

**Precisamos
do
Sexo?**

Série Nova Biblioteca

Universidade Federal Fluminense

Reitor: Sidney Luiz de Matos Mello

Vice-Reitor: Antonio Claudio Lucas da Nóbrega

Eduff - Editora da Universidade Federal Fluminense

Diretor: Aníbal Francisco Alves Bragança

Editoração e Produção: Ricardo Borges

Distribuição: Luciene Pereira de Moraes

Comunicação e Eventos: Ana Paula Campos

Comissão Editorial (2012-2014)

Presidente: Mauro Romero Leal Passos

Ana Maria Martensen Roland Kaleff

Eurídice Figueiredo

Gizlene Neder

Heraldo Silva da Costa Mattos

Humberto Fernandes Machado

Luiz Sérgio de Oliveira

Marco Antonio Sloboda Cortez

Maria Lais Pereira da Silva

Renato de Souza Bravo

Rita Leal Paixão

Simoni Lahud Guedes

Tania de Vasconcellos

Neuza Rejane Wille Lima

Precisamos do Sexo?



Copyright © 2015 Neuza Rejane Wille Lima

Normalização: Fátima Corrêa

Edição de texto: Rozely Campello Barrôco

Revisão: Graça Carvalho, Sônia Peçanha e Tatiane Braga

Projeto gráfico: José Luiz Stalleiken Martins

Editoração eletrônica: Marcos Antonio de Jesus

Capa: Alvaro Faria

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

L732 Lima, Neuza Rejane Wille.

Precisamos do sexo? / Neuza Rejane Wille Lima.

– Niterói : Editora da UFF, 2015. - 160 p. ; 23 cm. - (Coleção Biblioteca).

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-228-1062-8

BISAC MED107000 MEDICAL / Genetics

1. Biologia molecular. 2. Evolução molecular. 3. Sexo (Biologia). 4. Ecologia teórica. I. Título. II. Série.

CDD 572.8

Direitos desta edição reservados à

Eduff - Editora da Universidade Federal Fluminense

Rua Miguel de Frias, 9, anexo, sobreloja, Icaraí, Niterói, RJ, 24220-900, Brasil

Tel.: +55 21 2629-5287 - Fax: +55 21 2629-5288 - Livraria: +55 21 2629-5293

www.editora.uff.br - secretaria@editora.uff.br

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra sem autorização expressa da Editora.

Impresso no Brasil, 2015.

Foi feito o depósito legal.

SUMÁRIO

Parte I As consequências do sexo

| | |
|---|----|
| Introdução | 13 |
| 1 O que é sexo? | 17 |
| 1.1 <i>Como diferenciar machos de fêmeas?</i> | 18 |
| 1.2 <i>Conexão sexual</i> | 18 |
| 1.3 <i>Os órgãos sexuais</i> | 19 |
| 1.4 <i>O que é a recombinação gênica?</i> | 25 |
| 2 Quantos sexos podem existir?..... | 27 |
| 3 Como o sexo é determinado?..... | 28 |
| 3.1 <i>Influência ambiental na determinação sexual</i> | 28 |
| 3.2 <i>Influência genética na determinação sexual</i> | 30 |
| 3.3 <i>Diferenciação genética na determinação do sexo</i> | 31 |
| 3.4 <i>Tipos de determinação cromossômica do sexo</i> | 32 |
| 4 Origem dos cromossomos sexuais | 36 |
| 5 Hermafroditismo..... | 37 |
| 5.1 <i>Tipos de hermafrodita</i> | 39 |
| 5.1.1 <i>Hermafroditas simultâneos</i> | 39 |
| 5.1.2 <i>Hermafroditas sequenciais</i> | 40 |
| 6 Seres intersexuados..... | 42 |
| 7 Reprodução assexuada, unissexualidade e partenogênese | 44 |
| 8 Regras de acasalamento..... | 47 |
| 8.1 <i>O que é seleção sexual?</i> | 47 |
| 8.2 <i>Sistemas de acasalamento</i> | 51 |
| 8.2.1 <i>Tipos de sistemas de acasalamento</i> | 51 |
| 8.2.2 <i>Modelos de acasalamento</i> | 52 |
| 8.2.3 <i>Custos e benefícios da poligamia</i> | 53 |
| 8.3 <i>Orgasmo e menopausa</i> | 54 |
| 8.3.1 <i>O que é orgasmo?</i> | 54 |
| 8.3.2 <i>O que é menopausa?</i> | 56 |
| 8.3.2.1 <i>A menopausa e os animais</i> | 58 |
| 9 O sexo e o cuidado com os descendentes..... | 59 |
| 10 Origem e função do sexo..... | 65 |
| 10.1 <i>Hipótese do sexo subcelular</i> | 65 |
| 10.2 <i>Hipótese da variabilidade versus hipótese do reparo</i> | 67 |

| | | |
|-------------------------------------|--|-----|
| 11 | Vantagens e desvantagens da reprodução sexuada | 68 |
| 12 | O sexo e a uniformidade do genoma | 69 |
| 13 | O sexo e a diversidade ambiental | 70 |
| | 13.1 <i>Hipótese tankled bank</i> | 71 |
| | 13.2 <i>Hipótese da Rainha Vermelha</i> | 71 |
| 14 | Os parasitos e o sexo | 72 |
| | 14.1 <i>O que é um parasito?</i> | 72 |
| | 14.2 <i>Parasitos transmitidos sexualmente</i> | 74 |
| | 14.3 <i>Castração parasitária</i> | 76 |
| | 14.3.1 <i>O que é castração parasitária?</i> | 76 |
| | 14.3.2 <i>Tipos de castradores parasitários</i> | 77 |
| | 14.3.3 <i>Quem são os castradores parasitários?</i> | 78 |
| | 14.3.4 <i>Quais são as vantagens adaptativas da castração parasitária?</i> | 80 |
| 15 | Considerações finais..... | 83 |
| Parte II Sexo, estranho sexo | | |
| | Panorama sobre o tema | 87 |
| | A - Veneno da viúva-negra: estimulante sexual, contraceptivo e mortal | 87 |
| 1 | Conhecimentos peculiares..... | 87 |
| | 1.1 <i>Aspectos taxonômicos, morfológicos e fisiológicos</i> | 89 |
| | 1.2 <i>Reprodução e canibalismo sexual</i> | 92 |
| | 1.3 <i>Aspectos ecológicos</i> | 95 |
| 2 | Acidentes causados por viúva-negra | 97 |
| 3 | Mecanismos de ação específicos do veneno da viúva-negra | 98 |
| 4 | Ações terapêuticas do veneno | 100 |
| 5 | Considerações finais..... | 102 |
| | B - Os dez cromossomos sexuais do ornitorrinco: novas peças num antigo quebra-cabeça | 102 |
| 1 | Conhecimentos básicos e peculiaridades | 102 |
| 2 | O descobrimento da espécie | 103 |
| 3 | Principais características biológicas..... | 104 |
| | 3.1 <i>Morfologia, locomoção e alimentação</i> | 104 |
| | 3.2 <i>Reprodução</i> | 107 |
| | 3.3 <i>O ambiente natural do ornitorrinco</i> | 110 |
| 4 | A popularidade do ornitorrinco | 112 |
| 5 | História taxonômica dos Monotrematas | 113 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 5.1 | <i>Cromossomos, DNA e sequenciamento</i> | 114 |
| 5.2 | <i>Cariótipo do ornitorrinco</i> | 115 |
| 5.3 | <i>Os dez cromossomos sexuais do ornitorrinco</i> | 118 |
| 6 | O que há de semelhante entre os cromossomos sexuais do ornitorrinco, das aves e dos mamíferos?..... | 119 |
| 7 | Considerações finais..... | 124 |
| | C - Manipulação sexual bacteriana | 125 |
| 1 | Conhecimentos peculiares..... | 125 |
| 2 | Aspectos biológicos | 126 |
| 3 | Manipulação na determinação do sexo dos hospedeiros | 127 |
| 3.1 | <i>Incompatibilidade citoplasmática</i> | 128 |
| 3.2 | <i>Partenogênese</i> | 130 |
| 3.3 | <i>Feminização</i> | 131 |
| 3.4 | <i>Morte do macho</i> | 132 |
| 3.5 | <i>Modificação na fecundidade</i> | 132 |
| 4 | Dinâmica evolutiva da infecção por <i>Wolbachia</i> | 132 |
| 4.1 | <i>Seleção sexual e proporção sexual da população</i> | 133 |
| 4.2 | <i>Perda do sexo</i> | 134 |
| 4.3 | <i>Especiação</i> | 135 |
| 4.4 | <i>Extinção</i> | 136 |
| 5 | Importância biológica e relevância econômica | 136 |
| 6 | Considerações finais..... | 137 |
| | Referências | 139 |
| | <i>Sites consultados</i> | 157 |

Desde a década de 1970, tentativas de se obter um entendimento conclusivo sobre a significância do sexo intensificaram-se [...] a grande questão é que um entendimento funcional de tal traço conspícuo e dominante *é bem* difícil de ser obtido [...] O entendimento da função do sexo requer paciência: listar e quantificar as vantagens e desvantagens seletivas dos sexuados e dos assexuados tornou-se tarefa tão complexa que uma classificação simplificadora das hipóteses faz-se necessária.

Evolução: uma introdução

Stephen C. Stearns & Rolf F. Hoekstra, 2003

Sexo é o maior dos problemas em biologia evolutiva. Provavelmente, nenhum outro fenômeno natural tem atraído tanto interesse; certamente nenhum tem trazido tanta confusão. As ideias de Darwin e de Mendel, que clarearam tantos mistérios, derramaram, porém, uma luz fraca e vacilante sobre os principais mistérios da sexualidade, favorecendo unicamente sua obscuridade.

The masterpiece of nature: the evolution of genetics and sexuality

Graham Bell, 1982

Sexo não é somente desnecessário, como também um caminho desastroso para a evolução. Além do mais, *é uma ineficiente forma de se reproduzir*. [...] Entre outras coisas, o sexo traz outros custos adicionais. [...] Certamente, qualquer animal que se reproduz sexualmente deve estar preparado para competir com aqueles que se reproduzem assexuadamente. E, mesmo assim, o sexo reina. Por que o sexo é um sucesso, apesar de todas as suas desvantagens?

Evolution: the triumph of an idea

Carl Zimmer, 2001

Parte I
As consequências
do sexo

INTRODUÇÃO

A reprodução é o centro da vida, e todo o resto (fisiologia, desenvolvimento, comportamento) está a seu serviço. Em seres multicelulares, as células somáticas estão a serviço das células germinativas. Em seres unicelulares, o ciclo celular assexuado garante uma “vida eterna” por intermédio da renovação (bipartição), caso não ocorram alterações drásticas no ambiente ou ação de antagonistas biológicos (predadores ou parasitos mortais). Seres assexuados podem lançar mão do sexo quando as condições ambientais são desfavoráveis. Já as espécies que dependem de outras (polinizadores e vetores de doenças parasitárias) para se reproduzirem enfrentam várias barreiras. O sexo, no entanto, não é frequente entre as espécies que: a) têm vida curta; b) são sésseis; c) ocorrem em baixa densidade.

A reprodução assexuada é mais frequente entre microrganismos (bactérias, algas, fungos), apesar de não ser seu único modo de reprodução, pois tais organismos também praticam a reprodução sexuada. A concomitância entre reprodução sexuada e assexuada é normalmente verificável em grandes populações de organismos invertebrados de pequeno porte (*Artemia*). Linhagens unicamente assexuadas são encontradas em: a) grandes latitudes; b) ambientes inóspitos; c) sob pressão e seleção por fatores abióticos.

Estudos filogenéticos demonstram que entre os vertebrados há ocorrência de espécies assexuadas entre seres de origem híbrida (cruzamento entre indivíduos de espécies diferentes que ocorrem em determinados grupos taxonômicos em populações naturais de peixes, anfíbios e lagartos). Lagartos de origem híbrida e serpentes mantidas em cativeiro apresentam partenogênese, isto é, reproduzem-se sem a presença do espermatozoide. Por outro lado, peixes e anfíbios que se reproduzem assexuadamente necessitam da presença do esperma de espécies paternas para induzir a embriogênese. Aves e mamíferos são exclusivamente sexuais, necessitando sempre da singamia (encontro de gametas masculinos e femininos) para sua reprodução.

Enquanto a reprodução assexuada envolve menor gasto energético (devido à divisão por mitose) e propicia a perpetuação das linhagens ao longo do tempo sem impor-lhes um fim (a morte), o sexo envolve alto consumo energético (para a realização da meiose) e favorece a morte. A reprodução sexuada permite ainda a exposição ao ataque de predadores, que pode ocorrer durante a corte e o acasalamento, como também o desenvolvimento de certas doenças (por infecção ou infestação). Adicionalmente, a reprodução sexuada pode desfazer condições genéticas que estavam dando certo ou promover a combinação de genes mutantes que são deletérios, gerando, assim, seres inférteis e/ou fisicamente debilitados. Por exemplo, o casamento entre indivíduos que são parentes próximos (primos, irmãos etc.) pode propiciar o encontro de genes que raramente aparecem na população mas que, quando juntos, geram indivíduos inférteis ou até mesmo fisiologicamente inviáveis.

Logo, o sexo traz implicitamente a condição de morte para os seres, pois organismos que crescem vegetativamente (assexuadamente) expandem seus tecidos e criam novos galhos ou ramos (plantas, corais) ou realizam a bipartição, criando dois novos seres (bactérias, planárias¹), não havendo, assim, um final, mas uma renovação.

A reprodução sexual tem como consequência direta a recomposição gênica entre os seres vivos. Sendo assim, indiretamente o sexo promoveu: a) a anisogamia (diferenciação em tamanho e formato entre as células germinativas masculinas e femininas); b) dimorfismo sexual entre machos e fêmeas; c) alocação sexual distinta (diferenças entre os recursos oriundos da mãe ou do pai) e, por conseguinte, e) variações nos mecanismos que regulam a seleção sexual. Certas espécies de algas, ciliados e alguns fungos possuem, por exemplo, células germinativas semelhantes quanto à morfologia (seres isogâmicos), porém diferenciadas quanto ao funcionamento.

Para as espécies que se perpetuam somente por meio da reprodução sexuada, a condição de indivíduos que nascem, crescem, procriam e morrem é naturalmente intransponível. No entanto, a preponderância da reprodução sexuada entre os seres vivos é um indicativo de que esta modalidade reprodutiva deve ter valores que

¹ As planárias também podem apresentar reprodução sexuada. Elas são hermafroditas simultâneas e realizam fertilizações cruzadas (genitália masculina de um indivíduo com a genitália feminina de outro) para realizar reprodução sexuada. Nesse caso, o desenvolvimento é direto, com algumas exceções que desenvolvem larva planctotrófica.

trazem benefícios universais. No mundo animal não faltam exemplos que comprovam esta perspectiva. São situações curiosas e interessantes, algumas delas apresentadas a seguir.

O sexo pode ser um importante instrumento para o estreitamento e manutenção das relações entre pares monogâmicos e pode até servir como um alívio para as tensões ocorridas entre oponentes (machos). É o que ocorre, por exemplo, entre os primatas bonobos, cujas peculiaridades no que se refere ao sexo merecem ser destacadas.

O bonobo (*Pan paniscus*) é uma espécie endêmica (ocorrência exclusiva) da República Democrática do Congo (antigo Zaire). É erroneamente chamada de chimpanzé pigmeu, anão ou grácil, pois não é de fato um chimpanzé. O bonobo distingue-se dos demais primatas não humanos por apresentar uma postura ereta, além de uma cultura matriarcal e igualitária. A atividade sexual tem, entre eles, um papel proeminente, sendo imprescindível para a homeostase nas relações sociais dentro dos grupos.

Assim como os humanos, os bonobos experimentam os prazeres sexuais não apenas durante os ciclos reprodutivos, como também fora deles. No entanto, conforme relatou Frans de Waal, em *Eu, primata – por que somos como somos*, não há entre eles o reconhecimento e cuidado paternal. Neste livro, o autor aborda o comportamento sexual de primatas não humanos por meio de observações realizadas no cativeiro (zoológicos) e em populações em estado selvagem.

O antropólogo Richard Wrangham e o jornalista Dale Peterson, no livro *Machos demoníacos*, discutem as semelhanças e diferenças entre os chimpanzés, os bonobos e seus primos, os humanos. Diferentemente da maioria dos primatas, a sociedade dos bonobos é dominada pelas fêmeas. Elas dominam os machos inferiores, conforme relata Maurício Cardoso na matéria intitulada “O macaco feminista – entre os bonobos, ancestrais dos humanos, as fêmeas é que mandam e sexo é uma farrá”. São elas que tomam a iniciativa na atividade sexual e, muitas vezes, chegam a simular relações com outras fêmeas (os machos também praticam essa espécie de homossexualismo). Em situações de tensão entre machos oponentes, elas praticam sexo frontal, chamando a atenção dos “arruaceiros” para si. No dia a dia, elas se alimentam antes que os machos. Se entre os chimpanzés as fêmeas estão sempre subordinadas aos machos, entre

os bonobos, eles dominam apenas as fêmeas que ocupam posição inferior e geralmente são filhos de fêmeas dominantes.

Em 1928, pesquisadores perceberam que os bonobos formavam uma família diferente dentro da espécie dos chimpanzés, com um comportamento muito peculiar. Parece que o sexo é a chave de sua vida social, porque funciona como instrumento de compensação da agressividade e faz o papel de agente reconciliador. Isso é possível porque, ao contrário da maioria das fêmeas de outras espécies, que só são receptivas ao sexo durante o período reprodutivo, as fêmeas dos bonobos são atrativas e ativas sexualmente durante quase todo o tempo. As atividades eróticas entre os bonobos envolvem beijos de língua, masturbação mútua e sexo oral, conforme relatou Frans de Waal.

Outra curiosidade em relação ao sexo entre animais é o fato de também haver entre eles algo como cintos de castidade. São os *plugues* sexuais, utilizados para afastar os oponentes e garantir a paternidade da prole. Por exemplo, espécies de caninos sofrem intumescimento do pênis após o coito, ficando presos às fêmeas, evitando, assim, que outros machos fertilizem os óvulos dela. Alguns insetos deixam o próprio pênis na fêmea ou mesmo um pseudopênis (pata que introduz o espermatóforo – cápsula com espermatozoides e nutrientes).

Machos adversários também podem burlar as estratégias que asseguram a paternidade, disfarçando-se de fêmeas. Tal fenômeno é observado em peixes machos de espécies do gênero *Gasterosteus*. O engana-gata macho, por exemplo, constrói um ninho para receber as fêmeas. Durante o período reprodutivo, exibe o ventre vermelho e tons azulados, esverdeados e prateados no dorso, realizando a “dança em ziguezague” para estimular uma ou mais fêmeas a desovar em seu interior. Depois, montam guarda cuidando dos ovos até a eclosão dos filhotes. É então que podem surgir machos mais jovens, tentando burlar esta vigilância. Apesar de o engana-gata exibir um acentuado dimorfismo sexual, os espécimes mais jovens não apresentam características sexuais masculinas exuberantes. Fazendo-se valer deste fato, fingem depositar ovos nos ninhos construídos pelos machos dominantes (geralmente mais velhos e com escamas mais coloridas no abdômen). Na verdade, eles fingem ser fêmeas, imitando a dança da postura de ovos, e, assim, “parasitam os ninhos” do macho mais velho, depositando mais espermatozoides nos óvulos das fêmeas que acabaram de deixá-los no ninho.

Fatos como os relatados, recortes de situações surpreendentes e encantadoras vividas na natureza e tão pouco conhecidas, são a matéria-prima deste livro. Iniciaremos esta abordagem apresentando diferentes definições de sexo. Na sequência, enfocaremos os mecanismos que determinam o sexo dos organismos, o surgimento e os tipos de cromossomos sexuais, as diferenças entre hermafroditismo, intersexualidade, unissexualidade e partenogênese. Mostraremos as implicações da seleção sexual e a relação entre o sexo e o cuidado com os descendentes, observando sempre as diferentes estratégias adotadas pelos seres, incluindo o homem, para sobreviver, acasalar e deixar descendentes. Hipóteses sobre a origem e a função do sexo serão sucintamente discutidas, visando fornecer aos leitores diferentes visões sobre o tema. A fim de tornar o texto acessível e agradável a interessados de todas as áreas, evitaremos nos deter em aspectos técnicos, como estatísticas multifatoriais e detalhes biomoleculares, que só tornariam o texto mais complexo. Não é este nosso objetivo.

Ao apresentarmos vantagens e desvantagens da reprodução sexuada, destacando as hipóteses sobre a origem e a função do sexo, assim como sua importância na evolução dos organismos; ao falarmos sobre menopausa e orgasmo feminino; ao abordarmos o impacto dos parasitos infectantes (vírus, bactérias e protozoários) ou infestantes (vermes e crustáceos) sobre a manutenção e a reprodução sexuada de diferentes organismos, buscamos chegar a uma reflexão ampla e rica sobre essa questão instigante: “Precisamos de sexo?”

1 – O que é sexo?

A palavra sexo deriva do latim *secare* que significa dividir ou separar alguma coisa que originalmente era inteira. As diferentes definições para sexo, encontradas na literatura, podem ou não estar diretamente relacionadas à reprodução. Entre elas, destacam-se:

- . condição de ser macho ou fêmea;
- . contato das genitálias de macho e fêmea;
- . conexão entre organismos para produção de prole;
- . recombinação de genes de diferentes origens para gerar um novo ser.

Nesse último caso, pode ocorrer entre indivíduos (macho e fêmea) da mesma espécie ou de espécies aparentadas (quando há