos responder à pergunta que acabámos de formular, é preciso explicar o que é uma forma de movimento bípede, o que nos ajudará a compreender a pergunta. A palavra “bípede” significa “em dois pés”, ou com dois suportes para nos transportarmos de um lugar para outro. Com isso percebemos que nós, os seres humanos, nos transportamos em duas pernas, ou de forma bípede. Continuando com o processo de resolução da nossa incógnita, explicamos que, ao longo do processo de evolução do Homem, houve várias etapas e que nem sempre os nossos ancestrais se movimentaram sobre duas pernas; então podemos pensar que houve algum factor que obrigou o Homem a levantar-se da posição que tinha e andar sobre as duas pernas.

Na altura em que ainda não se teria alterado a forma de movimentação dos humanos, varias espécies aparentadas connosco movimentavam-se apoiados nas quatro extremidades que tinham, eles e nós; naquela altura o essencial na vida dos nossos antepassados era alimentar-se e sobreviver, então podemos pensar que as espécies que dariam origem aos seres humanos viviam num ambiente onde, para conseguir alimentar-se satisfatoriamente, precisariam de um par de suportes com os quais poderiam manter os seus alimentos e instrumentos de caça. Antes de desenvolver os suportes (mãos) necessários para agarrar as coisas que contavam e precisavam para subsistir, utilizavam a única coisa com que o corpo contava para ser capaz de segurar os objectos, quer dizer, a boca. Como podemos imaginar, ao não poder segurar os objectos com as mãos, o crânio dos ancestrais devia ser especial para conseguir reter as coisas que necessitava na sua vida quotidiana. Mas isso seria pouco prático na hora de comunicar com os seus semelhantes, ou quando queriam comer mas tinham que manter os seus pertences. A forma que a cabeça tinha não permitia uma grande capacidade cerebral, o que representa a principal desvantagem de não saber nem conseguir segurar os objectos com as mãos. Foi então que a evolução actuou em benefício do Homem e o transformou de maneira a que as suas patas dianteiras tenham desenvolvido um polegar oponível, dando-lhes a enorme regalia de segurar as coisas, também com a vantagem de modificar a forma do crânio para uma maior evolução cerebral. Com estas vantagens o Homem orientou a sua postura e alcançou novos alimentos e lugares a que até então não tinha acesso.

Muito bem, já temos uma conclusão sobre o porquê da forma de caminhar dos humanos, mas agora encontramos-nos perante uma segunda dúvida: porque é que os símios (os nossos parentes evolutivamente mais próximos) não desenvolveram, pelo menos completamente, o caminhar em duas pernas? Poderíamos pensar que se os símios não mudaram de habitat no tempo da evolução, pois o seu pensamento não os obrigou a sair das selvas e lugares ancestrais onde se encontravam, e nestes lugares movimentarem-se nas duas pernas não é tão útil. Em certas ocasiões poderiam precisar caminhar em duas pernas, sobretudo para alcançar o seu alimento quando este é algo alto.

Porque é que os homens são bípedes?

Por Carolina Ramos, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

Segundo Darwin, o Homem tornou-se bípede com o intuito de disponibilizar as suas mãos para a construção de ferramentas. No entanto, as verdadeiras razões são muito mais abrangentes e específicas, como se pode comprovar de acordo com a Teoria Sintética da Evolução ou Neodarwinismo.

Há alguns milhões de anos, surgiram os macacos, que se sabe hoje que são os ancestrais comuns do Homem. Inicialmente, este ancestral comum deslocava-se sobre os seus quatro membros mas, ao longo do tempo, deparou-se com diversas dificuldades, entre elas, a obtenção de comida, a dissipação de calor, a necessidade de escapar aos predadores, entre outras, sendo que todas elas estão associadas à sua necessidade de sobrevivência. Era, portanto, necessária uma adaptação por parte dos indivíduos, sendo que esta se verificou na alteração do fundo genético da população, através de mutações e da recombinação genética, como se pode comprovar com dados da análise bioquímica da espécie. Estas alterações permitiram aos indivíduos desenvolver as suas capacidades de sobrevivência, tornando-os assim mais aptos. Acoplada a isto, a selecção natural foi a determinadora da prevalência das novas características no fundo genético da espécie, visto que apenas os mais aptos conseguiam sobreviver (sobrevivência diferencial), logo seriam os únicos a produzir descendência (reprodução diferencial), o que consequentemente levaria a que os novos indivíduos passassem a possuir as novas características.

Conclui-se então que os genes que prevalecem numa população são aqueles que a tornam mais apta às condições com que ela se depara, sendo a bipedia um exemplo disso. Por outro lado, os genes que têm o efeito contrário nessa população vão sendo eliminados do fundo genético, definindo assim a evolução.

Por Juan Carlos Zavala Olalde,

Faculdade de Ciências, Universidade Nacional Autónoma
do México (UNAM)

O bipedismo nos seres humanos é a sua capacidade de se movimentarem em ambos os membros inferiores, ou seja, de caminhar com as pernas. Quando perguntamos “porque é que os seres humanos são bípedes?” podemos estar a pensar apenas em *Homo sapiens*, espécie à qual pertencem todos os seres humanos. Então uma resposta rápida seria tão fácil como inútil, pois os indivíduos *Homo sapiens* são bípedes porque os seus ancestrais (de quem descendem) eram bípedes. Esta resposta não explica nada porque agora precisamos de perguntar porque é que os ancestrais dos humanos actuais começaram a ser bípedes. Vai inclusive surgir a questão de quando e como é que os ancestrais dos humanos começaram a ser bípedes. Para responder vou voltar atrás na nossa história evolutiva, indicando os ancestrais de *Homo sapiens* que se reconhecem como sendo bípedes.

O primeiro ancestral da nossa espécie que não é *Homo sapiens* e já era bípede é *Homo erectus*. No final do século XIX, na ilha de Java, René Dubois encontrou o que acertadamente pensou que deveria ser um ancestral do ser humano. O nome *erectus* significa que era bípede como nós. Assim, as questões que levantámos não ficaram respondidas neste momento. Como os *Homo erectus* viveram entre 1,8 milhões de anos (MA) e 500 mil anos, o primeiro ancestral bípede deverá ter sido mais antigo. Nos anos 20 do século XX, Raymond Dart descobriu em África um ancestral dos seres humanos com características tão primitivas que lhe chamou macaco africano do sul, ou seja, *Australopithecus africanus*. Não determinou se eram bípedes, mas pensou que poderiam representar uma etapa de transição entre deslocar-se em duas extremidades, como por vezes fazem os chimpanzés actuais, e ser bípede. Foi nos anos 70 do século XX que se obtiveram evidências para abordar o problema do bipedismo, com a descoberta de Lucy, uma *Australopithecus afarensis*. Os *Australopithecus afarensis* viveram entre cerca de 2,9 MA até cerca de 2,5 MA. Quando foram descobertos, eram os ancestrais mais antigos conhecidos dos seres humanos. *A. afarensis* teria o fémur articulado com a pélvis, indicando uma postura bípede. Além disso, a vértebra que liga a coluna vertebral ao crânio, ou seja o atlas com o *foramen magnum*, indicava também uma postura bípede. As evidências morfológicas eram contundentes e a elas juntou-se a descoberta das pegadas de Laetoli, atribuídas à caminhada de um casal de *Australopithecus*, uma evidência de que eram totalmente bípedes, como nós. Isto ocorreu há quase 4 MA. Os *Australopithecus* também tiveram ancestrais bípedes, os *Ardipithecus*. Ao contrário de todos os que foram referidos até agora, os *Ardipithecus* são considerados actualmente os primeiros bípedes obrigatórios, ou seja, antes deles também existiram ancestrais bípedes mas eram tão exímios desse modo como a trepar e a viver nas árvores usando os quatro membros. Esses ancestrais bípedes facultativos são conhecidos como *Sahelanthropus tchadensis* e *Orrorin tungenensis* e viveram entre 7 a 6 MA. Mas falemos dos mais antigos ancestrais dos seres humanos que foram bípedes, os *Ardipithecus*. Os *Ardipithecus* viveram entre 6 a 4 MA e são muito parecidos em aparência aos chimpanzés, mas eram bípedes. Como sabemos isto?

Em primeiro lugar, os *Ardipithecus* têm uma estrutura morfológica como a dos seus ancestrais que eram ocasionalmente bípedes e muito provavelmente quadrúpedes a maior parte do tempo. Isso quer dizer que tinham uma morfologia que lhes permitia deslocar-se de duas formas. Também devemos compreender esta capacidade no seu sentido ontogénico, ou seja, do seu desenvolvimento. É provável que durante a infância os *Ardipithecus* tenham sido sujeitos a preferências, interesses e pressões selectivas sobre uma forma de se deslocarem em relação a outro. Essas possibilidades estruturais-ontogénicas estiveram sujeitas a processos selectivos que favorecem uma reprodução diferencial e evolução por selecção natural. Quais poderiam ter sido os factores selectivos ou vantajosos? Um dos factores relevantes é o habitat e outro são os hábitos de vida nesse habitat. Os *Ardipithecus* construíram um nicho, um estilo de vida novo ou anteriormente não explorado. Pela primeira vez foram capazes de se deslocarem em dois membros, minimizando os movimentos verticais e horizontais e, com isso, minimizaram o gasto energético da caminhada. A postura é estável e não requer esforço, é relativamente fácil percorrer longas distâncias. A eficiência do movimento também se complementa com uma melhor termorregulação. Além disso, em dois membros as actividades culturais como transportar materiais ou filhos está potenciada.

Uma actividade de construção do nicho fundamental está relacionada com a alimentação. Os antepassados bípedes tiveram a vantagem de transportar alimentos, ser mais efectivos na sua procura. Além disso, na fase reprodutiva muitos indivíduos de outras espécies conseguem aumentar o seu tamanho com artifícios ou comportamentos específicos que no caso dos homínídeos são limitados. A postura bípede também se pode relacionar com processos de preferência na selecção de parceiros. É possível que todas estas vantagens tenham sido suficientes para que a característica “caminhar nos dois membros” tenha sido herdada pelos descendentes de *Ardipithecus*, que são os nossos ancestrais. Os nossos antepassados *Ardipithecus*, ao criar o novo nicho dos homínídeos bípedes, tornaram possível um processo de diversificação dos homínídeos em África, de que somos a única espécie viva.

Em conclusão, é graças a esta longa história evolutiva que somos bípedes. Não temos todas as evidências mas estamos certos de que somos bípedes porque os nossos antepassados conceberam uma nova forma de vida, o movimento bípede.

CAPÍTULO 21:

EVOLUÇÃO DO FORMATO DOS OLHOS

Porque os asiáticos têm os olhos rasgados?

Por Catarina Saraiva, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

Segundo um cirurgião plástico: “Há inúmeras diferenças entre os olhos caucasianos e asiáticos. A maioria deles são invisíveis, musculares e nos tecidos subjacentes, como o maior conteúdo de gordura e de pele um pouco mais espessa nos olhos asiáticos”.

Uma das primeiras preocupações de qualquer ser humano assim que atinge a maturidade é questionar-se sobre si mesmo, qual o seu propósito na Terra e de onde vem. E aqui entra um conjunto de explicações que relacionam a História com a Natureza. O ser humano tem cerca de duzentos mil anos de existência, começando a escrever a sua rota em terras africanas. Com o passar do tempo ocorreram mudanças, evoluiu. De entre as características adquiridas em cada raça destacam-se os olhos rasgados, típicos das pessoas de Leste. Várias questões se levantam em torno desta característica: o porquê destas pessoas apresentarem os olhos rasgados e quais as vantagens e desvantagens adjacentes. Dentro da espécie *Homo sapiens* podem distinguir-se diferentes raças: caucasiana, negróide, mongolóide, entre outras. Estes últimos, os mongolóides, têm uma cor de pele mais pálida ou branca, um rosto arredondado ou ovalado com pequenos olhos rasgados e com cabelo, geralmente, preto e liso. Os mongolóides surgiram em regiões da Ásia muito frias e remotas. Dadas as baixas temperaturas, essas terras apresentavam um clima tipo glacial que era muito rigoroso e selectivo, onde apenas alguns sobreviviam, e os humanos que ali viviam tinham de se adaptar. A neve existente reflectia os raios solares intensamente, provocando a longo prazo um défice na visão humana. Aqueles que tinham olhos maiores ou mais abertos perdiam grande parte da vista e dissipavam o calor e, como consequência da selecção natural, extinguíram-se

e os que por cá ficavam mantiveram as características que os faziam sobreviver. Na actualidade do Extremo Oriente, os indivíduos têm mais gordura nas pálpebras o que provoca uma dobra da pálpebra interna. Esta gordura aquecia os olhos, conservando o calor do corpo e passando de geração em geração e hoje é uma característica dominante na Ásia. Com o passar do tempo surgiram alterações na raça formando, assim, pessoas a quem chamamos, hoje em dia, os chineses, coreanos ou japoneses em que cada um apresenta traços mais pormenorizados consoante a sua evolução. Assim, não só os povos chineses e japoneses têm aberturas mais estreitas dos olhos, mas também os mongóis e os povos para o leste do ex-império russo, tudo devido ao idêntico meio de onde provêm.

Outra explicação, é o facto da cana do nariz ser mais baixa. Isso é o que faz os olhos “rasgarem”. Crianças com síndrome de Down também mostram esta característica. Ou também poderá ser simplesmente uma variação genética preservada pela isolamento geográfica. O ADN fornece mecanismos para uma variedade imensa. Não é necessário que qualquer variação particular domine, a menos que realmente seja uma vantagem. Conforme Darwin sustentava, existia variabilidade genética entre a raça mongolóide, sendo que uns possuíam olhos mais abertos que outros. Mas as condições do meio eram muito adversas e o excesso de luminosidade obrigava-os a cerrar os olhos. Como os olhos mais rasgados estavam em vantagem, perduraram e “sobreviveram” ao longo do tempo - sobrevivência diferencial - e esta característica foi passada na reprodução até aos dias de hoje - reprodução diferencial. Em conclusão, tudo aquilo que o Homem é actualmente provém de milhares anos e de uma interacção entre a Natureza e a evolução.

Por Paula F. Campos,

*Centro para a GeoGenética, Museu de História Natural da Dinamarca,
Universidade de Copenhaga*

O aspecto de “olhos rasgados” presente na maioria dos habitantes da Ásia Oriental e Central (mas não nos indianos, por exemplo) resulta da chamada “dobra epicântica”, uma prega de pele presente na pálpebra superior. A palavra epicântica deriva do grego *epi*, que significa em cima, e *canthus*, o termo médico para o canto do olho junto ao nariz. No entanto nem todos os asiáticos, mesmo os originários das zonas tradicionalmente associados à sua presença, possuem “olhos rasgados” e a prega está presente em vários outros indivíduos não originários destas zonas, como os Inuits, os Índios Americanos, os Khoisan (dois grupos étnicos da África Meridional, os caçadores recolectores San e os pastores Khoi) e ainda em algumas crianças de várias origens (desaparecendo quando estas crescem). Está também associada a indivíduos com a síndrome de Down (trissomia do cromossoma 21) e outras síndromes genéticas, como a síndrome alcoólica fetal.

Uma das hipóteses mais recorrentes afirma que a sua presença poderá conferir alguma protecção contra a luz do sol, em áreas muito solarengas, e contra o frio, em ambientes mais inóspitos, e que talvez por isso se tenha espalhado e mantido nestas populações. Isso poderia explicar a sua existência em populações não relacionadas, como as asiáticas e as tribos africanas do sul de África. No entanto, não explica porque outras populações em áreas com igual exposição ao sol não apresentem também a mesma característica, nem explica porque ela também existe (embora com menor frequência) em populações que evoluíram fora das zonas tropicais. Dada a existência da prega epicântica em crianças de diferentes origens (mesmo de locais onde a prega raramente ou nunca existe em adultos), é possível que a sua permanência em adultos resulte de um processo chamado neotenia, a permanência de características infantis em indivíduos adultos. Isso é possível por alteração de genes ligados ao desenvolvimento, que em certas alturas da vida funcionam como interruptores, ligando ou desligando determinadas funções do corpo em alturas específicas, como por exemplo na adolescência. Estes interruptores são os responsáveis pelo surgimento por exemplo da barba nos rapazes adolescentes. A remoção do interruptor responsável pela alteração das feições faciais ligadas ao canto interior do olho seria então responsável pela permanência do aspecto de “olhos rasgados” em alguns adultos.

O aparecimento da prega epicântica envolve alterações na musculatura e na composição da derme, uma vez que contém bastante tecido adiposo. Isso sugere que não é uma alteração simples. No entanto, a existência de pessoas com esta prega de populações tão distintas e em crianças de todas as etnias e origens geográficas, sugere também que poderá haver algum gene que esteja activo apenas durante as primeiras fases de desenvolvimento e que depois é desligado nos adultos não asiáticos. Nas populações asiáticas, porventura alguns indivíduos teriam alguma alteração genética que permitiu a manutenção da característica durante a idade adulta. Nas condições ambientais da altura, há cerca de 100 mil anos, quando os seres humanos modernos começaram a colonizar o sudeste asiático, a manutenção da dobra epi-

cântica seria vantajosa e as pessoas com essa variação genética teriam uma melhor aptidão, sobrevivendo mais tempo e tendo mais descendência do que os outros. Com o tempo, a dobra epicântica aumentou a sua frequência e tornou-se preponderante nas populações asiáticas.

CAPÍTULO 22:

EVOLUÇÃO DAS RUGAS DOS DEDOS

Por que é que os dedos enrugam na água?

Por Andreia Soares Parafita, 11º ano, Escola EB

2,3/S Miguel Torga

Foi na Universidade de Newcastle, Grã-Bretanha, que vários cientistas quiseram dar resposta e perceber o fenómeno do enrugamento nas extremidades dos dedos quando colocados em água durante algum tempo. A investigação caracterizava-se por várias pesquisas dos antepassados do ser humano e por algumas experiências práticas. A principal experiência realizada consistia em pedir a voluntários que apanhassem berlindes colocados no fundo de um balde com água e os fizessem passar para a outra mão, colocando-os depois num segundo recipiente. Foi possível verificar que os voluntários que possuíam os dedos enrugados terminavam a tarefa proposta mais rapidamente do que os voluntários que tinham uma percentagem menor de enrugamento, ou dos que não apresentavam, naquele período de tempo, essa característica. Após a análise dos resultados veio a concluir-se que o facto de os dedos ficarem enrugados em contacto com a água se deve à vasoconstrição (processo de contracção dos vasos sanguíneos em consequência da compressão do músculo liso presente na parede dos vasos), reacção controlada pelo sistema nervoso central, e que esse fenómeno pode ser uma vantagem adquirida pelo ser humano durante a sua evolução ao longo de milhares

de anos: é mais fácil segurar um objecto molhado com a superfície da pele rugosa do que com a superfície da pele lisa. As rugas têm por isso a função específica de tornar mais simples o manuseio de objectos debaixo de água ou em superfícies molhadas. Este mecanismo permite ao ser humano o equilíbrio em pisos molhados e por isso é que as rugas aparecem somente nos dedos das mãos e pés e não no resto do corpo.

É de notar que a maioria dos investigadores admite que os antepassados do Homem utilizavam os membros para a realização de diversas funções e se alimentavam de frutos das árvores, da procura de alimentos em lagos e rios e, desta forma, ter dedos enrugados nestas situações seria uma mais-valia para eles. Existe ainda uma teoria que defende que os ancestrais do ser humano já viveram numa fase semiaquática onde poderia prevalecer essa característica. O aparecimento de rugas nos dedos já foi também observado em alguns organismos como os macacos do velho mundo, cercopitéceos, o macaco-de-Gibraltar ou o babuíno sagrado. Se conseguir ser identificado em outros primatas, pode concluir-se que a sua função original terá sido locomotora, ajudando estes seres a deslocar-se em vegetação húmida e em troncos de árvore molhados.

Já Darwin defendia que o principal mecanismo da evolução era a selecção natural e que as características que conferiam vantagem e asseguravam a sobrevivência da espécie eram passadas à geração seguinte, o que pode justificar o enrugamento dos dedos observado actualmente no Homem. Outra prova que confirma que este fenómeno resulta de uma vantagem adquirida pela evolução é que o ADN de alguns primatas, por exemplo o chimpanzé e o orangotango, tem uma coincidência de mais de 95% com o ADN humano.

Assim, esta descoberta “deitou por terra” que o aparecimento de rugas nas pontas dos dedos seria simplesmente o inchaço da pele devido ao contacto com água e que não desempenhava nenhuma função.

Por Rita Campos,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

Como a Andreia diz, e bem, o enrugamento dos dedos é controlado pelo sistema nervoso simpático, que induz a vasoconstrição da polpa digital, diminuindo o seu volume. É, portanto, um mecanismo activo, ou seja, tem que se gastar energia para que tal possa acontecer. Ora, se a energia é necessária ao indivíduo, para manter as funções vitais do organismo e ainda conseguir sobreviver e reproduzir-se, para quê gastá-la num processo aparentemente inútil como o enrugamento dos dedos? A resposta poderá estar relacionada com o facto deste processo ter tido um papel importante na evolução humana. Considerando que tal como os sulcos que se colocam nas solas de muito calçado as rugas nos dedos ajudam a aderência em ambientes húmidos ou molhados, a desvantagem do gasto energético poderá ter sido compensada pela vantagem na obtenção de alimento. Esta hipótese, que sugere uma função adaptativa do enrugamento dos dedos, chamada de “piso molhado”, foi testada pela primeira vez em 2011, por uma equipa de quatro investigadores do Idaho (Estados Unidos da América). Estes cientistas analisaram a topografia das rugas induzidas pelo molhado e compararam-nas com redes de drenagem de bacias hidrográficas, tendo verificado que a morfologia é similar. Este resultado sugere que a topografia destas rugas produz uma aderência superior à dos sulcos das solas dos sapatos pois permite “escoar” o fluido deixando a pele do dedo inteiramente em contacto com a superfície (logo, aumentado a aderência). O tempo médio necessário para que as rugas surjam (cerca de cinco minutos) é suficiente para que sejam úteis mas, ao mesmo tempo, para que não se formem se o contacto com a água for casual. O facto de o enrugamento ocorrer mais rapidamente em soluções hipotónicas, como a água, e ainda a sua localização no corpo (dedos dos pés e mãos) são outros argumentos a favor da hipótese “piso molhado”.

Dois anos mais tarde, a equipa de Newcastle (Reino Unido) que a Andreia refere no seu texto publicou um artigo no qual descreve um conjunto de observações que apoiam a hipótese de que o enrugamento dos dedos induzido pelo molhado terá tido uma função adaptativa, permitindo melhorar a manipulação de objectos molhados. E que observações foram essas? Pegando na hipótese avançada pela equipa de Idaho, estes cientistas desenharam algumas experiências simples, que consistiam basicamente na manipulação de 45 objectos secos e submersos em água, com e sem o enrugamento dos dedos, e contaram com a participação de 30 voluntários. Especificamente, aos voluntários foi pedido que, usando apenas o polegar e o indicador, transferissem os objectos entre recipientes em quatro ensaios: objectos secos, com e sem enrugamento dos dedos; objectos molhados, com e sem enrugamento dos dedos. No final contabilizou-se o tempo médio que demorou a transferir todos os objectos em cada um dos quatro ensaios. E o que se verificou foi que os voluntários transferiam mais rapidamente os objectos submersos quando os seus dedos estavam enrugados. Por outro lado, a existência ou não de rugas nos dedos não afecta a manipulação de objectos secos. Ou seja, o enrugamento dos dedos aumenta a aderência a objectos e superfícies molhadas. Este resultado levanta uma nova questão: se o enrugamento dos dedos é uma característica vantajosa em condições

molhadas e neutra em condições secas, porque não temos os dedos permanentemente enrugados? A resposta estará na existência de algum custo associado ao enrugamento. Uma das hipóteses levantadas por esta equipa é a de que as rugas tornam a pele das palmas das mãos e plantas dos pés mais vulneráveis e cortes ou outras lesões, pelo que o enrugamento será favorecido se apenas ocorrer em contacto com objectos e superfícies molhadas.

Estes trabalhos permitiram-nos compreender um pouco melhor a função do enrugamento dos dedos induzido pelo molhado mas deixaram outras perguntas em aberto. Por exemplo, será que este mecanismo evoluiu para cumprir esta função ou surgiu como um subproduto ou peculiaridade da evolução do sistema nervoso?; quando surgiu este mecanismo?; qual o papel da selecção natural na sua evolução?; será que surgiu múltiplas vezes, de forma independente, ao longo da evolução dos primatas?; seria uma característica presente no ancestral comum mais recente deste grupo? Conforme a Andreia refere, os humanos, os chimpanzés e os gorilas partilham uma grande fracção dos seus genomas. Só que esse facto, por si só, não prova que o enrugamento dos dedos “resulta de uma vantagem adquirida pela evolução”. No entanto, o estudo comparado do enrugamento dos dedos na linhagem dos primatas poderá ajudar a responder a algumas das questões ainda em aberto (por enquanto, apenas se sabe que este mecanismo existe nos humanos e em primatas do género *Macaca*).

CAPÍTULO 23:

ORIGENS E CONSEQUÊNCIAS DA INTELIGÊNCIA HUMANA

Porque é que os humanos desenvolveram um cérebro maior que o dos chimpanzés?

Por Tamara Osuna, 7º ano, Colégio Marymount

Os humanos têm um cérebro maior que o dos primatas. É possível que sem o nosso grande cérebro fôssemos primatas normais. Pensa-se que os humanos desenvolveram um cérebro maior por selecção natural já que é preciso inteligência para conseguir alimento e refúgio. O cérebro cresce à medida que recebe mais nutrientes. O cérebro cresce mais quando está no útero materno. Nestes, os

lóbulos occipitais (na parte de trás do cérebro) são maiores que os frontais; nos humanos, sucede o contrário. No córtex frontal é onde parece que as tarefas intelectuais mais complexas são executadas. Em particular uma área da zona frontal, a área de Broca, está muito relacionada com a linguagem. Começou a reorganizar-se há cerca de 2 milhões de anos, o que sugere que os primeiros membros do género *Homo* poderão ter tido alguma capacidade de linguagem rudimentar. Também se pensa que os hominídeos comiam carne e a carne dava-lhes proteínas que ajudaram ao crescimento do cérebro.

Porque é que o Homem tem uma capacidade de raciocínio maior que os outros animais?

Por Luis Alfonso Hernández Vázquez, 7º ano, Colégio Marymount

Por necessidade, muitos animais que não precisam do nosso tipo de raciocínio evoluíram de forma diferente, não necessitando de mais que garras, músculos, dentes, etc. Nós inventámos a tecnologia, ferramentas, etc. E assim sobrevivemos, apenas evoluindo de forma distinta. Mas os animais, tal como nós, continuam a evoluir.

A evolução não termina inevitavelmente em inteligência. O nosso caminho evolutivo levou-nos a isso. Mas para que isso se dê tem que haver condições adequadas. Os moluscos, por exemplo, são muito mais antigos que nós, mas nunca desenvolveram inteligência porque não têm meios de mudar o ambiente, comunicar entre si, desenvolver tecnologia nem estão preparados anatómico/fisiologicamente para isso. Eu penso que evolução é adaptação, não progresso. Se sobrevive, resistirá. Não importa como.

Será a esquizofrenia o preço do surgimento da linguagem humana?

Por João Ramalhão, 12º ano, Colégio Luso Francês

A esquizofrenia é uma perturbação mental crónica, grave e incapacitante, que afecta 24 milhões de pessoas a nível mundial o que, se em termos de incidência se revela um valor relativamente baixo, já no que respeita à prevalência o cenário inverte-se. De facto, estudos referem que a esquizofrenia se tem mantido estável ao longo do tempo, com uma distribuição uniforme a nível mundial. Os indivíduos esquizofrénicos apresentam dificuldade em estabelecer relações lógicas e em controlar as emoções, resultando numa transformação profunda da personalidade e no isolamento social. Estes factores têm sido associados a um estado desvantajoso em termos evolutivos pois conferem aos indivíduos esquizofrénicos uma menor probabilidade de gerar descendência. Sendo, de facto, uma perturbação mental ligada a uma mutação genética que terá precedido a migração da população humana a partir do continente africano há 150 000 anos, e conferindo desvantagem aos indivíduos em que incide, como explicar, então, a sua persistência, contrariando os postulados darwinistas da selecção natural? A resposta a este paradoxo tem o seu cerne no aparecimento da linguagem humana.

A lateralização cerebral permitiu a especialização funcional o que, no caso da linguagem, conferiu vantagem para a sobrevivência de uma espécie que se adaptava a novos ambientes e a um modo de vida em sociedade completamente novo. Mas, afinal, como relacionar este aparecimento da linguagem com a esquizofrenia? Efectivamente, os indivíduos esquizofrénicos possuem uma diminuição do tamanho da assimetria cerebral, o que é expresso, por exemplo, numa indecisão quanto à mão que se usa ou à menor capacidade de fala. Associada a essa diminuição da assimetria surge uma menor dominância de um hemisfério sobre o outro, o que reflecte uma incapacidade em coordenar pensamento e fala e, por vezes, uma total reversão do hemisfério preponderante pela fala. Estudos revelaram que o gene responsável por estas alterações está ligado aos cromossomas sexuais,

facto que corrobora as diferenças de género manifestadas nos indivíduos esquizofrénicos. De facto, a lateralização cerebral que define a espécie humana reflecte uma variação epigenética. Foi identificado o par de genes protocaderina X/Y como sendo o principal determinante da lateralidade, criado por uma duplicação no decorrer da evolução hominídea e submetido à pressão selectiva positiva. A variação que predispõe esta psicose está relacionada com a lateralidade; pelo que será a esquizofrenia o preço do surgimento da linguagem humana?

Por Luis Medrano González,

Faculdade de Ciências, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)

Os humanos (*Homo sapiens*) distinguem-se radicalmente dos restantes seres vivos. As nossas capacidades, cultura, conhecimentos e efeitos sobre a biosfera não têm precedentes na história da vida. No entanto, os seres humanos são o resultado da evolução biológica; somos mamíferos placentários primatas catarríneos e partilhamos com todos estes animais muitas características da nossa anatomia e biologia. Conhece-se com algum detalhe a filogenia da nossa espécie, que se pode traçar até cerca de 4,4 milhões de anos (MA), com a identificação de *Ardipithecus ramidus* na Etiópia. Esta espécie já mostrava o bipedismo típico dos homínidos (humanos *sensu lato*) apesar de ter o primeiro dedo do pé ainda oponível, como noutros primatas. Se queremos saber como os humanos desenvolveram as nossas enaltecidas competências, temos que nos perguntar como a evolução deu origem à nossa espécies, qual é a base biológica das ditas competências, especialmente a que chamamos de inteligência, e como a referida inteligência se originou.

Os humanos distinguem-se de entre os primatas pela postura erecta e locomoção bípede, pela forma da mandíbula e dentes e pelo tamanho grande do cérebro, em relação ao tamanho do corpo, o que é identificado como a base biológica da nossa inteligência, embora, por si só, o tamanho do cérebro humano não explique a suas capacidades cognitivas e motoras. O cérebro consome uma grande proporção de energia do organismo (quase 20% nos humanos, quando o cérebro tem 2% do peso corporal) e se tivesse um tamanho proporcional constante entre animais de diferentes tamanhos, consumiria uma proporção maior de energia em animais grandes, cujo metabolismo relativo é menor. Por exemplo, num mamífero de 10 000Kg, um cérebro com 2% do peso corporal consumiria 86% do seu gasto metabólico. O aumento alométrico do tamanho cerebral é inversamente proporcional à taxa metabólica relativa, de modo que um mamífero de 10 000Kg tem, na realidade, um cérebro com 0,07% do seu peso, que consome 3% da energia do seu metabolismo. O tamanho do cérebro humano é três vezes maior que o tamanho esperado para primatas do mesmo tamanho, correspondendo a um primata com mais de três metros de altura e 450Kg de peso. O cérebro humano maximiza o

seu tamanho depois do nascimento, o que significa que é neurologicamente imaturo nesta etapa e, por isso, os humanos recém-nascidos são completamente dependentes dos cuidados maternos. Este intenso cuidado parental nos humanos e a sua prolongada fase infantil terá sido uma importante base para o desenvolvimento da conduta social na nossa espécie. A manutenção de um órgão que consome tanta energia como o cérebro humano também parece estar associada à alteração de uma dieta herbívora para omnívora e a uma maior eficiência na obtenção de alimento.

No que diz respeito a estas restrições do desenvolvimento, comportamento social e alimentação, o grande tamanho do cérebro humano originou-se há cerca de 2 MA, com o aparecimento de *Homo habilis* em África, a primeira espécie humana a fabricar ferramentas e que teria um cérebro com 0,75Kg. *Homo erectus*, na Ásia, há 1,5 MA teria um cérebro com 1Kg. Os primeiros *H. sapiens* em África, há 400 000 anos, teriam um cérebro tão grande como o dos humanos actuais (1,3Kg, em média). Os homens de Neanderthal (*H. neanderthalensis*) teriam um cérebro comparável ao de *H. sapiens* e capacidades mentais também semelhantes. No entanto, os Neandertais teriam uma faringe muito pequena que deveria restringir muito as suas capacidades vocais e, por isso, o desenvolvimento da linguagem.

Nos mamíferos, o neocórtex do telencéfalo (o cérebro) é o maior córtex cerebral, ocupando a maior parte do volume encefálico e é nele que ocorrem os processos de integração perceptiva, de locomoção, aprendizagem e memória. Nos mamíferos, o córtex cerebral tem regiões funcionais. Geralmente, o lóbulo occipital integra a percepção visual, a parte dorsal do lóbulo temporal a audição e nos humanos as áreas adjacentes estão relacionadas com a linguagem. A parte anterior do lóbulo parietal integra a informação somatossensorial e a região adjacente no lóbulo anterior (separada pela fissura central) compreende os córtex motor e pré-motor. Além do seu grande tamanho relativo, o cérebro humano distingue-se pela sua organização anatómica e cortical particular, assim como pela assimetria dos seus hemisférios, que é anatómica, histológica e funcional, especialmente nas áreas de Wernicke e de Broca, que estão relacionadas com a compreensão da linguagem e com a produção da fala, respectivamente. Nos humanos o lóbulo olfactivo é particularmente reduzido, o que implica que a nossa resposta emotiva a odores seja menor que noutros primatas ou mamíferos. As áreas visual, somatossensorial, motora e pré-motora estão mais desenvolvidas, especialmente no córtex pré-frontal, que está envolvido nos processos de auto-consciência e planeamento.

Não se pode caracterizar nem comparar de forma trivial algo a que chamamos inteligência entre espécies distintas de animais, e à margem das suas especializações evolutivas e modos de vida. No entanto, podemos dizer que a singularidade da inteligência humana derivou de uma conformação no córtex cerebral necessária para a percepção e produção da linguagem, a partir da qual provavelmente se desenvolveram as nossas capacidades cognitivas e criativas. O aparecimento da linguagem, assim como do controlo fino de movimentos complexos, está relacionado com o fabrico e uso de ferramentas, tal como com a lateralização motora dada pela assimetria cerebral, na qual o hemisfério esquerdo geralmente controla as capacidades motoras e a fala, enquanto o hemisfério direito está relacionado com as tarefas para as quais as palavras não são essenciais (como o reconhecimento de rostos, a compreensão de relações espaciais e a resposta a sinais emotivos).

A evolução da linguagem parece uma exaptação, ou seja, um processo evolutivo de adaptação de estruturas e funções previamente existentes e inicialmente não relacionadas com a função actual. Mesmo que não tenha sido reconhecido linguagem noutras espécies, já foi possível estabelecer que algumas espécies podem compreender e expressar parcialmente a linguagem humana, assim como comunicar expressões de natureza emotiva. Isto é, noutros animais existem elementos de estrutura e função que nos humanos originaram a linguagem. Não se sabe como evoluiu a linguagem humana mas sabe-se que o seu aparecimento representou uma mudança qualitativa das capacidades cognitivas, criativas e culturais da nossa espécie e também que as vias neuronais da fala são diferentes das da expressão de sons com conteúdo emotivo que outros primatas, e mesmo os humanos, exibem. As áreas corticais de Broca e Wernicke são reconhecidas em *Homo habilis*, há 2 MA; a flexão na base do crânio que alonga a faringe, baixa a laringe e permite a articulação fina da fala existe bem formada em *Homo heidelbergensis*, em África, desde há 600 000 anos; a anatomia humana actual remonta a 150 000 anos. O reconhecimento do Homem de Cro-Magnon, há 40 000 anos, marca tradicionalmente o aparecimento do pensamento simbólico e de uma revolução tecnológica nos humanos. No entanto, alguns registos em África sugerem a existência de pensamento simbólico, e por isso possivelmente da linguagem, desde há pouco menos de 200 000 anos.

Considera-se que a assimetria do cérebro, que é diferente nas zonas pré-frontal e parieto-temporal, permite uma linearização de sinais, requerida para dar significado às palavras ouvidas e estruturar o significado nas palavras pronunciadas. Ao mesmo tempo, esta assimetria cria uma preferência para o uso da mão, que é único nos humanos como população. No entanto, a origem da linguagem e da laterização motora nos humanos criou condições para uma doença especificamente humana e associada a transtornos de linguagem, a esquizofrenia. A esquizofrenia em sentido estrito, com a presença de sintomas como alucinações verbais, afecta aproximadamente 1/100 000 pessoas e esta proporção é notavelmente uniforme no mundo. Paradoxalmente, apesar da fecundidade reduzida que os portadores da doença exibem, a esquizofrenia persiste. Os sintomas principais representam uma alteração dos processos de conversão do pensamento em som fonético (as palavras pronunciadas) e de codificação das palavras ouvidas em interpretações com significado. Na doença, é particularmente claro uma alteração da consciência do próprio e do outro, o que dá coerência aos significados nas palavras emitidas e percebidas. Associado a alterações da linguagem, a esquizofrenia está também ligada a alterações na lateralidade motora, especificamente à falta de lateralidade devido à falta de assimetria funcional. Não existe uma causa extrínseca para a doença e o seu decurso é mais ou menos fixo, o que faz supor que existem factores genéticos que a provocam, que poderão estar relacionados com uma transposição de material genético do cromossoma X para o Y (Xq21.3 para Yp11.2), há 6 MA. Pensa-se que nesta região existem genes como o gene da protocaderina, que é uma molécula de adesão que estabelece a interacção entre as células e guia o crescimento axonal dos neurónios.

CAPÍTULO 24:

EVOLUÇÃO HUMANA RECENTE

Estará o Homem ainda sujeito às leis da evolução?

Por Daniel João Henriques, 11º ano, Escola Secundária Infanta D. Maria

Nas concepções de Darwin sobre a selecção natural ficou patente que a sobrevivência é privilégio dos mais fortes, dos que têm uma capacidade de adaptação às adversidades do meio superior aos seus semelhantes, ou às outras espécies que coexistem no seu habitat. Uma prova disso é que os seres mais adaptados estão aptos a procriar mais e melhor que os outros, o que é muito importante para a transmissão do seu material genético à descendência. Na Natureza podemos observar muitos casos práticos de diversas adaptações que permitem uma adequada disseminação da vida. Um exemplo bem ilustrativo é o dos peixes que enfrentam as adversidades naturais ou artificiais em busca de águas calmas e tranquilas, livres de predadores, para a desova. Aqueles que não o conseguem, é porque não têm genes bons o suficiente. Assim actua a selecção natural, que ao longo do tempo permite uma evolução das espécies no sentido de alcançar a máxima adaptação a um determinado meio ambiente.

Mas e o Homem? Será que se o ser humano, vivendo num ambiente artificial e sem predadores naturais, continua a sofrer a acção da selecção natural, e por conseguinte da evolução?

Em primeiro lugar, é preciso referir que existe no Homem variabilidade intra-específica, tal como em todas as outras espécies, mas também temos de distinguir entre as verdadeiras aquisições evolutivas e outros tipos de transformação física que podem acontecer sem, no entanto, terem qualquer relação com a evolução real. Nas últimas gerações, apareceram vários fenómenos que chamam a atenção. Um deles prende-se com o facto de o Homem moderno ser muito mais alto do que o Homem antigo e os jovens amadurecerem muito mais precocemente do que há apenas 100 anos. Mas isso nada tem a ver com evolução, mas

sim com os diferentes tipos de alimentação existentes agora, muito mais nutritivos comparativamente com aqueles de há um século. Merece atenção, também, o constante derrube de recordes desportivos. Mas também aqui não é a evolução a responsável pelo sucesso dos superatletas! Esta será atribuída a técnicas de treino mais eficientes, a um início mais precoce da prática desportiva, à especialização tanto dos atletas quanto dos treinadores, a maiores exigências... Essas e outras transformações parecidas são exemplos de caracteres adquiridos.

Contrariamente, tomemos por exemplo os povos Inuit, que vivem nas regiões árticas. Estes têm o corpo curto, atarracado, e membros pequenos, o que diminui a perda de calor. Os etíopes, por outro lado, são altos, longilíneos, com extremidades longas, para perder calor mais rapidamente. Esta característica resulta de uma selecção por parte do ambiente, no sentido de preservar os indivíduos que possuem características que optimizam as perdas de energia sob a forma de calor. Outra característica genética é a manutenção da capacidade de digerir leite na idade adulta. Normalmente os mamíferos perdem esta capacidade quando crescem, mas nalguns seres humanos esta característica permanece, permitindo que tenham acesso a uma excelente fonte de proteínas, gordura e açúcares.

Podemos assim concluir que o ser humano continua a ser seleccionado. Mas como é possível que a espécie humana, tão frágil comparativamente às outras, tenha vindo não só a prevalecer, mas também a domar o mundo? O Homem destaca-se dos outros animais pela sua perspicácia ao aproveitar conhecimentos acumulados. A inteligência fez então a diferença: o essencial para fazer do *Homo sapiens sapiens* um sobrevivente da selecção natural. Mas, até quando? A verdade é que o Homem tem vindo a desenvolver um leque de tecnologias que, com a ajuda de máquinas e de outros artificios, o tem ajudado a criar o seu próprio ambiente artificial. Isso foi o que nos permitiu resistir por tanto tempo, e é aquilo que potencialmente poderá vir a excluir-nos completamente do processo de selecção natural no futuro, uma vez que os avanços tecnológicos são cada vez mais acentuados. É previsível que no futuro a capacidade condicionante do Homem supere as condicionantes do meio e, se isso se concretizar,

poderemos então concluir que o Homem do futuro possuirá uma inteligência extraordinária, características anatómicas singulares, vida muito longa e grande resistência às doenças. Tudo isto será consequência directa da intervenção técnica e do planeamento artificial, nada tendo a ver com o processo de evolução natural. Podemos dizer, então, que nesse futuro mais ou menos distante o processo evolutivo terá paralisado na espécie humana. No seu lugar, a tecnologia impor-se-á cada vez mais como soberana no mundo do biológico.

Porque é que os humanos não evoluíram?

Por Patricio Navarro Hermosillo, 7º ano, Colégio Marymount

Sabemos por estudos recentes que o ser humano tem estado a evoluir e actualmente está a evoluir, no intervalo dos últimos 10 000 anos, que é quando começou a cultivar e a usar o gado. Mas e nas últimas décadas? Acontece o mesmo? Podemos pensar que, como se avançou muito na medicina e higiene neste tempo, é mais difícil que o ser humano esteja sob as forças da selecção natural, pois alguém que antes morria por quase qualquer coisa antes de se reproduzir agora sobrevive e tem filhos. Pois nada está mais longe da realidade, pelo menos segundo um estudo realizado por Stephen Stearns, da Universidade de Yale, e seus colaboradores. A selecção natural continua a exercer pressão sobre o nosso êxito reprodutivo: quantos mais filhos tivermos mais facilmente poderemos dispersar as nossas características na futura população humana.

Por Álvaro Chaos Cadór,

Faculdade de Ciências e Centro de Ciências da Complexidade, Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)

Se por leis o Daniel se refere ao mecanismo de selecção natural, a resposta é sim. Os humanos estão a evoluir.

Para a primeira pergunta há que esclarecer sobre as leis da evolução biológico. É imprecisa pois não há leis sobre a evolução biológica. A evolução biológica é um fenómeno, um facto que sabemos que ocorre na Natureza, mas não podemos falar de alguma lei. As explicações

que os biólogos elaboraram sobre o processo estão resumidas na teoria acerca da evolução. Actualmente, aquela que tem mais seguidores é a teoria sintética da evolução.

Deve-se ter cuidado com o tema do Homem. Recordemos que quem evolui são as populações, não as espécies (as espécies evoluem através de alterações nas populações). Então, a que população humana se referem as perguntas anteriores? Às da América? Às da Europa? Falar da evolução biológica do Homem em geral é difícil porque a humanidade é composta por inúmeras populações. Deve-se especificar a que população humana nos referimos. Por exemplo, os pigmeus são mais altos que os nossos antepassados.

Na sua resposta, o Daniel menciona que toda a evolução biológica ocorre por selecção natural. Isto não está correcto. Há outros mecanismos que intervêm na dinâmica evolutiva. A auto-organização é um deles. Diz que os organismos só podem ter certas formas, certa maneira de organização. Se uma determinada forma não é estável, serão incapazes de sobreviver. Tal como quando juntamos vários ímanes, há apenas algumas maneiras de os colocar. Assegura-se que todas as características de um organismo são adaptações, o que também não é correcto. Muitas características surgem de forma colateral, devido à interacção entre as estruturas ou processos. As mãos do tiranossauro não são adaptações. Outro erro grave é dizer que a mudança da estatura do Homem não está relacionada com a evolução biológica. Em primeiro lugar, não podemos assegurar que essa mudança não se deu por selecção natural mas mesmo que este mecanismo não tenha participado no processo, a população humana alterou-se e isso é evolução biológica. A definição de evolução biológica não requer que a mudança se dê por selecção natural, basta que a população mude ao longo das gerações. A distinção entre “aquisições evolutivas reais” e “outro tipo de aquisições” é falsa.

Quando se argumenta que temos produzido fármacos contra algumas doenças e que, por isso, já não somos afectados pela selecção natural, não nos podemos esquecer que os parasitas que nos provocam essas doenças evoluem e, caso se adaptem, poderão tornar-se resistentes aos fármacos. A tuberculose e muitas outras doenças bacterianas estão a regressar porque as bactérias e outros microorganismos se tornaram resistentes aos nossos mais potentes antibióticos. Que o Homem das cidades não tenha grandes predadores não significa que não os tenha. Há muitos, microscópicos, que por vezes são mais terríveis. Sabias que em cada célula do teu corpo há 10 bactérias? Normalmente vivemos em paz com elas mas ocasionalmente tornam-se nocivas e perigosas.

Esclarecidos estes aspectos, passemos ao assunto. O Homem, como qualquer outro ser neste planeta, tem a capacidade de evoluir. Realcemos um aspecto importante: a evolução biológica de uma espécie pode dar-se a velocidades distintas e em momentos diferentes. Não significa que evoluímos sempre. É possível que durante 100 anos haja uma evolução rápida e nos 300 anos seguintes não. Geralmente, as populações evoluem a velocidades diferentes. Há períodos durante os quais evoluem rapidamente e em outros períodos o façam lentamente ou mesmo não evoluam. Por exemplo, os tubarões não evoluíram muito em 450 milhões de anos e, por outro lado, todos os mamíferos surgiram em 200 milhões de anos. Deve ter-se presente que a evolução biológica ocorre ao longo das gerações, não do tempo absoluto. Os ratos produzem uma geração em 20 dias, os leões marinhos demoram um ano. Enquanto os ratos produzem 1 800 gerações num século, os leões marinhos apenas produzem 100. Nesse sentido, os roedores podem evoluir mais rapidamente que estes mamíferos marinhos.

A selecção natural é um mecanismo que explica como pode ocorrer a mudança evolutiva mas não é o único. Opinou-se muito sobre se os avanços científicos e tecnológicos da humanidade nos podem libertar da evolução. Diz-se que muitas pessoas que no passado morreriam agora, graças à medicina, sobrevivem. Este argumento está parcialmente certo. Doenças que já foram mortais são actualmente tratadas usando diversos métodos. Assim como uma grande quantidade de enfermidades se curam, muitas outras não; e surgiram mesmo doenças novas, algumas relacionadas com a nossa forma de viver e com o aumento da longevidade, como o cancro e certas doenças neurológicas (Alzheimer). Não é verdade que o Homem não tem predadores; tem-nos. Lembremo-nos da última epidemia de gripe. Na Cidade do México morreram muitas pessoas e a população esteve de quarentena durante cerca de um mês. A cidade estava deserta, como vemos nos filmes.

Noutra resposta diz-se que há 10 000 anos o Homem evoluía; mas que se terá passado nas últimas décadas? Não é necessário ir milhares anos atrás para comprovar que o ser humano evoluiu. As armaduras europeias da Idade Média, usadas pelos cavaleiros para lutar, mostram-nos um episódio da evolução humana. Se as medirmos, veremos que a média é de 1,60m. Actualmente, a estatura média de um europeu é de 1,75m. Claramente os homens adultos europeus não cabem dentro dessas armaduras. Que terá acontecido? A população de europeus era mais baixa que a actual. O que aconteceu foi que, por alguma razão, os indivíduos mais altos foram favorecidos; geração após geração, a estatura do europeu aumentou. É possível que a alimentação tenha influenciado mas, mesmo assim, é evolução biológica. Essa alteração ocorreu em 500 anos. Há exemplos mais recentes. Um deles está relacionado com o peito das mulheres. O tamanho médio dos seios nos Estados Unidos da América é 36C; há 15 anos era 34B. Cabe realçar que, embora as operações de aumento do peito das mulheres sejam cada dia mais frequentes, o aumento deve-se a condições naturais. Não está claro o porquê dos homens europeus serem mais altos e as norte-americanas terem o peito maior. Em relação à higiene, acontecem coisas inesperadas. Claro que com maior limpeza há um menor número de doenças mas, como sempre acontece, os extremos são maus. Vários estudos feitos com crianças alemãs que vivem em quintas e que vivem nas cidades mostraram que em condições de limpeza extrema o sistema imunitário é ineficiente. Descobriu-se que as crianças que viviam nas cidades e habitavam ambientes muito assépticos ficavam mais vezes doentes que as crianças dos ambientes campestres, que conviviam intimamente com a natureza e, por isso, próximo de micróbios e outros germes.

A tecnologia e a ciência ajudam-nos a sobreviver; no entanto, estão muito longe de dominar a evolução humana. Graças a elas conseguimos-nos libertar um pouco da selecção natural mas continuamos totalmente sujeitos à auto-organização.

CAPÍTULO 25: MEDICINA EVOLUTIVA

Após 50 anos sem ela, a tuberculose reaparece... Como explicaria Darwin tal acontecimento?

Por Joana Vila, 11º ano, Agrupamento de Escolas de Mogadouro

Já há muitos anos que a tuberculose constituiu uma das mais perigosas e contagiosas doenças que a humanidade alguma vez enfrentou, uma verdadeira epidemia silenciosa. O bacilo responsável pela maior parte das ocorrências desta doença, *Mycobacterium tuberculosis*, tem vindo a ser combatido por vários antibióticos, criados ao longo dos anos com o intuito de erradicar esta candidata a catástrofe mundial. Há cerca de 50 anos a tuberculose foi praticamente extirpada nos países desenvolvidos e controlada nos países em desenvolvimento. No entanto, o bacilo causador desta doença voltou a dar que falar nos dias de hoje. Regressando ainda mais forte e resistindo a todos os antibióticos que anteriormente o aniquilavam, é necessário criar e recriar constantemente novos fármacos para o combater, sendo que quando um novo antibiótico é posto em prática no combate à tuberculose começa a contagem decrescente para que este se torne ineficaz e inútil.

Eis a questão de como o bacilo causador da tuberculose se conseguiu tornar tão imponente ao ponto de resistir a todos os antibióticos usados até agora no seu combate. Para responder a esta problemática analise-se a linha de pensamento de um conceituado naturalista britânico, Charles Darwin. Segundo este, ocorriam transformações lentas e graduais das espécies ao longo do tempo originando muitas das vezes novas espécies. Darwin recolheu a maior parte dos contributos para a sua teoria através dos dados recolhidos durante uma viagem de circum-navegação, em especial das observações efectuadas no arquipélago das Galápagos. Todos estes dados recolhidos permitiram a Charles Darwin propor a selecção natural como o mecanismo essencial que conduz à evolução. De acordo com a teoria da selecção natural proposta por Darwin, os seres vivos de uma população mais aptos, ou seja, mais bem adaptados a

determinadas condições de um meio ambiente, sobrevivem e transmitem os caracteres mais favoráveis à descendência. Dado que o ambiente nem sempre possui os recursos necessários para a sobrevivência de todos os indivíduos que nascem, tem de ocorrer uma luta pela sobrevivência durante a qual vão ser eliminados os menos aptos.

Ao longo dos anos o bacilo causador da tuberculose tem sido sujeito a uma grande variedade de ambientes impregnados de medicamentos com uma diversidade considerável de princípios activos, que com o decorrer do tempo deixam de ter o efeito desejado sobre o bacilo. Tal acontecimento desencadeia-se devido ao facto da espécie de bacilo ter evoluído. Segundo uma perspectiva darwiniana, dentro da população de bacilos da tuberculose existia variedade intra-específica, havendo bacilos menos aptos a um determinado ambiente com um certo medicamento, e outros com diferentes características que seriam mais aptos a esse ambiente. Os bacilos mais aptos resistiam aos antibióticos; por outro lado, os bacilos menos aptos eram eliminados (sobrevivência diferencial). Deste modo os bacilos portadores das variações favoráveis sobrevivem ao medicamento que lhe é administrado, transmitindo as suas características à descendência (reprodução diferencial). A longo prazo, e passadas algumas gerações, a selecção natural terá conduzido a uma acumulação de características propícias ao ambiente envolvente, originando neste caso uma população de bacilos mais resistente e por vezes imune aos antibióticos administrados contra a tuberculose.

O reaparecimento desta doença, nos nossos dias, muito mais evoluída e perigosa, deve-se à reacção diferencial que actualmente o bacilo faz aos medicamentos convencionais que surtiam efeito no seu combate e que actualmente não os afectam de maneira a pará-los, mas antes torna-os mais fortes e com maior capacidade de resistência. Caso não surjam novos medicamentos e tratamentos contra a tuberculose, esta poderá ser uma terrível realidade que teremos de enfrentar novamente. Assim, utilizando os princípios orientadores da teoria darwiniana da evolução das espécies, aplicada a organismos procariontes, é possível desenhar uma explicação relativa ao reaparecimento do bacilo da tuberculose mais fortalecido e após um período considerável de erradicação da doença.

Por Rita Campos,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

A Teoria da Evolução sintetiza um conjunto de conhecimentos que nos ajuda a compreender o mundo natural. Mas esse conhecimento não se esgota nesse campo mais teórico e actualmente a teoria tem aplicações práticas em diferentes áreas fundamentais para a sociedade. Um exemplo disso é-nos descrito pela Joana: a aplicação na medicina do que sabemos sobre o funcionamento da selecção natural. O reaparecimento de doenças que se julgavam erradicadas ou controladas, como a tuberculose, está normalmente associado ao aparecimento de estirpes de bactérias resistentes. E como se explica isto; qual a relação deste fenómeno com a teoria da evolução? Pois bem, como dito acima, explica-se facilmente, desde que se percebe como funciona a evolução, a selecção natural e a competição entre agentes infecciosos e fármacos. Na verdade, o aparecimento de bactérias resistentes é previsto pela teoria da evolução, já que qualquer população de seres vivos, face a um agente selectivo, e desde que haja variabilidade hereditária e tempo, irá evoluir e adaptar-se. Nesta história, o ser vivo é o bacilo *Mycobacterium tuberculosis* e o agente selectivo é o antibiótico utilizado. Como a Joana explica, basta que numa população de bactérias haja um ou poucos indivíduos com uma mutação que lhes permita sobreviver a um determinado antibiótico, e assim reproduzir-se, para que a mutação se mantenha na população e aumente em frequência. O resultado é que, de geração em geração, o número de indivíduos resistentes aumenta, tornando esse antibiótico ineficaz. No caso das bactérias, dado o seu curto tempo de vida e elevado número de indivíduos por geração, o tempo necessário para que toda a população se torne resistente àquele antibiótico pode ser tão curto como algumas horas. Um intervalo de tempo dramaticamente mais curto do que aquele necessário ao desenvolvimento e produção de um novo antibiótico.

A tuberculose não está mais evoluída nem o bacilo está “mais forte e com maior capacidade de resistência”, como a Joana escreve. O que mudou foi a proporção de indivíduos resistentes, em relação aos não-resistentes. A tuberculose reapareceu porque a população da bactéria que a provoca evoluiu, adaptando-se ao novo meio ambiente, que foi criado com a introdução de determinados antibióticos. Estas bactérias não estão mais evoluídas, porque a evolução não segue uma escala de progresso, mas estão sim mais adaptadas ao meio criado com os antibióticos. Uma nova alteração do meio - por exemplo a introdução de um antibiótico diferente - pode inicialmente levar à diminuição da tuberculose, mas é provável que o processo se repita, e a resistência ao novo antibiótico acabe por se tornar predominante, levando novamente ao “reaparecimento” da doença.

O estudo da competição entre agentes infecciosos e fármacos é apenas um exemplo de como a biologia evolutiva pode ajudar a compreender (e a combater) a ocorrência de doenças. A importância da integração do conhecimento evolutivo na medicina, formalmente reconhecida há cerca de 20 anos, abrange o estudo das doenças metabólicas, auto-imunes, infecciosas, as interacções hospedeiro-parasita ou a proliferação de células cancerígenas. Este conjunto de conceitos e abordagens, designado de “Medicina Evolutiva” ou “Medicina Darwiniana”, foca-se

nas causas últimas, evolutivas, da doença. O princípio é o de que a selecção natural terá moldado a evolução de muitas das características humanas, pelo que a doença é encarada como uma reacção adaptativa a uma qualquer perturbação (ambiental ou fisiológica) ou um produto secundário de outra resposta adaptativa. Assim, por exemplo, as doenças metabólicas, de que a diabetes tipo II é um exemplo, ou intolerâncias alimentares, como a síndrome da intolerância à lactose, podem ser melhor compreendidas se forem enquadradas num contexto de alteração recente da nossa alimentação e requerimentos energéticos; o início da agricultura e da sedentarização terá cerca de 10 mil anos, um intervalo de tempo curto numa perspectiva evolutiva.

A investigação médica na procura de uma cura para o cancro também beneficia de um enquadramento evolutivo e da aplicação de ferramentas há muito utilizadas em estudos de biologia evolutiva, como por exemplo a reconstrução das relações evolutivas entre células cancerígenas. Considerando que cada linhagem celular tem a sua própria história evolutiva, sequenciando o ADN de metástases é possível identificar a origem do cancro. Este procedimento já revelou, por exemplo, que cancros malignos considerados de rápida progressão, como o cancro do pâncreas, têm afinal uma história pré-diagnóstico bastante longa, e se detectado precocemente pode ter um tratamento eficaz. Por outro lado, pode-se aplicar às células cancerígenas o mesmo raciocínio que descrevemos para as bactérias para desenhar novas estratégias no uso da quimioterapia: se os tumores malignos estão a evoluir sob a acção da selecção natural, há competição entre tumores mais e menos malignos; se estes últimos abrandam a expansão dos primeiros, então doses controladas de quimioterapia poderão ajudar a manter a competição e retardar a expansão dos tumores mais agressivos.

A integração do conhecimento gerado no campo da biologia evolutiva na medicina permitiu já avanços significativos na compreensão da doença. A sua importância tem crescido nos últimos anos, embora muitos cursos de medicina ainda careçam de uma sólida formação em biologia evolutiva. Mas será a medicina evolutiva a solução para a doença? A perspectiva evolutiva coloca a doença como parte da história do ser humano o que, por sua vez, leva à formulação de novas questões, relativas à perspectiva médica “convencional”. Talvez na procura de respostas a essas questões se encontrem novas formas de combater a doença.

CAPÍTULO 26: DARWINISMO SOCIAL

Darwinismo, pai do Nazismo ou não?

Por David Afonso, 11º ano, Agrupamento de Escolas de Mogadouro

Será mesmo o Darwinismo, teoria que tanto nos ajudou no processo de evolução do conhecimento, antecessora de um movimento militar tão nefasto e negro como o Nazismo?

A resposta a essa pergunta, infelizmente é sim...

O Darwinismo é uma teoria que considera que na luta pela sobrevivência, numa mesma espécie, os indivíduos mais fortes, aqueles que possuem as características mais propícias para a sobrevivência, são os que sobrevivem em relação aos mais fracos, que são eliminados através da selecção natural. O Nazismo, como é do conhecimento de todos, foi um movimento de extrema-direita dirigido por Adolf Hitler no qual os judeus foram martirizados e exterminados durante vários anos. A relação de proximidade e influência entre as duas correntes de pensamento, que aparentemente nada tinham em comum, surge por influência de um primo de Darwin, Francis Galton, que aliando os princípios da selecção natural, uma teoria inofensiva, à eugenia conduziu a um extremo impensável, o Nazismo.

Dez anos depois da publicação de “A origem das espécies” de Darwin, surge a publicação de “A hereditariedade do génio” às mãos de seu primo, na qual propõem uma selecção artificial das novas gerações, criando uma espécie perfeita onde seria impossível haver impurezas. Isso é o cerne da teoria: a eugenia aplicada a populações humanas, em que só os bem-nascidos, nascidos em famílias nobres, tinham direito a viver no mundo. Do círculo pensante do qual fazia parte o primo de Darwin, juntamente com muitos outros autores, que tal como ele comungavam dos mesmos ideais, este destaca-se, ao defender que forças cegas como a selecção natural deveriam ser substituídas por um agente propulsor do progresso, uma selecção consciente em que o Homem deveria usar todo o conhecimento a fim de promover o progresso físico e moral no futuro. As ideias

do livro de Galton tiveram como consequência a criação de organizações que defendiam essas concepções com o intuito de eliminar os portadores de problemas físicos e mentais incapacitantes. Com isto a eugenia sofreu uma evolução e posterior aplicação por várias partes do mundo como a América e a Europa, mais especificamente a Alemanha, que com Hitler no comando iniciou o caos... começou a “purga” dos inferiores... morte, escravidão... sofrimento... fome... desrespeito pela dignidade humana.

Para Hitler os judeus eram das “raças mais impuras” à face da Terra, e para que a raça perfeita, os arianos, tivesse locais para habitar, os judeus foram mortos aos milhares, até perfazer os 20 milhões estimados na actualidade. Por todos os relatos e registos da história é inevitável considerar-se que o Darwinismo “deu à luz” um aborto malévolo, pérfido e corrompido... o tão conhecido Nazismo.

Por Rui Faria,

*Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidade do Porto*

A resposta é categórica: Não!

É verdade que por vezes nos deparamos com alusões a uma possível ligação entre o Nazismo e o Darwinismo, embora muitas destas tentativas de associação tenham origem em sectores anti-evolucionistas. Um dos argumentos frequentemente apresentados por estas correntes é que alguns dos conceitos centrais da teoria da selecção natural posposta por Charles Darwin, como a “luta pela existência” ou a “sobrevivência do mais apto”, estarão na base de alguns dos ideais mais atrozes do Nazismo. Entre estes, a eliminação de “raças humanas inferiores” e a guerra entre povos como um meio para eliminar os elementos menos aptos das “raças humanas superiores”, com o objectivo, segundo a ideologia nazi, de “aperfeiçoar a espécie humana”, acabariam por ter as consequências desastrosas que infelizmente todos conhecemos.

No entanto, estas acusações são largamente infundadas. Tal como defendido por Richard Dawkins, o ponto comum entre o Nazismo e o Darwinismo é que ambos se baseiam no princípio de selecção artificial, nomeadamente nas práticas de selecção e melhoramento praticadas por criadores de raças e variedades de animais e plantas domésticas. As diferenças começam quando Darwin aplicou esses princípios à Natureza, enquanto Hitler os aplicou à espécie humana. Esta é uma diferença fundamental. A selecção artificial em humanos é uma componente central da eugenia (ou da noção de que é possível melhorar ou aperfeiçoar o património genético humano), a qual foi levada a extremos pelo regime nazi, entre outros. “No entanto, é importante salientar que eugenia não é Darwinismo” (R. Dawkins). As característi-

cas que surgiram na espécie humana através da acção da selecção natural dificilmente seriam as mesmas se tivessem sido seleccionadas pelos próprios humanos e vice-versa. A selecção natural não nos leva necessariamente ao individualismo ou à guerra entre grupos étnicos. Pelo contrário, segundo Dawkins, pode até estar na origem da cooperação entre indivíduos ou povos e até mesmo do altruísmo em humanos. Pelo mesmo princípio, não podemos usar o Darwinismo como uma base de apoio científico ao capitalismo.

Poder-se-ia argumentar que o Darwinismo, apesar de não ter sido a fonte de inspiração do Nazismo, foi usado como base científica para justificar as mais bárbaras práticas nazis. No entanto, não podemos confundir uma ideologia política (e social) com uma teoria científica. O conhecimento científico em si não deve ser classificado como “bom” ou como “mau”. O que é bom ou mau é o uso que é dado a esse conhecimento. Neste aspecto, não existe nada tão prejudicial como usar o apoio de uma teoria científica, ainda que esse apoio seja infundado e inexistente, para dar credibilidade a uma ideia inicialmente nefasta à sociedade, como a da “supremacia de uma raça”. Em primeiro lugar, a corrente dominante há muitos anos em biologia evolutiva é que não existem fundamentos genéticos para classificar os indivíduos da nossa espécie nas diferentes raças tradicionalmente consideradas. Por exemplo, poderá haver mais diferenças genéticas entre dois indivíduos de uma “raça” do que entre dois indivíduos de “raças” diferentes. É aliás surpreendente que, apesar do grau de miscigenação existente actualmente no mundo, se continue a dar mais importância às diferenças do que ao gradiente de cor da pele em humanos. Em segundo lugar, grande parte dos cidadãos que defendem o Darwinismo (cientistas ou não) partilham valores como a bondade, amabilidade, empatia, união e cooperação entre povos, tal como a maior parte dos seres humanos. Logo, o Darwinismo não pode ser considerado uma má influência na construção de uma sociedade. O que aconteceu no passado foi que o Nazismo usou uma teoria científica (Darwinismo) para apoiar a sua doutrina, apesar das diferenças fundamentais entre estas. Defender o Nazismo não implica estar de acordo com a selecção natural, caso contrário deixar-se-ia a Natureza actuar como agente selectivo em vez do Homem; assim como defender Darwinismo está longe de significar apoiar o Nazismo, uma vez que, tal como acontece com outras espécies, a selecção natural terá sempre uma palavra a dizer no jogo da evolução humana.

É importante salientar que ameaças como a do Nazismo não desapareceram completamente da sociedade. Não só grupos nazis continuam a existir, como até mesmo a proliferar nalgumas partes do mundo; como reminiscências da eugenia, espreitam por uma oportunidade a cada passo do desenvolvimento científico nas áreas de reprodução e engenharia genética. A este nível, a possibilidade de pré-seleccionar características dos que vão nascer através de manipulação genética levanta enormes desafios éticos. Até que ponto será útil ou benéfico exercer este tipo de selecção artificial? A resposta normalmente varia conforme nos referimos a uma doença ou a uma característica (como, por exemplo, a cor dos olhos), assim como se os interlocutores são pais, médicos ou antropólogos. Os desafios éticos que nos esperam são enormes e os limites nem sempre serão fáceis de definir. Mas, tal como foi referido anteriormente, não há bom nem mau conhecimento científico. O que estará sujeito a esta avaliação de valores será o uso que fizermos deste tipo de avanços tecnológicos. O mais importante é que a sociedade esteja preparada para reagir oportuna e proporcionalmente contra o tipo de

atrocidades como as que foram cometidas pelo Nazismo, se algum dia algo semelhante estiver prestes a acontecer, seja por motivos ideológicos, étnicos ou religiosos. Qualquer que seja o caminho delineado, a nossa espécie não conseguirá ludibriar incessantemente o poder da selecção natural.

PARTE II

CONCEPÇÕES

ERRADAS SOBRE

EVOLUÇÃO

Infelizmente, muitas pessoas têm concepções erradas persistentes sobre evolução. Algumas são simples mal-entendidos - ideias que se desenvolvem no decurso da aprendizagem sobre evolução, possivelmente a partir de experiências escolares e/ou através dos meios de comunicação. Outras concepções erradas podem resultar de tentativas propositadas de deturpar a Teoria da Evolução e prejudicar a compreensão do público sobre este tema.

Neste capítulo apresentam-se algumas das concepções erradas mais comuns sobre evolução bem como esclarecimentos sobre essas ideias erradas. Excepto no que se refere às últimas quatro concepções erradas, que foram identificadas pela professora Paula Paiva, da Escola Secundária Avelar Brotero (Coimbra) e corrigidas por Rita Campos, do Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO), Universidade do Porto, o conteúdo deste capítulo é uma tradução do separador “*Misconceptions about Evolution*”, do site educativo “*Understanding Evolution*”. Os conceitos assinalados com um sublinhado encontram-se definidos no Glossário.

No blogue “Um livro sobre evolução” (<http://umlivrosobreevolucão.blogspot.com>) encontra, no final de algumas correcções, sugestões de leitura de outros artigos.

Traduzido de *Understanding Evolution*, com permissão.
("Misconceptions about Evolution." *Understanding Evolution*.
University of California Museum of Paleontology. 22
August 2008 <[http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/
misconceptions_faq.php](http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/misconceptions_faq.php)>.)

1. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE A TEORIA DA EVOLUÇÃO E PROCESSOS EVOLUTIVOS

CONCEPÇÃO ERRADA: A evolução é uma teoria sobre a origem da vida

CORRECÇÃO: De facto, a teoria da evolução inclui ideias e evidências relacionadas com a origem da vida (por exemplo, se ocorreu ou não próximo de uma fonte hidrotermal oceânica, a grande profundidade; que molécula orgânica surgiu primeiro; etc.) mas este não é o tópico central da teoria da evolução. A maior parte dos biólogos evolutivos estuda a forma como a vida terá mudado depois da sua origem. Independentemente de como a vida começou, depois ramificou-se e diversificou-se; a maior parte dos estudos sobre evolução focam-se nesses processos.

CONCEPÇÃO ERRADA: A teoria da evolução implica que a vida tenha evoluído (e continue a evoluir) de forma aleatória ou ao acaso

CORRECÇÃO: A sorte e o acaso influenciam a evolução e a história da vida de maneiras muito diferentes; no entanto, alguns mecanismos evolutivos importantes são não-aleatórios e estes tornam todo o processo não-aleatório. Por exemplo, considere-se o processo de selecção natural, que resulta em adaptações - características dos organismos que parecem adequar-se ao ambiente em que ele vive (por exemplo, a adequação entre a flor e o seu polinizador, a coordenação da resposta imunitária contra agentes patogénicos e a capacidade de ecolocalização dos morcegos). Estas incríveis adaptações claramente não aconteceram “por acaso”. Elas evoluíram através de uma combinação de processos aleatórios e não-aleatórios. O processo de mutação, que gera variação genética, é aleatório, mas a selecção é não-aleatória. A selecção favoreceu variantes mais capazes de sobreviver e de se reproduzirem (por ex., para ser polinizado, para se defender de agentes patogénicos ou para se orientar no escuro). Ao longo de muitas gerações de mutações aleatórias e selecção não-aleatória, evoluíram adaptações complexas. Dizer que a evolução acontece “por acaso” é ignorar metade da história.

CONCEPÇÃO ERRADA: A evolução resulta no progresso; através da evolução, os organismos estão continuamente a aperfeiçoar-se

CORRECÇÃO: Um importante mecanismo evolutivo, a selecção natural, resulta na evolução de aptidões de sobrevivência e reprodução melhoradas; no entanto, isto não significa que a evolução é progressiva - por variadas razões. Primeiro, conforme descrito na correcção da concepção errada “A selecção natural produz organismos que estão perfeitamente adaptados ao seu ambiente”, a selecção natural não produz organismos perfeitamente

adaptados ao seu ambiente. Muitas vezes permite a sobrevivência de indivíduos com uma pluralidade de características - indivíduos que são “suficientemente bons” para sobreviver. Logo, não são sempre necessárias alterações evolutivas para que uma espécie persista. Muitos taxa (como musgos, fungos, tubarões, didelfimorfos [mamíferos marsupiais americanos, da ordem Didelphimorphia] ou lagostins) mudaram pouco fisicamente ao longo de grandes extensões de tempo. Segundo, há outros mecanismos evolutivos que não causam alterações adaptativas. Mutações, migração e deriva genética podem levar a que populações evoluam de maneiras que são largamente prejudiciais ou que as torna menos adaptadas ao seu ambiente. Por exemplo, a população Africander da África do Sul tem uma frequência anormalmente elevada do variante genético que causa a doença de Huntington porque este terá aumentado em frequências, por deriva genética, à medida que a população cresceu a partir de uma pequena população fundadora. Finalmente, a noção de “progresso” não faz sentido quando falamos de evolução. Alterações climáticas, mudanças de caudais de rios, invasões de novos competidores - e um organismo com uma característica que é benéfica numa situação pode estar mal equipado para sobreviver quando o ambiente muda. E mesmo que nos focássemos num único ambiente e habitat, a ideia de como medir o “progresso” é enviesada pela perspectiva do observador. Da perspectiva de uma planta, a melhor medida de progresso pode ser a capacidade de realizar a fotossíntese; de uma aranha, pode ser a eficiência de um sistema de transferência de veneno; de um humano, a capacidade cognitiva.

É tentador ver a evolução como uma grande escada progressiva, com o *Homo sapiens* a emergir no seu topo. Mas a evolução produz uma árvore, não uma escada - e nós somos apenas um de muitos ramos nessa árvore.

CONCEPÇÃO ERRADA: Os organismos podem evoluir durante o seu tempo de vida

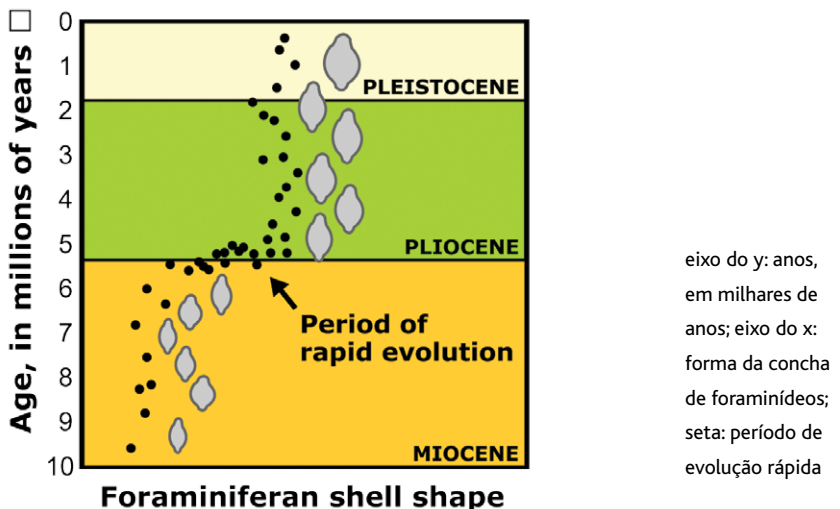
CORRECÇÃO: A definição de alterações evolutivas baseia-se em alterações no património genético das populações ao longo do tempo. São as populações, e não os indivíduos, que mudam. Alterações que ocorrem num indivíduo durante o seu tempo de vida podem ser de desenvolvimento (por exemplo, um macho de uma ave a quem cresce uma plumagem mais colorida quando atinge a maturação sexual) ou podem ser causadas pela forma como o ambiente afecta um organismo (por exemplo, uma ave que perde penas porque está infectada por parasitas); no entanto, estas mudanças não são causadas por alterações nos genes.

Apesar de ser útil haver uma forma das alterações ambientais causarem alterações adaptativas nos nossos genes - quem não gostaria de ter um variante genético de resistência à malária quando fosse de férias para

Moçambique? - a evolução não funciona dessa forma. Novos variantes genéticos (ou seja, alelos) são produzidos por mutações aleatórias e, ao longo de muitas gerações, a selecção natural pode favorecer variantes vantajosos, levando a que estes se tornem mais comuns na população.

CONCEPÇÃO ERRADA: A evolução apenas ocorre de forma lenta e gradual

CORRECÇÃO: A evolução ocorre de forma lenta e gradual mas também pode ocorrer rapidamente. Temos vários exemplos de evolução lenta e gradual - por exemplo, a evolução gradual das baleias a partir do seu mamífero terrestre ancestral, como documentado no registo fóssil. Mas também sabemos de muitos casos em que a evolução ocorreu rapidamente. Por exemplo, temos um registo fóssil detalhado que mostra como algumas espécies de organismos unicelulares, chamados foraminídeos, evoluíram novas formas num piscar de olhos geológico, como se mostra abaixo.



Da mesma forma, podemos observar episódios de evolução rápida a acontecer ao nosso redor todo o tempo. Ao longo dos últimos 50 anos, observámos esquilos a evoluir novas épocas reprodutivas em resposta a alterações climáticas, uma espécie de peixe a evoluir resistência a toxinas despejadas ilegalmente no rio Hudson, nos Estados Unidos da América, e uma série de micróbios a evoluir resistência a novos medicamentos que desenvolvemos. Diversos factores podem favorecer a evolução rápida - populações de pequeno tamanho, tempos de geração curtos, grandes mudanças nas condições ambientais - e as evidências deixam claro que isto já aconteceu várias vezes.

CONCEPÇÃO ERRADA: Porque a evolução é lenta, os seres humanos não conseguem influenciar

CORRECÇÃO: Como foi descrito na correcção da concepção errada “A evolução apenas ocorre de forma lenta e gradual”, a evolução por vezes ocorre de forma rápida. E uma vez que os seres humanos muitas vezes causam grandes alterações no ambiente, somos frequentemente os instigadores da evolução de outros organismos.

Alguns exemplos de evolução causada por acções humanas incluem casos em que: i) várias espécies evoluíram devido às alterações climáticas; ii) populações de peixes evoluíram devido às nossas práticas pesqueira; iii) insectos, como percevejos, ou pestes agrícolas evoluíram resistências aos nossos pesticidas; iv) bactérias, o vírus HIV, parasitas que provocam malária e células cancerígenas evoluíram resistências aos nossos fármacos.

CONCEPÇÃO ERRADA: A deriva genética ocorre apenas em populações pequenas

CORRECÇÃO: A deriva genética tem um efeito maior em populações pequenas mas o processo ocorre em todas as populações - grandes ou pequenas. A deriva genética ocorre porque, devido ao acaso, os indivíduos que se reproduzem podem não representar exactamente o património genético de toda a população. Por exemplo, numa geração de uma população de ratos de cativeiro, os indivíduos de pêlo castanho podem reproduzir-se mais do que os indivíduos de pêlo branco, fazendo com que a versão do gene que codifica o pêlo castanho aumente de frequência na população - não porque beneficia sobrevivências mas apenas devido ao acaso. O mesmo processo ocorre em populações grandes: alguns indivíduos podem ter sorte e deixar muitas cópias dos seus genes na geração seguintes enquanto outros podem ter azar e deixar menos cópias. Isto faz com que a frequência de diferentes versões de um gene sofra flutuações (“derive”) de geração para geração. No entanto, em populações grandes, as alterações das frequências das diferentes versões de um gene, de geração para geração, tende a ser pequena enquanto em populações pequenas estas alterações podem ser maiores.

Independentemente do seu impacto ser maior ou menor, a deriva genética ocorre sempre, em todas as populações. É igualmente importante ter em atenção que a deriva genética actua ao mesmo tempo que outros mecanismos evolutivos, como a selecção natural ou a migração.

CONCEPÇÃO ERRADA: Os seres humanos não estão a evoluir

CORRECÇÃO: Actualmente, os seres humanos são capazes de modificar o ambiente com tecnologia. Inventámos tratamentos médicos, práticas agrícolas e estruturas económicas que alteram significativamente os

desafios da reprodução e sobrevivência que enfrentamos. Por isso, por exemplo, porque conseguimos tratar a diabetes com insulina, nos países desenvolvidos a versão genética que contribui para a diabetes juvenil já não está sob a forte influência da selecção negativa (ou seja, já não é fortemente seleccionada para desaparecer). Alguns argumentaram que tais avanços tecnológicos significam que optámos por nos excluirmos do jogo da evolução e nos colocámos fora do alcance da selecção natural – essencialmente, que parámos de evoluir. No entanto, não é este o caso. Os seres humanos ainda enfrentam desafios à sobrevivência e à reprodução só que não são os mesmos de há 20 mil anos. A direcção, mas não o facto da nossa evolução, mudou. Por exemplo, os humanos modernos que vivem em áreas densamente povoadas enfrentam maiores riscos de doenças epidémicas que os nossos ancestrais caçadores-recolectores (que, no seu dia-a-dia, nunca contactaram de forma próxima com tantas pessoas) – e esta situação favorece a disseminação de versões genéticas que nos protegem destas doenças.

Os cientistas descobriram muitos destes casos de evolução humana recente. No blogue “Um livro sobre evolução” encontra ligações para saber mais sobre: i) a evidência genética sobre evolução humana recente; ii) a recente evolução de adaptações que permitem que seres humanos consigam viver em altitudes elevadas; iii) a evolução recente de traços genéticos humanos que protegem da malária; iv) a evolução recente da tolerância à lactose em humanos.

CONCEPÇÃO ERRADA: As espécies são entidades naturais distintas, com uma definição clara, e que são facilmente identificáveis por qualquer pessoa

CORRECÇÃO: Muitos estão familiarizados com o conceito biológico de espécie, que define uma espécie como um grupo de indivíduos que real ou potencialmente acasalam na natureza. Esta definição pode parecer exacta e lógica - e para muitos organismos (por exemplo, mamíferos) funciona bem - mas em inúmeros outros casos é difícil de aplicar. Por exemplo, muitas bactérias reproduzem-se assexuadamente. Nestes casos, como se pode aplicar o conceito biológico de espécie? Muitas plantas e alguns animais produzem híbridos na natureza, mesmo se maioritariamente se cruzem com indivíduos do seu próprio grupo. Deverão os grupos que ocasionalmente hibridizam em áreas específicas ser considerados a mesma espécie ou espécies distintas?

O conceito de espécie é confuso porque os humanos inventaram este conceito para facilitar a compreensão da diversidade do mundo natural. É difícil de aplicar porque o termo espécie reflecte a nossa tentativa de dar nomes discretos a diferentes partes da árvore da vida – que não é nada discreta, mas sim uma teia da vida contínua, ligada desde as suas raízes até às suas folhas.

2. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE SELECÇÃO NATURAL E ADAPTAÇÃO

CONCEPÇÃO ERRADA: Selecção natural implica que os organismos se tentam adaptar

CORRECÇÃO: A selecção natural leva à adaptação das espécies ao longo do tempo mas esse processo não envolve esforços, tentativas ou vontades. A selecção natural resulta naturalmente da variação genética de uma população e do facto de alguns desses variantes poderem ser capazes de deixar mais descendentes na geração seguinte do que outros variantes. Essa variação genética é gerada por mutações aleatórias - um processo que não é afectado pelo que os organismos de uma população querem ou o que estão a “tentar” fazer. Ou um indivíduo tem alelos que são suficientemente bons para a sua sobrevivência e reprodução ou não tem; não pode obter os alelos certos “tentando”. Por exemplo, as bactérias não evoluem resistências aos nossos antibióticos porque “tentam” muito. Em vez disso, as resistências evoluem porque mutações aleatórias por acaso produzem indivíduos que são mais capazes de sobreviver ao antibiótico e esses indivíduos conseguem reproduzir-se mais que outros, deixando mais bactérias resistentes.

CONCEPÇÃO ERRADA: A selecção natural dá aos organismos o que eles precisam

CORRECÇÃO: A selecção natural não tem qualquer intenção ou sentido; não pode prever o que uma espécie ou um indivíduo “precisa”. A selecção actua sobre a variação genética de uma população e esta variação genética é gerada por mutação aleatória - um processo que não é afectado pelo que os organismos de uma população precisam. Se por acaso uma população tem variação genética que permite que alguns indivíduos sobrevivam a um desafio melhor que outros, ou se reproduzam mais, então esses indivíduos vão ter mais descendentes na geração seguinte e a população vai evoluir. Se essa variação genética não existir na população, a população pode sobreviver na mesma (mas não evolui por selecção natural) ou pode desaparecer. Mas a selecção natural não lhe vai dar o que “precisa”.

CONCEPÇÃO ERRADA: Os seres humanos não podem ter impactos negativos nos ecossistemas porque as espécies irão evoluir de acordo com o que precisam para sobreviver

CORRECÇÃO: Tal como descrito na concepção errada anterior, “A selecção natural dá aos organismos o que eles precisam”, a selecção natural não dá automaticamente aos indivíduos as características que estes “precisam” para

sobreviver. Claro que algumas espécies podem ter características que lhes permitem um maior sucesso sob certas condições de alterações ambientais provocadas pelos humanos mas outras poderão não as ter e extinguirem-se. Se uma população ou espécie não tiver a variação genética certa, não irá evoluir em resposta às alterações ambientais provocadas pelos humanos, independentemente dessas alterações serem causadas por poluentes, mudanças climáticas, invasões do habitat ou outros factores. Por exemplo, à medida que as mudanças climáticas fazem com que os glaciares do Oceano Ártico se tornem mais finos e derretam cada vez mais cedo, os ursos polares têm mais dificuldade em obter alimentação. Se as populações de urso polar não tiverem variação genética que permita que alguns indivíduos aproveitem as oportunidades de caça que não dependem dos blocos de gelo oceânico, este animal pode extinguir-se no estado selvagem.

CONCEPÇÃO ERRADA: A selecção natural actua para beneficiar as espécies

CORRECÇÃO: Quando ouvimos falar sobre altruísmo na natureza (por exemplo, os golfinhos gastarem energias a tomar conta de um indivíduo doente ou um suricata a avisar outros da aproximação de um predador, ainda que isso coloque o indivíduo que dá o alarme em risco extra) é tentador pensar que esses comportamentos apareceram por selecção natural que favorece a sobrevivência das espécies - que a selecção natural promove comportamentos que são bons para a espécie, como um todo, mesmo que sejam desfavoráveis ou coloquem em risco indivíduos da população. No entanto, esta impressão está incorrecta. A selecção natural não antecipa nem tem intenções. Simplesmente selecciona indivíduos de uma população, favorecendo características que permitem que os indivíduos sobrevivam e se reproduzam mais, produzindo mais cópias dos genes desses indivíduos na geração seguinte. De facto, teoreticamente uma característica que é vantajosa para o indivíduo (por exemplo, ser um predador eficiente) pode tornar-se cada vez mais frequente e acabar por conduzir à extinção de toda a população (por exemplo, se a predação eficiente na verdade fizer com que se extinga toda a população de presas, deixando os predadores sem fonte de alimentação).

Então qual é a explicação que a evolução dá para o altruísmo se este não existe para benefício das espécies? Esses comportamentos podem evoluir de muitas maneiras. Por exemplo, se as acções altruístas são “pagas” noutras alturas, este tipo de comportamento pode ser favorecido pela selecção natural. De forma similar, se o comportamento altruísta aumentar a sobrevivência e a reprodução de um parente próximo do indivíduo (que é igualmente susceptível de ter os mesmos variantes genéticos para o altruísmo), este comportamento pode-se disseminar pela população via selecção natural.

Estudantes avançados de biologia evolutiva poderão ter interesse em saber que a selecção actua a diferentes níveis e que, em certas circunstâncias, a selecção ao nível da espécie pode ocorrer. No entanto, é importante lembrar que mesmo neste caso a selecção não tem nenhuma previsão e não está a “apontar” para qualquer resultado; simplesmente favorece as unidades reprodutivas que são melhores a deixar cópias de si na geração seguinte.

CONCEPÇÃO ERRADA: Numa população, os organismos mais aptos são aqueles que são mais fortes, saudáveis, rápidos e/ou maiores

CORRECÇÃO: Em termos evolutivos, aptidão tem um significado diferente do significado quotidiano da palavra. A aptidão evolutiva de um organismo não diz nada sobre a sua saúde mas antes sobre a sua capacidade de passar os seus genes para a geração seguinte. Quanto mais descendentes férteis um organismo deixar, mais apto é. Isto não se correlaciona necessariamente com força, velocidade ou tamanho. Por exemplo, um macho franzino de uma espécie de ave com penas da cauda brilhantes pode deixar mais descendentes que um macho forte mas mais escuro e uma planta frágil com grandes vagens cheias de sementes pode deixar mais descendentes que um espécime maior - o que significa que a ave franzina e a planta frágil têm mais aptidão evolutiva que os seus iguais mais fortes e maiores.

CONCEPÇÃO ERRADA: A selecção natural é a sobrevivência dos organismos mais aptos numa população

CORRECÇÃO: Embora a “sobrevivência dos mais aptos” seja o lema da selecção natural, a “sobrevivência do suficientemente apto” é mais correcto. Na maior parte das populações, organismos com variações genéticas diferentes sobrevivem, reproduzem-se e deixam descendentes que transportam os seus genes para a geração seguinte. Não são apenas aqueles um ou dois indivíduos “melhores” que passam os seus genes para a geração seguinte. Isto é visível em populações ao nosso redor: por exemplo, uma planta pode não ter os alelos para florescer durante uma seca ou um predador pode não ser suficientemente rápido para conseguir apanhar uma presa sempre que tem fome. Estes indivíduos podem não ser os “mais aptos” da população mas são “suficientemente aptos” para se reproduzirem e passar os seus genes à geração seguinte.

CONCEPÇÃO ERRADA: A selecção natural produz organismos que estão perfeitamente adaptados ao seu ambiente

CORRECÇÃO: A selecção natural não é toda-poderosa. Há várias razões para a selecção natural não poder produzir características “perfeitamente construídas”. Por exemplo, os seres vivos são feitos de características que resultam de um conjunto complicado de concessões - mudando uma

característica para melhor pode significar uma mudança de outra para pior (por exemplo, uma ave com a plumagem da cauda “perfeita” para atrair parceiros pode ser particularmente vulnerável a predadores, por causa da sua longa cauda). E, claro, porque os organismos surgiram a partir de histórias evolutivas complexas (e não de um processo planejado ou de design), o seu futuro evolutivo está muitas vezes condicionado por características que já evoluíram. Por exemplo, mesmo que fosse vantajoso para um insecto desenvolver-se de outra forma que não através de mudas, esta alteração simplesmente não poderia acontecer porque a muda faz parte da composição genética dos insectos em vários níveis.

CONCEPÇÃO ERRADA: Todas as características de um organismo são adaptações

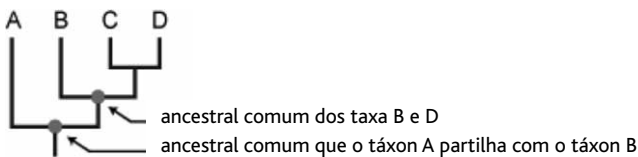
CORRECÇÃO: Uma vez que os seres vivos têm adaptações tão impressionantes (camuflagens incríveis, truques para caçar presas, flores que atraem apenas os polinizadores certos, etc.), é tentador assumir que todas as características dos organismos têm que ser de algum modo adaptativas - reparar algo num organismo e automaticamente questionar: “Para que servirá aquilo?”. Enquanto algumas características são adaptativas, é importante lembrar que muitas não são adaptações. Algumas podem ser o resultado casual da história. Por exemplo, a sequência de bases GGC codifica o aminoácido glicina simplesmente porque essa foi a forma como começou por acontecer - e foi essa a forma que herdámos do nosso ancestral comum. Não há nada de especial na relação entre GGC e glicina. É apenas um acidente histórico que se manteve.

Outras características podem ser o resultado secundário de outras características. Por exemplo, a cor do sangue não é adaptativa. Não há qualquer razão que suporte que ter o sangue vermelho seja melhor que ter o sangue verde ou azul. O vermelho do sangue é um resultado secundário da sua química, que o faz reflectir a luz vermelha. A química do sangue pode ser uma adaptação mas a cor do sangue não é uma adaptação.

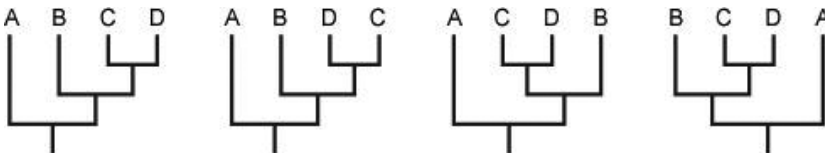
3. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE ÁRVORES EVOLUTIVAS

CONCEPÇÃO ERRADA: Taxa que são adjacentes nas pontas de uma filogenia são mais próximos entre si do que com qualquer outro taxa em pontas mais distantes da filogenia

CORRECÇÃO: Numa filogenia, a informação sobre o parentesco é representada pelo padrão de ramificação e não pela ordem dos taxa nas pontas da árvore. Organismos que partilham um ponto de ramificação mais recente (ou seja, um ancestral comum mais recente) são parentes mais próximos que organismos ligados por um ponto de ramificação mais antigo (ou seja, um que está mais próximo da raiz da árvore). Por exemplo, na árvore representada abaixo, o táxon A está adjacente ao B e mais distante do C e do D. No entanto, o táxon A é igualmente próximo dos taxa B, C e D. O ancestral/ponto de ramificação partilhado por A e B é o mesmo que o ancestral/ponto de ramificação partilhado por A e C, assim como por A e D. De forma idêntica, o táxon B está adjacente ao táxon A mas o táxon B é na verdade mais próximo do táxon D porque os taxa B e D partilham um ancestral comum mais recente (marcado na árvore abaixo) que os taxa B e A.



Pode ajudar lembrar que o mesmo conjunto de relações pode ser representado de muitas maneiras diferentes. As seguintes filogenias são equivalentes. Apesar de cada filogenia abaixo ter uma ordem diferente de taxa nas pontas da árvore, cada uma representa o mesmo padrão de ramificação. Numa filogenia, a informação está contida no padrão de ramificação e não na ordem dos taxa nas pontas da árvore.

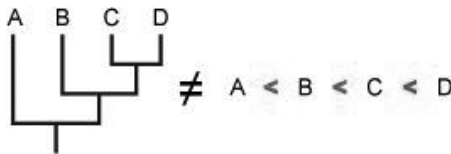


CONCEPÇÃO ERRADA: Taxa que aparecem perto da ponta ou no lado direito da filogenia são mais avançados que os outros organismos na árvore

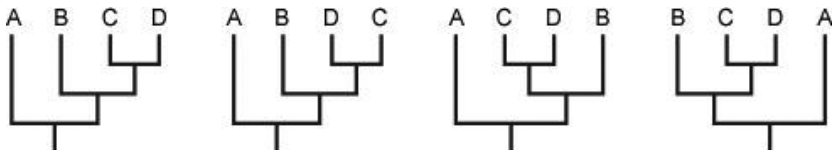
CORRECÇÃO: Esta concepção errada engloba dois equívocos distintos. Primeiro, num contexto evolutivo, termos como “primitivo” e “avanzado”

não se aplicam pois referem-se a julgamentos de valor que não têm lugar na ciência. Uma forma de uma característica pode ser *ancestral* de uma outra forma, mais *derivada*, mas dizer que uma é primitiva e a outra avançada implica dizer que a evolução envolve progresso - o que não é o caso. Para mais detalhes, veja a concepção errada sobre este tópico (“A evolução resulta no progresso; através da evolução, os organismos estão continuamente a aperfeiçoar-se”).

Segundo, a posição de um organismo numa filogenia apenas indica a sua relação com outros organismos e não quão adaptativas ou especializadas ou extremas as suas características são. Por exemplo, na árvore abaixo, o táxon D pode ser mais ou menos especializado que os taxa A, B e C.

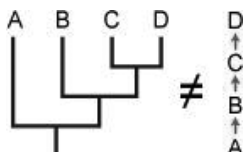


Pode ajudar lembrar que o mesmo conjunto de relações pode ser representado de muitas maneiras diferentes. Numa filogenia, a informação está contida no padrão de ramificação e não na ordem dos taxa nas pontas da árvore. As seguintes filogenias são equivalentes mas têm taxa diferentes localizados no lado direito da filogenia. Não há qualquer relação entre a ordem dos taxa nas pontas da filogenia e características evolutivas que podem ser consideradas “avançadas”.

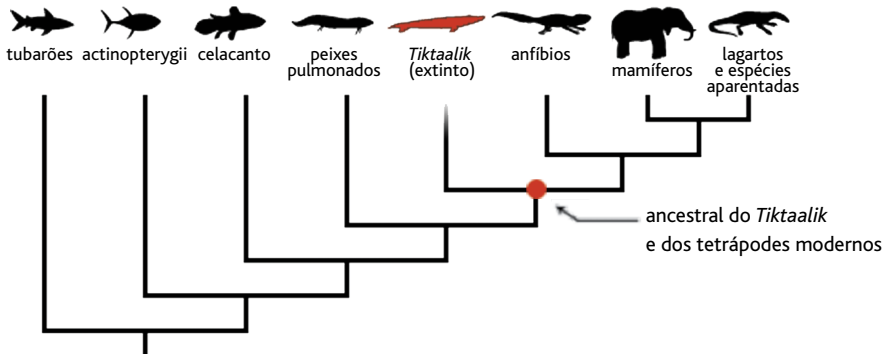


CONCEPÇÃO ERRADA: Taxa que aparecem perto da base ou no lado esquerdo da filogenia representam os ancestrais dos outros organismos na árvore

CORRECÇÃO: Nas filogenias, as formas ancestrais são representadas por ramos e pontos de ramificação e não nas pontas da árvore. As pontas da árvore (independentemente de onde se localizam - topo, base, direita ou esquerda) representam os descendentes e a árvore representa as relações entre esses descendentes. Na filogenia abaixo, o táxon A é primo dos taxa B, C e D - não o seu ancestral.

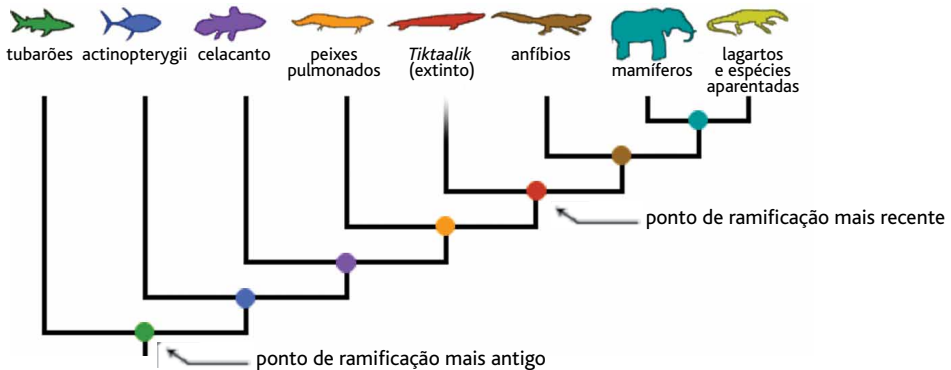


Isto é verdade mesmo que o organismo apresentado na filogenia esteja extinto. Por exemplo, *Tiktaalik* (apresentado na filogenia abaixo) é um organismo extinto, semelhante a um peixe e parente próximo do ancestral dos anfíbios, mamíferos e lagartos modernos. Apesar do *Tiktaalik* estar extinto, não é uma forma ancestral e por isso é representado na ponta da filogenia e não como um ramo ou nó. O verdadeiro ancestral do *Tiktaalik*, assim como dos anfíbios, mamíferos e lagartos modernos, está representado na filogenia abaixo.



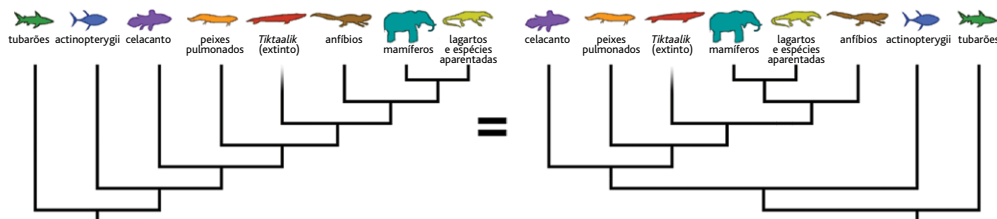
CONCEPÇÃO ERRADA: Taxa que aparecem perto da base ou no lado esquerdo da filogenia evoluíram mais cedo do que os outros taxa da árvore

CORRECÇÃO: Numa filogenia, é a ordem dos pontos de ramificação desde a raiz até à ponta que indica a ordem pela qual clados diferentes se separam uns dos outros - não a ordem dos taxa nas pontas da filogenia. Na filogenia abaixo, os pontos de ramificação mais antigo e mais recente estão marcados.



Normalmente, as filogenias são representadas de modo a que os taxa com os ramos mais compridos apareçam na base ou no lado esquerdo da filogenia (como no caso da filogenia em cima). Estes clados estão ligados à filogenia pelo ponto de ramificação mais interior e *de facto* divergiram

primeiro dos outros da filogenia. No entanto, é importante lembrar que o mesmo conjunto de características pode ser representado por filogenias com diferentes ordem dos taxa nas pontas e que os taxa com ramos mais longos não são sempre posicionados perto da esquerda ou da base da filogenia (como mostrado abaixo).

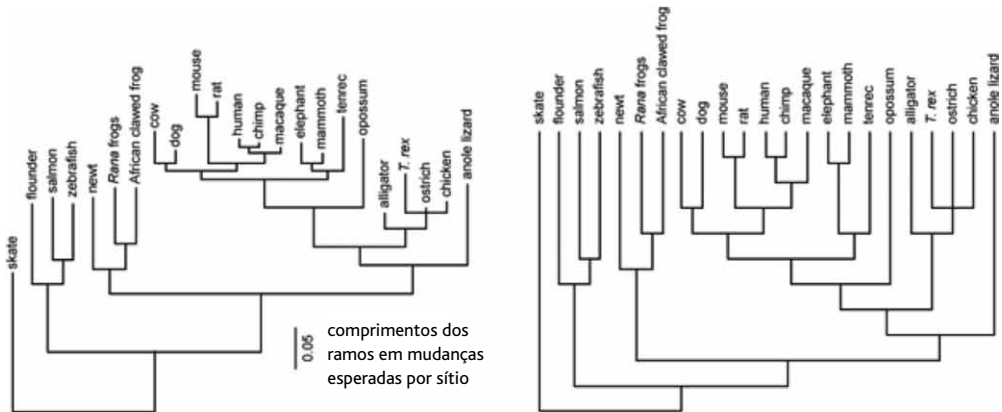


É também importante ter presente que uma quantidade substancial de mudanças evolutivas pode ter ocorrido numa linhagem depois de ela ter divergido de outras linhagens próximas. Isto significa que características que associamos a estes taxa que actualmente apresentam ramos longos podem ter evoluído apenas muito depois de estes serem linhagens distintas. Para mais informação sobre este tema, veja a concepção errada seguinte.

CONCEPÇÃO ERRADA: Numa filogenia, um braço longo indica que o táxon mudou pouco desde que divergiu de outros taxa

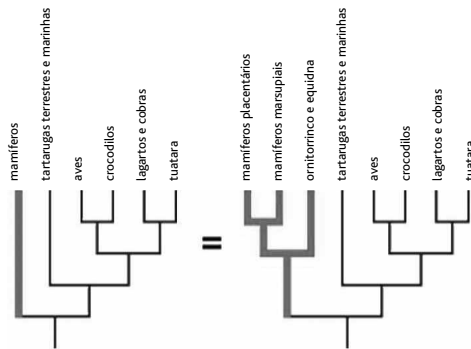
CORRECÇÃO: Em muitas das filogenias que aparecem nos livros de estudo e na imprensa popular, o comprimento do ramo não indica nada sobre a quantidade de mudanças evolutivas que ocorreram ao longo desse ramo. O comprimento dos ramos normalmente não significa nada e é apenas uma função da ordem da ramificação na árvore. No entanto, estudantes mais avançados podem estar interessados em saber que em filogenias mais avançadas, onde o comprimento dos ramos *realmente* tem significado, um ramo mais comprido normalmente indica ou um maior período de tempo desde que o táxon se separou dos restantes organismos na árvore ou *mais* mudanças evolutivas numa linhagem! Este tipo de filogenias podem ser normalmente identificadas ou por uma escala ou pelo facto de os taxa representados não se alinharem numa coluna ou linha.

Na filogenia da esquerda, em baixo, cada comprimento de um ramo corresponde ao número de mudanças de aminoácidos que evoluíram numa proteína ao longo desse ramo. Nos ramos mais compridos, a proteína colagénio parece ter experimentado mais alterações evolutivas que nos ramos mais curtos. A filogenia à direita ilustra as mesmas relações mas, nesta filogenia, o comprimento dos ramos não tem significado - notar a falta da escala e no alinhamento de todos os taxa.



O equívoco de que um táxon num ramo curto sofreu poucas mudanças evolutivas provavelmente surgiu em parte por causa da forma como as filogenias são construídas. Muitas filogenias são construídas usando um grupo externo (*outgroup*, em inglês) - um táxon que não pertence ao grupo de interesse. Por vezes um grupo externo particular é escolhido porque se pensa que tem características em comum com o ancestral do clado de interesse. O grupo externo normalmente fica posicionado perto da parte de baixo ou do lado esquerdo da filogenia e é apresentado sem qualquer dos seus parentes próximos - o que faz com que o ramo do grupo externo seja longo. Isto significa que os organismos que se julga terem características em comum com o ancestral de um clado são muitas vezes apresentados nas filogenias com ramos compridos. É importante ter em mente que isto é um artefacto e que não há uma relação entre ramos compridos e poucas mudanças evolutivas.

Pode ajudar lembrar que muitas vezes ramos longos podem tornar-se mais curtos simplesmente por se adicionar mais taxa à filogenia. Por exemplo, a filogenia à esquerda, abaixo, foca-se nas relações entre répteis e, consequentemente, os mamíferos aparecem com um ramo longo. No entanto, se simplesmente se incluírem mais detalhes sobre as relações entre mamíferos (como se mostra à direita, abaixo), nenhum táxon na filogenia tem um ramo particularmente longo. As duas filogenias estão correctas; a da direita simplesmente mostra mais detalhes sobre as relações entre mamíferos.



4. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE GENÉTICA POPULACIONAL

CONCEPÇÃO ERRADA: Cada característica é influenciada por um *locus* do tipo Mendeliano

CORRECÇÃO: Antes de aprender as características complexas ou quantitativa, os alunos geralmente aprendem as características mendelianas simples, controladas por um único *locus* - por exemplo, ervilhas redondas ou enrugadas, flores roxas ou brancas, vagens verdes ou amarelas, etc. Infelizmente, os alunos podem supor que *todas* as características seguem este modelo simples, o que não é o caso. Tanto as características quantitativas (por exemplo, altura) e qualitativas (por exemplo, a cor dos olhos) podem ser influenciadas por múltiplos *loci* e estes *loci* podem interagir uns com os outros, podendo não seguir as regras simples de dominância mendeliana. Em termos de evolução, esse equívoco pode ser problemático quando os alunos estão a aprender o equilíbrio de Hardy-Weinberg e genética de populações. Os estudantes podem precisar de ser frequentemente lembrados de que as características podem ser influenciadas por mais de um *locus* e que estes *loci* podem não envolver a dominância simples.

CONCEPÇÃO ERRADA: Cada *locus* tem apenas dois alelos

CORRECÇÃO: Antes de aprender as características complexas, os alunos geralmente aprendem os sistemas simples de genética, nos quais apenas dois alelos influenciam um fenótipo. Porque os estudantes podem não ter feito as ligações entre a genética mendeliana e a estrutura molecular

do ADN, podem não perceber que muitos alelos diferentes podem estar presentes num *locus* e assim podem assumir que todas as características são influenciadas por apenas dois alelos. Este equívoco pode ser reforçado pelo facto de que os estudantes geralmente se concentram em sistemas genéticos diplóides e pelo uso de letras maiúsculas e minúsculas para representar alelos. A utilização de letras acima da linha do texto para indicar diferentes alelos de um *locus* (bem como lembrar frequentemente que os *loci* podem ter mais do que dois alelos) pode ajudar a corrigir este equívoco.

5. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE A TEORIA DA EVOLUÇÃO E SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA

CONCEPÇÃO ERRADA: A evolução não é ciência porque não pode ser observada ou testada

CORRECÇÃO: Este equívoco engloba duas ideias incorrectas: i) que toda a ciência depende de experiências laboratoriais controladas, e ii) que a evolução não pode ser estudada usando essas experiências. Primeiro, muitas investigações científicas não envolvem experiências ou observações directas. Os astrónomos não podem ter estrelas nas suas mãos e os geólogos não podem recuar no tempo, mas ambos os cientistas podem aprender muito sobre o universo através da observação ou da comparação. Do mesmo modo, os biólogos evolutivos podem testar as suas ideias sobre a história da vida na Terra fazendo observações no mundo real. Segundo, apesar de não podermos realizar uma experiência que nos diga como foi que a linhagem dos dinossauros radiou, *podemos* estudar muitos aspectos da evolução com experiências controladas, num laboratório. Em organismos com tempos entre gerações curtos (exemplo: bactérias ou moscas da fruta), podemos mesmo observar a evolução em acção no decorrer de uma experiência. E, em alguns casos, os biólogos observaram a evolução a ocorrer na natureza.

Para aprender mais sobre evolução rápida na natureza, veja as ligações indicadas no blogue “Um livro sobre evolução” sobre: i) alterações climáticas; ii) evolução de peixes resistentes ao PCB; iii) o perfil de um investigador sobre a evolução do tamanho dos peixes devido às nossas práticas de pesca.

CONCEPÇÃO ERRADA: A evolução é “apenas” uma teoria

CORRECÇÃO: Esta concepção errada deriva de uma confusão entre o uso

casual e científico da palavra *teoria*. Na linguagem do dia-a-dia, *teoria* é muitas vezes usado como sinónimo para um palpite com pouco suporte dado pela evidência. Por outro lado, as teorias científicas são explicações abrangentes para uma ampla gama de fenómenos. Para ser aceite pela comunidade científica, uma teoria tem que ser fortemente suportada por várias linhas diferentes de evidências. A evolução é uma teoria científica bem suportada e amplamente aceite; não é “apenas” um palpite.

CONCEPÇÃO ERRADA: A teoria da evolução é inválida porque é incompleta e não consegue dar uma explicação completa para a biodiversidade que observamos à nossa volta

CORRECÇÃO: Este equívoco decorre de uma má compreensão da natureza das teorias científicas. *Todas* as teorias científicas (da teoria da evolução à teoria atómica) são trabalhos em progresso. À medida que novas provas se descobrem e novas ideias se desenvolvem, a nossa compreensão de como funciona o mundo muda, assim como também mudam as teorias científicas. Apesar de não sabemos tudo o que há para saber sobre a evolução (ou sobre qualquer outra disciplina científica), sabemos muito sobre a história de vida, o padrão de ramificação de linhagens ao longo do tempo e os mecanismos que causaram essas mudanças. E iremos aprender mais no futuro. A teoria da evolução, como qualquer outra teoria científica, ainda não explica tudo o que observamos no mundo natural. No entanto, a teoria da evolução ajuda-nos a compreender uma grande variedade de observações (do aparecimento de bactérias resistentes a antibióticos até à semelhança física entre polinizadores e suas flores preferidas), faz previsões precisas em novas situações (por exemplo, que o tratamento de pacientes de SIDA com um conjunto de medicamentos deve retardar a evolução do vírus), e provou estar correcta uma e outra vez em milhares de experiências e estudos observacionais. Até à data, a evolução é a única explicação bem suportada para a diversidade da vida.

CONCEPÇÃO ERRADA: As falhas no registo fóssil refutam a evolução

CORRECÇÃO: Apesar de ser verdade que há falhas no registo fóssil, isto não constitui evidência contra a teoria da evolução. Os cientistas avaliam as hipóteses e as teorias fazendo previsões sobre o que esperamos observar se uma determinada ideia for verdadeira e, depois, verificando se essas expectativas se confirmam. Se a teoria da evolução for verdadeira, então esperamos ver formas de transição ligando espécies antigas com os seus antepassados e os seus descendentes. Esta expectativa foi confirmada. Os paleontólogos *encontraram* vários fósseis com características de transição e novos fósseis estão continuamente a ser descobertos. No entanto, se a teoria da evolução for verdadeira, não esperamos que *todas* essas formas estejam

preservadas no registo fóssil. Muitos organismos não têm partes do corpo que fossilizam bem, as condições ambientais para formar bons fósseis são raras e, claro, apenas se descobriu uma pequena percentagem dos fósseis que estarão preservados na Terra. Por isso, os cientistas *esperam* que para muitas transições evolutivas haja falhas no registo fóssil.

6. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE A ACEITAÇÃO DA EVOLUÇÃO

CONCEPÇÃO ERRADA: A teoria da evolução tem falhas mas os cientistas não o admitem

CORRECÇÃO: Os cientistas estudaram as supostas “falhas” que os grupos anti-evolução afirmam que existem e não encontraram qualquer suporte para essas afirmações. Essas “falhas” baseiam-se em incompreensões sobre a teoria da evolução ou deturpações de evidências. À medida que os cientistas reúnem novas provas e novas perspectivas emergem, a teoria da evolução continua a ser aperfeiçoada; mas isto não significa que a teoria tem falhas. A ciência é um projecto competitivo e os cientistas estariam ansiosos para estudar e corrigir “falhas” na teoria da evolução, se estas existissem.

Para saber mais sobre como a teoria da evolução muda, veja as concepções erradas sobre este tópico (“A teoria da evolução é inválida porque é incompleta e não consegue dar uma explicação completa para a biodiversidade que observamos à nossa volta”).

CONCEPÇÃO ERRADA: A evolução é uma teoria em crise e está a colapsar à medida que os cientistas perdem crédito nela

CORRECÇÃO: A teoria da evolução não está em crise; os cientistas aceitam a evolução como a melhor explicação para a diversidade da vida por causa das múltiplas linhas de evidências que a suportam, o seu vasto poder para explicar fenómenos biológicos e a sua capacidade de fazer previsões precisas numa grande variedade de situações. Os cientistas não debatem sobre *se* a evolução aconteceu mas debatem vários detalhes sobre *como* a evolução ocorreu e ocorre em diferentes circunstâncias. Os anti-evolucionistas podem ouvir debates sobre *como* a evolução ocorre e interpretá-los erradamente como debates sobre *se* a evolução ocorreu. A evolução é uma ciência rigorosa e é tratada como tal por cientistas e académicos de todo o mundo.

CONCEPÇÃO ERRADA: A maior parte dos biólogos rejeitou o Darwinismo e já não concordam com as ideias desenvolvidas por Darwin e Wallace

CORRECÇÃO: É verdade que aprendemos muito desde o tempo de Darwin.

Hoje compreendemos as bases genéticas da herança das características, podemos datar muitos eventos no registo fóssil até algumas centenas de milhares de anos e podemos estudar a forma como a evolução moldou o desenvolvimento a um nível molecular. Estes avanços - que Darwin dificilmente poderia ter imaginado - expandiram a teoria da evolução e tornaram-na mais poderosa; no entanto, não derrubaram os princípios básicos formulados por Darwin e Wallace, de evolução por selecção natural e ancestralidade comum, simplesmente lhes adicionaram conhecimento. É importante ter em mente que a elaboração, modificação e expansão de teorias científicas é uma parte normal do processo da ciência.

Para saber mais sobre como a teoria da evolução muda, veja as concepções erradas sobre este tópico (“A teoria da evolução é inválida porque é incompleta e não consegue dar uma explicação completa para a biodiversidade que observamos à nossa volta”).

7. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE AS IMPLICAÇÕES DA EVOLUÇÃO

CONCEPÇÃO ERRADA: A teoria da evolução leva a comportamentos imorais

CORRECÇÃO: A teoria da evolução não faz considerações éticas sobre o certo e o errado. Algumas pessoas interpretam mal o facto de a evolução ter moldado o comportamento animal (incluindo o comportamento humano) como suporte da ideia de que qualquer comportamento “natural” é um comportamento “certo”. Não é esse o caso. Cabe-nos a nós, enquanto sociedade e indivíduos, decidir o que é um comportamento ético e moral. A evolução simplesmente nos ajuda a compreender como a vida se alterou e se continua a alterar ao longo do tempo - e não nos diz se esse processo ou os seus resultados são “certos” ou “errados”. Além disso, muitas pessoas acreditam erradamente que a evolução e a fé religiosa são incompatíveis e por isso assumem que aceitar a teoria da evolução encoraja comportamentos imorais. Nenhum dos casos está correcto.

Para saber mais sobre este tópico, ler a concepção errada “A teoria da evolução e a religião são incompatíveis”.

CONCEPÇÃO ERRADA: A evolução suporta a ideia de “o poder faz a razão” (da expressão em inglês “*might makes right*”) e racionaliza a opressão de algumas pessoas por outras

CORRECÇÃO: No século IXX e início do século XX, apareceu uma filosofia chamada Darwinismo Social. Esta filosofia surgiu de uma tentativa equivocada de aplicar à sociedade as lições sobre a evolução biológica.

O Darwinismo Social sugere que a sociedade deve permitir que os fracos e menos aptos falhem e morram e que esta é uma política boa e moralmente correcta. Supostamente, o mecanismo de evolução por selecção natural serviu de suporte para estas ideias. Preconceitos pré-existentes foram justificados pela noção de que nações colonizadas, pessoas pobres ou minorias desfavorecidas deverão ter merecido a sua situação porque eram “menos aptos” do que aqueles que estavam em melhor situação. Neste caso, a ciência foi mal aplicada para promover uma agenda social e política. No entanto, enquanto o Darwinismo Social como orientação política e social tem sido amplamente rejeitado, a ideia científica de evolução biológica tem resistido ao teste do tempo.

CONCEPÇÃO ERRADA: Se se ensinar aos estudantes que eles são animais, eles ir-se-ão comportar como animais

CORRECÇÃO: Uma parte da teoria da evolução inclui a noção de que todos os organismos na Terra são aparentados. A linhagem humana é um pequeno galho na árvore da vida que representa todos os animais. Isto significa que, no sentido biológico, os humanos *são* animais. Partilhamos características anatómicas, bioquímicas e comportamentais com outros animais. Por exemplo, nós, humanos, tomamos conta dos nossos jovens, formamos grupos cooperativos e comunicamos uns com os outros tal como muitos outros animais. E, claro, cada linhagem animal tem características comportamentais que são únicas. Nesse sentido, seres humanos agem como seres humanos, lesmas agem como lesmas, esquilos como esquilos. É improvável que as crianças, após saberem que estão ligados a todos os outros animais, se comecem a comportar como medusas ou texugos.

8. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE EVOLUÇÃO E RELIGIÃO

CONCEPÇÃO ERRADA: A teoria da evolução e a religião são incompatíveis

CORRECÇÃO: Por causa de alguns indivíduos e grupos que declaram de forma persuasiva as suas crenças, é fácil ter a impressão de que a ciência (o que inclui a teoria da evolução) e a religião estão em guerra; no entanto, a noção de que temos sempre que escolher entre ciência e religião é incorrecta. Pessoas com diferentes fés e níveis de conhecimento científico não vêem qualquer contradição entre ciência e religião. Para muitas destas pessoas, a ciência e a religião simplesmente lidam com diferentes domínios. A ciência lida com causas naturais para fenómenos naturais e a religião lida com crenças que estão além do mundo natural. Claro que algumas crenças religiosas contradizem explicitamente a ciência (por exemplo, a crença de que o mundo e todas as formas de vida foram criadas em seis dias literais *de facto* entra em conflito com a teoria da evolução); no entanto, a maioria dos grupos religiosos não têm qualquer conflito com a teoria da evolução ou outras descobertas científicas. Na realidade, muitas pessoas religiosas, incluindo teólogos, sentem que um maior conhecimento da natureza até enriquece a sua fé. Além disso, na comunidade científica há milhares de cientistas que são religiosos devotos e que também aceitam a evolução.

9. CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE O ENSINO DA EVOLUÇÃO

CONCEPÇÃO ERRADA: Os professores devem ensinar “os dois lados” do tema da evolução e deixar os estudantes decidir - ou dar tempo igual para o evolucionismo e o criacionismo

CORRECÇÃO: Quando os dois “lados” não são iguais não tem sentido dar tempo igual. A religião e a ciência são actividades muito diferentes e os pontos de vista religiosos não pertencem a uma aula de ciência. Nas aulas de ciência, os estudantes têm a oportunidade de discutir os méritos dos argumentos e da evidência no âmbito da ciência. Por exemplo, os estudantes podem querer investigar e discutir exactamente quando foi que o ramo das aves apareceu na árvore da vida: se antes dos dinossauros ou a partir do

clado dos dinossauros. Em contraste, um debate que coloque um conceito científico contra uma crença religiosa não tem lugar numa aula de ciência e sugere de forma errada que é preciso “escolher” entre os dois. O argumento da “justiça” tem sido usado por grupos que tentam incutir as suas crenças religiosas nos programas científicos.

Para saber mais sobre a noção de que a evolução e a religião não precisam ser incompatíveis, veja a concepção errada “A teoria da evolução e a religião são incompatíveis”.

CONCEPÇÃO ERRADA: A própria teoria da evolução é religiosa e portanto exigir que os professores ensinem evolução dá prioridade a uma religião em detrimento das restantes e viola a liberdade de expressão (viola a primeira emenda, no original)

CORRECÇÃO: Este argumento falacioso baseia-se na noção de que evolução e religião são essencialmente a mesma coisa, já que ambas são “sistemas de crenças”. Esta noção é simplesmente incorrecta. A crença nas ideias religiosas baseia-se na fé e a religião lida com tópicos para além do domínio do mundo natural. A aceitação de ideias científicas (como a evolução) baseia-se em evidências do mundo natural e a ciência limita-se a estudar os fenómenos e processos do mundo natural. Ciência e religião são claramente diferentes e a promoção de doutrinas religiosas não é permitida nas aulas de ciência.

Nos Estados Unidos da América, várias decisões judiciais decidiram favoravelmente sobre o ensino da teoria da evolução; para informações adicionais sobre decisões judiciais significativas relacionadas com o ensino da evolução, visite a ligação que se encontra no blogue “Um livro sobre evolução”.

10. OUTRAS CONCEPÇÕES ERRADAS SOBRE EVOLUÇÃO

CONCEPÇÃO ERRADA: Os seres vivos adaptam-se às condições ambientais

CORRECÇÃO: Tal como se explicou acima, na concepção errada “Seleção natural implica que os organismos se tentam adaptar”, não são os seres vivos que deliberadamente se adaptam às condições ambientais; é o seu património genético que lhes permite, ou não, adaptarem-se às condições ambientais. Assim, se um indivíduo tem determinados variantes genéticos, ou alelos, que lhe confere uma maior capacidade de sobrevivência e

reprodução no meio ambiente onde vive, então esse indivíduo estará melhor adaptado a esse meio.

CONCEPÇÃO ERRADA: Os órgãos vestigiais são órgãos atrofiados

CORRECÇÃO: Entende-se por órgão (ou estrutura) vestigial um órgão que perdeu a função original, aquela para a qual evoluiu. Estes órgãos representam vestígios de uma história evolutiva comum entre dois organismos e são, por esse motivo, considerados como uma evidência da evolução. Embora muitos órgãos vestigiais sejam de facto órgãos atrofiados e sem qualquer função aparente, como o apêndice humano ou as asas do kakapo, há muitos exemplos de órgãos vestigiais que mantiveram a sua forma e utilidade, como no caso das asas das avestruzes. Neste último caso, as asas perderam a função original, o voo, mas são importantes para o equilíbrio, defesa e reprodução destas aves.

CONCEPÇÃO ERRADA: A partir de um mesmo ancestral, devido à diferença entre os indivíduos, ocorre divergência entre os organismos que colonizam diferentes habitats

CORRECÇÃO: A unidade mais pequena da evolução é a população, não o indivíduo. Conforme explicado acima, na concepção errada “Os organismos podem evoluir durante o seu tempo de vida”, a evolução decorre das diferenças entre o património genético entre populações e este património genético é construído pela ocorrência de mutações aleatórias. Se indivíduos de uma população colonizam diferentes habitats, formando duas novas populações, podemos esperar que, ao longo do tempo, as frequências alélicas de ambas se alterem de forma diferente. Esta diferença pode dever-se a aumentos ou diminuições da frequência ou à perda de variantes genéticas que já existiam na população ancestral e à provável ocorrência de mutações específicas de cada uma das novas populações, fazendo com que um novo variante surja numa das populações mas não na outra. A alteração das frequências dos variantes genéticos partilhados, a perda aleatória desses variantes e o acumular de novos variantes levam à divergência entre as novas populações.

Em resumo, a divergência entre populações de habitats diferentes é esperada porque ao longo de várias gerações se prevê que ocorra uma acumulação de diferenças entre estas e não devido à diferença entre indivíduos da população ancestral (diversidade intra-específica).

CONCEPÇÃO ERRADA: Qualquer interferência dos seres humanos sobre outros seres vivos é selecção artificial

CORRECÇÃO: Selecção artificial ocorre quando o ser humano interfere nos cruzamentos entre indivíduos de forma a aumentar a frequência de

uma determinada característica com interesse, conduzindo à evolução de organismos domesticados. Para tal acontecer é necessário que a característica seja hereditária, ou seja, determinada por um ou mais genes, e que os sucessivos cruzamentos se façam preferencialmente entre indivíduos com a mesma característica. Por exemplo, se numa criação de coelhos nascem algumas crias com um pêlo mais comprido e macio, estas crias serão seleccionadas para se cruzarem entre si e assim aumentarem a frequência de coelhos com este tipo de pêlo. A selecção artificial é usualmente mais forte nos primeiros estádios da domesticação. Ao longo da história do Homem, muitos seres vivos foram artificialmente seleccionadas para alimentação, defesa, transporte, vestuário ou companhia. Selecção artificial é, assim, uma forma do ser humano actuar como um agente selectivo. No entanto, implica sempre uma intervenção directa e propositada na reprodução entre indivíduos com a característica sob selecção. Outras intervenções do ser humano sobre os organismos podem levar a alterações de características sem que seja considerado um caso de selecção artificial. Por exemplo, a ausência de presas em gerações recentes de elefantes asiáticos pode ser explicada pela pressão selectiva exercida pelos caçadores de marfim. Neste caso, ao não serem alvo dos caçadores, os machos sem presas ou com presas de menor tamanho têm mais oportunidade de se reproduzir, aumentando a frequência de machos sem presa nessas populações.

PARTE III

CONCEPÇÕES

ERRADAS SOBRE

EVOLUÇÃO

Glossário

Traduzido de *Understanding Evolution*, com permissão.
("Misconceptions about Evolution." *Understanding Evolution*.
University of California Museum of Paleontology. 22
August 2008 <[http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/
misconceptions_faq.php](http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/misconceptions_faq.php)>.)

Acaso (ou Aleatoriedade): de alguma forma imprevisível. As mutações são “ao acaso” (ou “aleatórias”) no sentido em que a ocorrência de mutações não pode ser prevista com base nas necessidades do organismo. No entanto, isto não implica que todas as mutações têm igual probabilidade de ocorrer ou que ocorrem sem qualquer causa física. De facto, certas regiões do genoma têm maior probabilidade de sofrer mutações que outras e vários factores físicos (por ex., as radiações) são conhecidos por causar determinados tipos de mutações.

Adaptação: uma característica moldada pela selecção natural para desempenhar a sua função actual.

Alelo: uma das versões de um gene que pode existir num *locus*. Por exemplo, o *locus* da cor da ervilha pode ter o alelo amarelo ou o alelo verde. Alelos diferentes no mesmo *locus* são normalmente representados por letras maiúsculas e minúsculas (por exemplo, os alelos A e a).

Aminoácido: o bloco constituinte das proteínas. Há cerca de 20 aminoácidos e o ADN que codifica proteínas diz à maquinaria celular quais os aminoácidos que deve usar para fabricar uma determinada proteína.

Ancestral comum: organismo ancestral que é partilhado por duas ou mais linhagens descendentes - noutras palavras, um ancestral que eles têm em comum. Por exemplo, os ancestrais comuns de dois irmãos biológicos incluem os pais e os avós; os ancestrais comuns de um coiote e um lobo incluem o primeiro canídeo e o primeiro mamífero.

ADN (ou DNA): ácido desoxirribonucleico, a molécula que transporta a informação genética de geração em geração.

Base (nucleotídica; nucleótidos):

a informação da codificação do ADN, as letras do código genético. A sequência de bases de uma região do ADN (ou seja, a sequência de As, Ts, Gs e Cs) determina o que o ADN faz - se codifica uma proteína, activa um gene, ou outra função qualquer. Nas regiões que codificam proteínas, três pares de bases codificam um único aminoácido. Por exemplo, a sequência de pares de bases ATG codifica o aminoácido metionina. Numa cadeia de ADN, as bases estão emparelhadas e alinhadas uma em frente à outra: A emparelha com T e G emparelha com C. [A=adenina; T=timina; G=guanina; C=citosina]

Clado: um grupo de organismos que inclui todos os descendentes de um ancestral comum e o seu ancestral. Por exemplo, as aves, os dinossauros, os crocodilos e os seus familiares extintos formam um clado.

Deriva genética: alterações aleatórias das frequências genéticas de uma população, de geração para geração. Acontece como resultado de um erro de amostragem - alguns genótipos reproduzem-se mais que outros, não porque são “melhores” mas simplesmente porque tiveram sorte. Este processo faz com que as frequências genéticas numa população flutuem ao longo do tempo. Alguns alelos podem mesmo “flutuar para fora” da população (ou seja, apenas por acaso, alguns alelos podem atingir uma frequência de zero). Geralmente a deriva genética provoca a diminuição da variação genética numa população.

Desenvolvimento: alterações que ocorrem num organismo ao longo do seu tempo de vida; o processo através do qual um zigoto se torna um indivíduo adulto e eventualmente morre.

Diplóide: indivíduo ou célula que transporta dois conjuntos de cromossomas. Os seres

humanos são diplóides: transportamos duas cópias de cada um dos nossos 22 cromossomas e mais dois cromossomas sexuais (ou dois Xs ou um X e um Y).

Dominância/alelo dominante: versão alélica de um gene que se observa mesmo quando está emparelhada com uma versão diferente no mesmo *locus*, no mesmo indivíduo.

Extinção: um evento no qual o último membro de uma linhagem ou espécie morre. Uma espécie pode extinguir-se quando todos os membros dessa espécie morrem ou uma linhagem pode extinguir-se quando todas as espécies que a compõem se extinguem.

Fenótipo: as características físicas de um organismo. Fenótipo pode referir-se a qualquer aspecto da morfologia, comportamento ou fisiologia de um indivíduo. O fenótipo de um organismo é influenciado pelo seu genótipo e pelo seu ambiente.

Filogenia: a relação evolutiva entre organismos; o padrão de ramificação de uma linhagem que é produzido pela verdadeira história evolutiva dos organismos em questão. Muitas das filogenias que encontramos são “árvores familiares” de grupos de espécies próximas mas também se pode usar uma filogenia para representar a relação entre todas as formas de vida.

Genes: a unidade da hereditariedade. Normalmente refere-se a uma região do ADN com um efeito fenotípico particular. Tecnicamente pode significar um fragmento de ADN que inclui uma região transcrita e uma região regulatória.

Grupo externo (*outgroup*, em inglês): uma linhagem que, numa análise filogenética, se situa fora do clado que está a ser estudado. Todos os membros do clado em estudo

serão mais próximos entre si do que com o grupo externo, levando a que o ramo do grupo externo se separe na base da filogenia.

Linhagem: uma linha contínua de descendentes; uma série de organismos, populações, células ou genes ligados por relações de ascendência/descendência.

Locus (singular): Loci (plural) o local, no ADN, onde se encontra um gene. Por exemplo, o *locus* da cor da ervilha está num local do ADN da ervilha que determina que cor vai ter a ervilha. O *locus* da cor da ervilha pode conter ADN que produz ervilhas amarelas ou ADN que produz ervilhas verdes - chamamos-lhes os alelos amarelo e verde.

Migração: o movimento de indivíduos entre populações.

Mutação: uma alteração na sequência de ADN que geralmente ocorre devido a erros na replicação ou reparação. As mutações são a principal fonte de variação genética. Alterações na composição de um genoma devido apenas à recombinação não são consideradas mutações porque a recombinação apenas altera a localização dos genes nesse mesmo genoma mas não altera a sequência desses genes.

Nó: um ponto numa filogenia onde uma linhagem ancestral se divide em duas ou mais linhagens descendentes.

População: geralmente define-se como um grupo de organismos que vivem próximos uns dos outros e que se cruzam entre si e não se reproduzem com outros membros de outros grupos semelhantes; um fundo genético. Dependendo do organismo, as populações podem ocupar regiões geográficas maiores ou mais pequenas.

Proteína: uma molécula constituída por uma sequência de aminoácidos. As proteínas são codificadas pelo ADN e são

moléculas essenciais à vida.

Seleccção natural: sobrevivência ou reprodução diferencial de diferentes genótipos numa população, levando a alterações nas frequências genéticas da população. As condições requeridas para que ocorra evolução por selecção natural incluem variação, hereditariedade, reprodução diferencial e tempo.

Táxon (singular): Taxa (plural) qualquer grupo de organismos com uma designação (por exemplo, os répteis, Felidae, besouros, *Homo sapiens*), quer forme ou não um clado.

Teoria: uma explicação geral para uma ampla gama de fenómenos. As teorias são concisas, coerentes, sistemáticas, preditivas e amplamente aplicáveis. Costumam integrar muitas hipóteses individuais. Uma teoria científica deve ser testada com evidências do mundo natural. Se uma teoria não pode ser testada com resultados experimentais, de observação, ou outros meios, então não é uma teoria científica.

Variação genética: numa definição mais vaga, refere-se à medida da diferença genética que há numa população ou espécie. Por exemplo, se uma população tem muitos alelos diferentes num *locus* pode dizer-se que essa população tem muita variação genética nesse *locus*. A variação genética é essencial para que a selecção natural possa actuar, uma vez que a selecção natural só pode aumentar ou diminuir a frequência de alelos que já existem na população.

PARTE IV

REFERÊNCIAS

E SUGESTÕES

BIBLIOGRÁFICAS

Lista da bibliografia consultada ou sugerida, por capítulo e autor.

Capítulo 1: Definição de evolução

Paola Balzaretto Cabrera:

http://es.wikipedia.org/wiki/Evolución_biológica

<http://html.rincondelvago.com/evolucion-biologica.html>

Regina Pereda Sparrowe:

http://es.wikipedia.org/wiki/Evolución_biológica

<http://www.todo-ciencia.com/biologia/0i23399200d992019505.php>

Capítulo 3: Aceitação da evolução

Mariana Costa:

Carrajola C, Martin L, Hilário T. (2012). Projeto Desafios, Santillana.

Oliveira O, Ribeiro E, Silva J. (2012). Ciência & Vida 7, Edições ASA.

Oliveira A, Cantanhede F, Catarino I, Gago M, Torrão P. (2012). Texto Editores, Leya.

Leonardo de Oliveira Martins:

<http://agencia.fapesp.br/11682>

<http://dx.doi.org/10.1002/bies.200900082>

<http://link.springer.com/article/10.1007/s12052-010-0272-7/>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12052-008-0109-9>

<http://www.skeptic.com/eskeptic/07-12-19/>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12052-012-0423-0>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12052-010-0210-8>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10699-010-9178-7>

<http://www.nature.com/nature/journal/v434/n7037/full/4341062a.html>

<http://www.economist.com/node/9036706>

<http://www.theclergyletterproject.org/>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982209017436>

<http://www.talkorigins.org/faqs/comdesc/>

Capítulo 4: Origem da variabilidade genética

Raquel Dias Andrade:

Barracha M (2007). Sínteses Esquemáticas - Biologia e Geologia 11º ano. Texto Editores.

Silva AD, Santos ME, Gramaxo F, Mesquita AF, Baldaia L, Félix JM (2012). Terra, Universo de Vida - Biologia e Geologia - 11.º Ano. Porto Editora.

Mara Filipa Oliveira Gorito:

Matias O, Martins P. (2012) *Biologia 11. Biologia. 1ªParte*. Porto: Areal.

Silva AD, Santos ME, Gramaxo F, Mesquita AF, Baldaia L, Félix JM (2012). *Terra, Universo de Vida - Biologia e Geologia - 11.º Ano*. Porto Editora.

<http://dreyfus.ib.usp.br/bio203/texto13.pdf> [Mutações génica e cromossómica; Consultado em Fevereiro de 2013].

<http://varios.jromao.com/mutacoes/mutacoes/mutacoes-cromossomicas> [Mutações cromossómicas; Consultado em Fevereiro de 2013].

<http://www.slideshare.net/aivilsilveira/aula-1-parte-1-mutao-presentation> [Mutações; Consultado em Fevereiro de 2013].

<http://www.darwin.bio.br/?p=44> [Mutações e selecção natural; Consultado em Fevereiro de 2013].

Capítulo 5: Uma hipotética carta de Mendel para Darwin

Marlene Veiga:

Charles Darwin. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado em Abril de 2013].

Gregor Johann Mendel. In Infopédia, Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado em Abril de 2013].

Hereditariedade. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado em Abril de 2013].

<http://w3.ufsm.br/geneticavegetal/Texto5.pdf>

Capítulo 6: Evolução por selecção natural

Joana Dias:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Raposa-do-Artico>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Feneco>

Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez:

<http://www.revistadini.com/noticia/729/los-herederos-de-darwin.html>

Alicia Mastretta Yanes:

Futuyma DJ. (2009). *Evolución*. Segunda edición. Editorial Sinauer.

Capítulo 7: Evolução por selecção sexual

Belen Palmira Ibarra Aguilar:

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_reinos/fauna/pavoreal/pavo_real.htm

Gonçalo Mendes Rodrigues:

Lindell J. Why Do Male Deer Have Antlers? http://www.ehow.com/facts_5124898_do-male-deer-antlers.html [Consultado em Abril de 2013].

Página do Monteiro. O veado (*Cervus elaphus*). http://www.apaginadomonteiro.net/o_veado1.htm [Consultado em Abril de 2013].

Capítulo 8: Evolução por selecção artificial

Carlos Abegão:

http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A3o#A_rela.C3.A7.C3.A3o_entre_o_c.C3.A3o_e_o_lobo

<http://www.tribunadabahia.com.br/2013/01/19/pesquisa-explica-por-que-caes-lobos-tem-comportamentos-tao-diferentes>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Lobo>

<http://www.comportamentocanino.com/site/artigos.php?id=3>

José Melo Ferreira:

Anderson TM, vonHoldt BM, Candille SI, et al. (2009). Molecular and evolutionary history of melanism in North American gray wolves. *Science* 323:1339-1343.

Axelsson E, Ratnakumar A, Arendt ML, et al. (2013.) The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet. *Nature* 495:360-364.

Larson G, Burger J. (2013). A population genetics view of animal domestication. *Trends in Genetics* 29(4):197-205.

Larson G, Karlsson EK, Perri A, et al. (2012). Rethinking dog domestication by integrating genetics, archeology, and biogeography. *PNAS* 109:8878-8883.

Lindblad-Toh K, Wade CM, Mikkelsen TS, et al. (2005). Genome sequence, comparative analysis and haplotype structure of the domestic dog. *Nature* 438:803-819.

Capítulo 9: Evolução convergente

Susana Cunha:

http://education.nationalgeographic.com/education/activity/examining-convergent-evolution/?ar_a=1

<http://animals.nationalgeographic.com/animals/mammals/giant-anteater/>

<http://animals.nationalgeographic.com/animals/mammals/aardvark/?source=A-to-Z>

http://en.wikipedia.org/wiki/Giant_anteater

<http://en.wikipedia.org/wiki/Aardvark>

Capítulo 10: Co-evolução

David Omar Arellano Contla:

<http://www.ugr.es/~jmgreyes/coevolucion.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Coevolución>

<http://interaccionevolutive.lasespecie.weebly.com/que-es-lacoevolucioacuten.html>

Sara Rocha:

<http://oyc.yale.edu/ecology-and-evolutionary-biology/eeb-122/lecture-20>

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00489.x>

[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01359-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01359-7)

<http://dx.doi.org/10.1038/ng1263>

<http://diariodobeagle.blogspot.com.es/2011/07/corrída-da-rainha-de-copas-e-evolucao.html>

<http://insects.about.com/od/butterfliesmoths/ss/Why-Dont-Monarchs-Get-Sick-From-Eating-Milkweed.htm>

<http://www.youtube.com/watch?v=gEcv3dBuOe4&list=PL5D63A12EA95D78EB>

<http://www.youtube.com/watch?v=-h8I3cqpgnA>

Capítulo 11: Evolução do voo

João Pedro Alves:

Coyne J. (2012). A Evidência da Evolução. Edições Tinta da China, Lda.

<http://genesisum.blogspot.pt/2012/04/mentira-por-tras-do-criacionismo-13.html>

Rita Fonseca:

Manual de Biologia e Geologia de 11º ano. (2011). Terra, Universo de Vida. Porto Editora, 1ª edição

http://www.brasil247.com/pt/247/revista_oasis/63890/ [Consultado em Janeiro de 2013]

http://pt.wikipedia.org/wiki/Origem_das_aves [Consultado em Janeiro de 2013]

Gonçalo Espregueira Themudo:

Agarsson I. et al. (2011). A time-calibrated species-level phylogeny of bats (Chiroptera, Mammalia). *PLoS currents* 3:RRN1212. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3038382&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Bennett SC. (1997). The arboreal leaping theory of the origin of pterosaur

flight. *Historical Biology* 12(3-4):265-290. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08912969709386566>.

Brodsky A. (1991). Vortex formation in the tethered flight of the peacock butterfly *Inachis io* L. (Lepidoptera, Nymphalidae) and some aspects of insect flight evolution. *Journal of Experimental Biology*. 161:77-95. Disponível em: <http://jeb.biologists.org/content/161/1/77.short>.

Claessens LPAM, O'Connor PM, Unwin DM. (2009). Respiratory evolution facilitated the origin of pterosaur flight and aerial gigantism. *PloS one* 4(2):e4497. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2637988&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Dial KP. (2003). Wing-assisted incline running and the evolution of flight. *Science* 299(5605): 402-404. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12532020>.

Dyke GJ, Nudds RL, Rayner JM V. (2006). Flight of *Sharovipteryx mirabilis*: the world's first delta-winged glider. *Journal of Evolutionary Biology* 19(4):1040-103. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16780505>.

Eick GN, Jacobs DS, Matthee CA (2005). A nuclear DNA phylogenetic perspective on the evolution of echolocation and historical biogeography of extant bats (chiroptera). *MBE* 22(9):1869-1886. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15930153>.

Elgin RA, Hone DWE, Frey E. (2011). The extent of the pterosaur flight membrane. *Acta Palaeontologica Polonica* 56(1):99-111. Disponível em: <http://www.app.pan.pl/article/item/app20090145.html>.

Gatesy S, Dial K. (1996). Locomotor modules and the evolution of avian flight. *Evolution* 50(1):331-340. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2410804>.

Grimaldi D, Engel MS. (2005). *Evolution of the insects*. New York, NY: Cambridge University Press.

Kingslover J, Koehl M. (1985). Aerodynamics, thermoregulation, and the evolution of insect wings: differential scaling and evolutionary change. *Evolution* 39(3):488-504. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2408648>.

Marden JH, Kramer MG. (1994). Surface-skimming stoneflies: a possible intermediate stage in insect flight evolution. *Science* 266(5184):427-430. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17816688>.

Padian K. (1983). A functional analysis of flying and walking in pterosaurs. *Paleobiology* 9(3):218-239. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2400656>.

Qiang J et al. (1998). Two feathered dinosaurs from northeastern China. *Nature* 393:753-761. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v393/n6687/abs/393753a0.html>.

Sanz J, Chiappe L. (1996). An Early Cretaceous bird from Spain and its implications for the evolution of avian flight. *Nature* 382:442-445. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/31993989_An_Early_Cretaceous_bird_from_Spain_and_its_implications_for_the_evolution_of_avian_flight/file/79e4150589d15a796c.pdf.

Simmons NB et al. (2008). Primitive Early Eocene bat from Wyoming and the evolution of flight and echolocation. *Nature* 451(7180):818-821. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18270539>.

Speakman JR. (2001). The evolution of flight and echolocation in bats: another leap in the dark. *Mammal Review* 31(2):111-130. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2907.2001.00082.x>.

Unwin D, Bakhurina N. (1994). *Sordes pilosus* and the nature of the pterosaur flight apparatus. *Nature* 371:62-64. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/journal/v371/n6492/abs/371062a0.html>.

Witton M. (2008). A new approach to determining pterosaur body mass and its implications for pterosaur flight. *Zitteliana* B28:143-158. Disponível em: http://www.markwitton.com/download/i/mark_dl/u/4009119796/4549073105/Witton_2008_-_Pterosaur_mass_estimation_and_flight.pdf.

Witton MP, Habib MB. (2010). On the size and flight diversity of giant pterosaurs, the use of birds as pterosaur analogues and comments on pterosaur flightlessness V. Laudet, ed. *PLoS ONE* 5(11):e13982. Disponível em: <http://www.newscientist.com/article/dn19724-did-giant-pterosaurs-vault-aloft-like-vampire-bats.html#.Ugjxt382yW8>.

Xu X et al. (2012). A gigantic feathered dinosaur from the lower cretaceous of China. *Nature* 484(7392):92-95. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22481363>.

Capítulo 13: Evolução dos crocodilos

Valeria Incapie Zendejas:

<http://www.duiops.net/dinos/cocodrilos.html>

<http://www.cocodrilopedia.com/evolucion-cocodrilo/>

Sara Rocha:

<http://www.ucmp.berkeley.edu/diapsids/archosauria.html>

<http://www.ucmp.berkeley.edu/taxa/verts/archosaurs/crocodylomorpha.php>

<http://palaeo.gly.bris.ac.uk/Palaeofiles/Fossilgroups/Crocodylomorpha/Groups.html>

<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0030471>

<http://jrscience.wcp.muohio.edu/studentresearch/costarica02/crocodiles/articles/crocodilians2.htm>

Capítulo 14: Evolução das enguias eléctricas

Eduarda Sá Marta:

<http://hypertextbook.com/facts/BarryLajnwand.shtml>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioelectrogenesis>

http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_eel

Capítulo 15: Evolução dos insectos

Luis David Trevino Olvera:

<http://www.nosabesnada.com/noticias-naturaleza/39923/el-tamano-de-losinsectos-disminuye-a-medida-que-evolucionan>

<http://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/por-que-desaparecieron-losinsectos-gigantes>

Ângela Ribeiro:

Clapham ME, Karr JA. (2012). Environmental and biotic controls on the evolutionary history of insect body size. PNAS 109:10927-10930.

Grimaldi D, Engel MS. (2005). Evolution of the insects. New York, NY: Cambridge University Press.

Haldane JBS. 1926 On being the right size. Harper's Mon Mag 152:424-427.

Harrison JF, Kaiser A, VandenBrooks JM. (2010). Atmospheric oxygen level and the evolution of insect body size. Proc Biol Sci 277:1937-1946.

Jetz W, Thomas GH, Joy JB, Hartmann K, Moores AØ. (2012). The global diversity of birds in space and time. Nature 491:444-448.

Verberk WCEP, Bilton DT, Calosi P, Spicer JI. (2011). Oxygen supply in aquatic ectotherms: Partial pressure and solubility together explain biodiversity and size patterns. Ecology 92:1565-1572.

Capítulo 16: Evolução do cavalo

Carolina Borja Valarde:

<http://caballos.anipedia.net/-historia-evolucion.html>

Rita Campos:

Secord R et al. (2012). Evolution of the earliest horses driven by climate change in the Paleocene-Eocene thermal maximum. Science 335(6071):959-962.

Orlando L et al. (2013). Recalibrating *Equus* evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse. Nature 499:74-78.

Orlando L et al. (2009). Revising the recent evolutionary history of equids

using ancient DNA. PNAS 106(51): 21754-21759.
<http://netnebraska.org/basic-page/television/wild-horses-evolution-timeline>
[Consultado em Outubro 2013]

Capítulo 17: Evolução das baleias

Mariana Valente e Torres:

Coyne J. (2012). A Evidência da Evolução. Edições Tinta da China, Lda.
<http://faqbio.blogspot.pt/2011/10/evolucao-da-baleias-partir-de-mamiferos.html>

Emiliano Rodríguez Mega:

Medrano GL. (2013). La evolución de los cetáceos: moléculas anatomías y mares. *Cuadrivio*. Disponível em <http://cuadrivio.net/2013/08/la-evolucion-de-los-cetaceos-moleculas-anatomias-y-mares/>

Capítulo 18: "Fósseis vivos"

Gabriela Moreira dos Santos:

<http://portalevolution.org/mundo-animal/limulo-o-caranguejo-ferradura>
<http://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADculo>
<http://www.str.com.br/Scientia/duvidas.htm>
<http://www.mundodosanimais.pt/fotos/sea-life/>

Rita Campos:

Briggs DEG, Siveter DJ, Siveter DJ, Sutton MD, Garwood RJ, Legg D. (2012). Silurian horseshoe crab illuminates the evolution of arthropod limbs. PNAS 109(39):15702-15705.

Casane D, Laurenti P. (2013). Why coelacanths are not "living fossils": a review of molecular and morphological data. *BioEssays* 35(4):332-338.

King TM, Eackles MS. (2004). Microsatellite DNA markers for the study of horseshoe crab (*Limulus polyphemus*) population structure. *Mol Ecol Notes* 4(3):394-396.

Mathers TC, Hammond RL, Jenner RA, Hänfling B, Gómez A. (2013). Multiple global radiations in tadpole shrimps challenge the concept of 'living fossils'. *PeerJ* 1:e62.

Meloro C, Jones ME. (2012). Tooth and cranial disparity in the fossil relatives of *Sphenodon* (Rhynchocephalia) dispute the persistent 'living fossil' label. *J Evol Biol* 25(11):2194-2209.

Obst M, Faurby S, Bussarawit S, Funch P. (2012). Molecular phylogeny of extant horseshoe crabs (*Xiphosura*, Limulidae) indicates Paleogene

diversification of Asian species. *Mol Phylogenet Evol* 62(1):21-26.

Riska B. (1981). Morphological variation in the horseshoe crab *Limulus polyphemus*. *Evolution* 35(4):647-658.

Saunders NC, Kessler LG, Avise JC. (1986). Genetic variation and geographic differentiation in mitochondrial DNA of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. *Genetics* 112(3):613-627.

Capítulo 19: Relações evolutivas entre humanos e chimpanzés

Giancarlo Roldan Salas:
www.sindioces.com

Rita Campos:

Ambrose SH (2001). Paleolithic technology and human evolution. *Science* 291 (5509):1748-1753.

Brunet M et al. (2002). A new hominid from the Upper Miocene of Chad, central Africa. *Nature* 418(6894):145-151.

Su DF (2013). *Nature Education Knowledge* 4(4):11.

Ventura M et al. (2012). The evolution of African great ape subtelomeric heterochromatin and the fusion of human chromosome 2. *Genome Res* 22:1036-1049.

White TD, Asfaw B, Beyene Y, Haile-Selassie Y, Lovejoy CO, Suwa G, WoldeGabriel G. (2009). *Ardipithecus ramidus* and the paleobiology of early hominids. *Science* 326(5949):75-86.

Capítulo 20: Evolução do bipedismo

Juan Carlos Zavala Olalde:

Johanson D, Edgar B. (1996). *From Lucy to language*. Simon & Schuster Editions, New York. [Este é um dos melhores guias ilustrados de evolução humana, com fotografias dos fósseis em grande formato. A informação é muito sucinta mas a perspectiva visual é memorável]

Klein R. (1999). *The human career. Human biological and cultural origins*. Second Edition, The University of Chicago Press, Chicago and London. [É o trabalho mais extenso que conheço sobre evolução humana. Indicado para estudantes de licenciatura.]

Niemitz C. (2010). The evolution of the upright posture and gait - a review and new synthesis. *Naturwissenschaften* 97:242-263. [Uma revisão actual sobre o que se sabia sobre o assunto até à data da sua escrita e uma nova proposta sobre o bipedismo]

Capítulo 21: Evolução do formato dos olhos

Paula F. Campos:

Allanson JE. (1990). Rubinstein-Taybi syndrome: the changing face. *Am J Med Genet Suppl* 6:38-41.

Diakonoff IM. (1990). In Markey & Greppin. Disponível em: http://acc.spc.uchicago.edu/atsmith/Electronic_Library/Diakonoff_1990.pdf.

Gottfredson LS. (1996). Race, evolution, and behavior: A life history perspective. *Polit Life Sci* 141-143. Disponível em: <http://www.udel.edu/educ/gottfredson/reprints/1996reviewRushton.pdf>.

Howard-Jones N. (2012). On the diagnostic term “Down’s disease”. *Med Hist* 23:102-104.

Marin LDRP *et al.* (2012). Ocular manifestations of Noonan syndrome. *Ophthalmic Genet* 33:1-5.

Wallis HRE. (1951). The significance of Brushfield’s spots in the diagnosis of mongolism in infancy. *Arch Dis Child* 26:495-500.

Young R J. (1954). Congenital ectropion of the upper lids. *Arch Dis Child* 29:97-100.

Capítulo 22: Evolução das rugas dos dedos

Andreia Soares Parafita:

<http://gl.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/01/cientistas-descobrem-por-que-os-dedos-enrugam-na-agua.html> [Consultado em Janeiro de 2013] [Função do enrugamento e explicação do fenómeno]

<http://visao.sapo.pt/cientistas-percebem-finalmente-por-que-os-dedos-enrugam-na-agua=f705657> [Consultado em Janeiro de 2013] [Experiência realizada por alguns cientistas]

<http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/estudo-desvenda-por-que-dedos-enrugam-na-agua-10012013-5.shl> [Consultado em Janeiro de 2013] [Antepassados do Homem]

<http://www.mundodrive.com/2013/01/por-que-dedos-enrugam-na-agua.html> [Consultado em Janeiro de 2013] [Enrugamento nos dedos encontrados em primatas]

Rita Campos:

Changizi M, Weber R, Kotecha R, Palazzo J. (2011). Are wet-induced wrinkled fingers primate rain treads? *Brain Behav Evol* 77:286-290.

Kareklas K, Nettle D, Smulders TV. (2013). Water-induced finger wrinkles improve handling of wet objects. *Biol Lett* 9(2):20120999.

Summers B. (2013). Science gets a grip on wrinkly fingers. *Nature News* doi:10.1038/nature.2013.12175.

Capítulo 23: Orígenes e consequências da inteligência humana

Tamara Osuna:

<http://laenciclopediagalactica.blogspot.mx/2010/08/el-mito-del-cerebro-grandeentre-mas.html>

Luis Alfonso Hernández Vázquez:

<http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20111128080115AAFTOeT>

João Ramalhão:

Crow T. (2000). Schizophrenia as the price that *Homo sapiens* pays for language: a resolution of the central paradox in the origin of the species. *Brain Research Reviews* 31:118-129.

Crow T. (2004). Cerebral asymmetry and the lateralization of language: core deficits in schizophrenia as pointers to the genetic predisposition. *Rev Psiquiatr Rio Gd. Sul* 26 (2).

<http://www.nimh.nih.gov/health/publications/schizophrenia/what-is-schizophrenia.shtml>

http://www.who.int/mental_health/management/schizophrenia/en/

Luis Medrano González:

Crow TJ. (2000). Schizophrenia as the price that *Homo sapiens* pays for language: a resolution of the central paradox in the origin of the species. *Brain Research Reviews* 31:118-129.

Crow TJ. (2008). The 'big bang' theory of the origin of psychosis and the faculty of language. *Schizophrenia Research* 102:31-52.

Deacon TW. (1992). Primate brains and senses. In: *The Cambridge encyclopedia of human evolution*. Jones S, Martin R, Pilbeam D. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 109-114.

Deacon TW. (1992). The human brain. In: *The Cambridge encyclopedia of human evolution*. Jones S, Martin R, Pilbeam D. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 115-123.

Deacon TW. (1997). *The symbolic species: the co-evolution of language and the brain*. W.W. Norton & Co. New York.

Jerison HJ. (1973). *Evolution of the brain and intelligence*. Academic Press. New York.

Leakey R, Lewin R. (1992). *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Biblioteca de bolsillo. Crítica. Barcelona (1999).

Martin RD. (1981). Relative brain size and basal metabolic rate in terrestrial vertebrates. *Nature* 293:57-60.

Tattersall I. (2006). How we came to be human. *Scientific American* 16(2):66-73.
Wong K. (2006). The morning of the modern mind. *Scientific American* 16(2):74-83.

Capítulo 24: Evolução humana recente

Daniel João Henriques:

<http://hypescience.com/8-fatos-sobre-a-selecao-natural/>

<http://www.algosobre.com.br/biologia/o-homem-e-a-selecao-natural.html>

<http://hypescience.com/a-selecao-natural-ainda-esta-entre-nos/>

Revista “Super Interessante” Brasil, edição de Outubro de 1991 (adaptado)

Patricio Navarro Hermosillo:

<http://ultimasnoticias.us/2009/11/segun-cientificos-los-seres-humanos-siguen-evolucionando/>

Capítulo 25: Medicina evolutiva

Joana Vila:

Charles Darwin. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado em Abril de 2013].

Gomes RDM. (2008). Tuberculose Multirresistente. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Medicina. Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior.

Rita Campos:

Glukman PD, Low FM, Buklijas T, Hanson MA, Beedle AS. (2011). How evolutionary principles improve the understanding of human health and disease. *Evol Appl* 4(2):249-263.

Nesse RM. (2001). How is Darwinian medicine useful? *West J Med* 174(5):358–360.

Nesse RM et al. (2010). Making evolutionary biology a basic science for medicine. *PNAS* 107:1800-1807.

Stearns SC. (2012). Evolutionary medicine: its scope, interest and potential. *Proc R Soc B* 279(1746):4305-4321.

http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/medicine_01 [Consultado em Outubro de 2013]

Capítulo 26: Darwinismo social

David Afonso:

A MARGem - estudos (2008). Uberlândia - MG, ano I, n.2, p.66-73.

Disponível em <http://www.mel.ileel.ufu.br/pet/amargem/amargem2/estudos/MARGEM1-E12.pdf>

Charles Darwin. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado em Abril de 2013].

Rui Faria:

Serre D, Paabo S. (2004). Evidence for gradients of human genetic diversity within and among continents. *Genome Research* 14:1679-1685.

<http://www.youtube.com/watch?v=shkWhBVfe3o>

<http://whyevolutionistrue.wordpress.com/2012/02/28/are-there-human-races/>

<http://whyevolutionistrue.wordpress.com/2013/10/27/robert-richards-new-collection-of-essays-on-the-history-of-evolutionary-biology-including-was-hitler-a-darwinian/>

Concepções erradas

Campos R, Sá-Pinto A. (2013). Early evolution of evolutionary thinking: teaching evolutionary biology in elementary schools. *Evolution: Education and Outreach* 6:25.

Coyne J. (2012). A Evidência da Evolução. Edições Tinta da China, Lda.

Organ CL, Schweitzer MH, Zheng W, Freimark LM, Cantley LC, Asara JM. (2008). Molecular phylogenetics of mastodon and *Tyrannosaurus rex*.

Science 320(5875):499. doi:10.1126/science.1154284 [primeira imagem usada na correcção da concepção errada “Numa filogenia, um braço longo indica que o táxon mudou pouco desde que divergiu de outros taxa”]

Sá Pinto X, Campos R. (2012). As borboletas da floresta amarela. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal.

