

Biologia, quase ao **EXTREMO**

Organizadora
Neuza Rejane Wille Lima



Biologia

quase ao

Extremo

Neuza Rejane Wille Lima

(Organizadora)

Universidade Federal Fluminense

Instituto de Biologia

Associação Brasileira de Diversidade e Inclusão

Equipe técnica:

Capa: Gasielle Freitas

Revisão: Ricardo Borges

Diagramação: Neuza Rejane Wille Lima

B615 Biologia quase ao extremo – Lima Neuza Rejane Wille, (organizadora) –
Niterói – Rio de Janeiro - Associação Brasileira de Diversidade e Inclusão
(ABDIn), 2016.

237 fl. il.

ISBN 978-85-69879-05-3

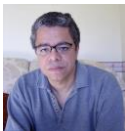
1. Invasões Biológicas, 2. Virus, 4. Bactérias, 4. Poliqueta,
5. Canibalismo, 6. Parasito de Crias., 7. Peixe do Gelo I Lima, Neuza
Rejane Wille Lima. II Título.

CDU - 573

PERFIL DOS AUTORES



CINTHYA SIMONE GOMES SANTOS Doutora em Zoologia pela Universidade Federal do Paraná, desde 2001. Publicou artigos em periódicos especializados, trabalhos em eventos científicos e capítulos de livros. Participou do desenvolvimento de relatórios técnicos na área ambiental. Atua em sistemática de poliquetas e ecologia bêntica. Em suas atividades profissionais interagiu com 18 colaboradores em coautorias de trabalhos científicos. Desde 2006 atua na Universidade Federal Fluminense, na qual é Professora Associada I, e vem orientando monografias de conclusão de curso de graduação, dissertações e teses, ligadas ao curso de Graduação em Ciências Biológicas e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros. Foi Coordenadora da Licenciatura em Ciências Biológicas da UFF. Em 2013, participou da criação do grupo Pro-pet Biofronteiras que envolve alunos de Licenciatura em Ciência Biológicas.



EDSON PEREIRA DA SILVA é bacharel em Biologia Marinha (1988) e mestre em Genética pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991), PhD em Genética pela University of Wales-Swansea (1998). Tem pós-doutorado em Genética Molecular pela University of Swansea. Atualmente é professor adjunto do Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense e Chefe do Laboratório de Genética Marinha e Evolução, pesquisando genética de populações de organismos marinhos, utilizando métodos moleculares. Atua nos seguintes temas: Conservação, Bioinvasão, Teoria Evolutiva, Epistemologia e Ensino de Ciências e Biologia. É autor, juntamente com Antonio Mateo Solé-Cava e Gisele Lôbo-Hajdu, de três livros sobre a teoria evolutiva (*Evolução*. Volumes 1-3, 2004. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ). Entre 2011 e 2012 publicou, com Luiz Antonio Botelho Andrade, livros sobre conceitos fundamentais da Biologia (*Por que as galinhas cruzam as estradas? História das idéias sobre a vida e a sua origem*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent. e *Para um estudante de Biologia saber*. Niterói: UFF-CEAD). Com Rosa Cristina Corrêa Luz de Souza e Tânia Andrade Lima publicou, em 2011, *Conchas Marinhas de Sambaquis do Brasil*. (Rio de Janeiro: Technical Books Editora). Como produto do trabalho do seu laboratório junto à escola pública, foi publicado, em coautoria com seus alunos (Augusto Barros Mendes, Alan Bonner da Silva Costa e Rosa Cristina Corrêa Luz de Souza), o livro de educação ambiental e patrimonial *Cabo Frio: Bens naturais e culturais* (Niterói: Clube dos Autores e Alfa Produções e Eventos. 2015), apoiado pela FAPERJ.



IZABEL CHRISTINA NUNES DE PALMER PAIXÃO Possui mestrado em Ciências Biológicas (Biofísica) em 1981 e doutorado em Ciências Biológicas (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 1988. Fez pós-doutorado na Universidade de Miami, no período de 1992-1994 e na Universidade da Flórida em 2004. Atualmente é Diretora do Instituto de Biologia da UFF, Professora Titular do Departamento de Biologia Celular e Molecular-GCM-UFF e chefe do Laboratório de Virologia Molecular e Biotecnologia Marinha. Em 1990 criou o Laboratório de avaliação de atividade citotóxica e antiviral de substâncias naturais e sintéticas. Tem experiência na área de Virologia, Bioquímica, Biologia Molecular e Biotecnologia, atuando principalmente nos seguintes temas: antivirais naturais e sintéticos, HIV-1, Herpes simples tipo 1 e 2, arbovírus Mayaro, Chikungunya, Zika, Dengue, antivirais com potencial atividade microbicida anti-HIV-1 e estudos dos mecanismos de inibição da síntese de macromoléculas em células infectadas com arbovírus da região amazônica (vírus Mayaro). É pesquisadora 2 do CNPq. Foi vice-coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia. Pro-Reitora e coordenadora de Pesquisa da Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação da UFF. Participa dos programas de pós-graduação em Ciências e Biotecnologia, Biologia Marinha e Ambientes Costeiros e Neurologia/Neurociências da UFF.



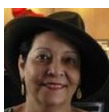
JULIANA EYMARA FERNANDES BARBOSA graduou-se em Ciências Biológicas, Bacharelado (2006), e em Licenciatura (2008), ambas pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestrado com ênfase em Virologia Molecular, realizado pelo Programa de Pós-Graduação em Neuroimunologia (UFF), em 2009. É Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros (UFF), desde 2014. Sua tese inclui estudos de virologia marinha, bacteriófagos, metagenômica e dinâmica de microorganismos em diferentes tipos de ambientes costeiros. A experiência de Juliana se concentra nas áreas de virologia, biologia molecular, biotecnologia marinha, ecologia de vírus marinhos, bacteriófagos, análise de microorganismos em ambientes costeiros. Atualmente realiza Pós-Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia (PPBI/UFF). Atua também como analista ambiental, sendo coordenadora da Divisão de Laudos Técnicos Ambientais da Superintendência de Meio Ambiente da Diretoria de Portos e Costas (DPC), Marinha do Brasil.



LORENA DA GRAÇA PEDROSA DE MACENA graduou-se em Ciências Biológicas, Licenciatura (2015) e em Bacharelado (2016), pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Contribui na área educacional, para o aperfeiçoamento da prática de docentes comprometidos com um ensino contextualizado e significativo, levando em consideração as concepções prévias de discentes relacionados à virologia e biotecnologia. Cientificamente, colabora para a consolidação do conhecimento sobre virologia marinha em ambientes hipersalinos, bacteriófagos, cianobactérias, bem como na dinâmica desses organismos com ecossistemas ao qual estão inseridos, com grande apelo a preservação ambiental nesses ambientes tão importantes e singulares. Mestranda em Ciências e Biotecnologia (PPBI) pela Universidade Federal Fluminense, na busca *in vitro* por antivirais naturais e sintéticos contra o vírus Herpes Simplex tipo 2 (HSV-2).



MICHELLE REZENDE DUARTE é graduada em Ciências Biológicas (2005) e Mestre em Biologia Marinha (2007), ambos pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Atualmente é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros da Universidade Federal Fluminense no Laboratório de Genética Marinha e Evolução. Sua tese inclui estudos em Genética Marinha e Evolução dos Padrões de Biodiversidade. A experiência de Michelle se concentra nas áreas de genética de populações e análise de dados em ecologia, genética e evolução. Atuou no ensino público e privado em todos os níveis, tendo orientado oito monografias de graduação em Ciência Biológicas.



MIRIAN ARAUJO CARLOS CRAPEZ graduou-se em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em 1978. É doutora em Biochimie et Biologie Cellulaire pela Université D'Aix-Marseille II, França, com bolsa do CNPq. Atualmente é professora titular da Universidade Federal Fluminense (UFF), Instituto de Biologia, Departamento de Biologia Marinha. Fundadora da Pós-Graduação em Biologia Marinha, atualmente denominada Microbiologia Marinha e Ambientes Costeiros. Ministra disciplinas para a graduação e pós-graduação: Processos em ecologia microbiana, Tecnologias educacionais para o ensino a distância e Instrumentação para a prática de ensino a distância. Realiza pesquisas na área de impacto ambiental, com enfoque na biorremediação de ambientes com derrame de petróleo e contaminados por metais. Participa da Pós-graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros da UFF. Escreveu capítulos nos livros de *Biologia Marinha* (duas edições) e *Poluição Marinha*.



NEUZA REJANE WILLE LIMA graduou-se em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 1983. É Mestre em Ciências Biológicas pelo Programa de Pós-Graduação em Biofísica pela UFRJ, em 1987, e doutora em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e pela Rutgers University (EUA) – *Programa Sanduiche* do CNPq, em 1993. Atualmente, é professora associada da Universidade Federal Fluminense (UFF), Instituto de Biologia, atuando na área de Ecologia Evolutiva, com ênfase em Evolução do Sexo. Subcoordenadora do Curso de Mestrado Profissionalizante em Diversidade e Inclusão (CMPDI) da UFF. Tem se dedicado na popularização da ciência, com a publicação das obras: *Desinteresse sexual do panda-gigante – lenda ou fato?* (EDUFF, 2012), *História de Castradores Parasitários e seus Hospedeiros* (Technical Books, apoio FAPERJ, 2014), *Precisamos do Sexo?* (EDUFF, 2015) e *Piolhos: fazendo a cabeça* (EDUFF, 2016, apoio FAPERJ, no prelo). A disponibilidade das suas publicações no formato de áudiolivro (*Contando a história dos piolhos*, *Contando a história do panda-gigante*, *Falando sobre o canibalismo*, *Dezoito histórias de castradores parasitários*, coeditado pela Fundação Dorina Nowill para Cegos e Editora da UFF, em 2014; *Falando sobre a evolução do sexo*, editado pelo Instituto Benjamin Constant e a Associação Brasileira de Diversidade e Inclusão – ABDIn, 2015). A recente publicação do vídeo livro *Piolhos em LIBRAS*, editado pela ABDIn, em 2015, atende aos surdos.



PRISCILA SANTANA PEREIRA graduou-se em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Fluminense (UFF), em 2011. É Especialista em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), em 2014 com ênfase em unidades de conservação e áreas protegidas. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia da UFF, em 2014, e doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Biotecnologia da UFF com ênfase em virologia marinha. Atualmente, é Assessora de Gestão Ambiental na Base Naval do Rio de Janeiro, Marinha do Brasil, atuando na área de educação ambiental, programas sustentáveis, gerenciamento de resíduos e riscos, com ênfase em na gestão de áreas industriais, naval e costeira.



VIVECA GIONGO formou-se em Biomedicina na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) e desde o seu doutoramento em Peptídeos Virais (UFRJ, 2005) especializou-se em linhas de pesquisa sobre interações vírus hospedeiro e controle nos ambientes terrestre e marinho (UFF, 2007). Em 2008, como professora visitante do Departamento de Biologia Marinha da Universidade Federal Fluminense (UFF), ministrou a disciplina de Ecologia dos Virus Marinhos e coorientou projetos de pós-graduação na primeira linha de pesquisa na área de virologia marinha. Atualmente sua especialidade, em cooperação com a Università degli Studo di Napoli Federico II (UNINA, Napoli, 2015) é a investigação de antivirais naturais marinhos potencializados a nanofarmacos e ministra cursos de virologia humana e marinha para a graduação e pós-graduação, além de traduções e revisões científicas.

SUMÁRIO

EM QUE PLANETA NÓS VIVEMOS?	15
INVASORES BIOLÓGICOS	27
VIRUS: GIGANTISMO E ABUNDÂNCIA	81
COMO O MICROBIOMA ORQUESTRA A FISIOLOGIA HUMANA?	109
POLIQUETAS EM AMBIENTES POUCO USUAIS	131
CANIBALISMO: PREDACÃO AO EXTREMO	149
PARASITISMO DE CRIA: VANTAGENS OU DESVANTAGENS?	191
COMO PEIXES SOBREVIVEM ÀS ÁGUAS CONGELANTES?	229

EM QUE PLANETA NÓS VIVEMOS?

Neuza Rejane Wille Lima

Laboratório de Ecologia Animal e Vegetal

Instituto de Biologia/UFF

1- NOSSO CENÁRIO

Vivemos a época do *Holoceno* que teve seu início com o fim da última era glacial principal, ou Idade do Gelo.

Em grego, *Holoceno* significa “tudo recente”, sendo a atual época, do período Quaternário que abrange os últimos 11.800 anos. Nesta época, que ocorreu o derretimento do gelo, causando a elevação do nível do mar em 35 metros - acima dos 120 metros de outra elevação ocorrida há 20 mil anos atrás.

Essas elevações do nível do mar fizeram com que Japão, Indonésia e Taiwan se separassem da Ásia, a Grã-Bretanha se separasse da Europa Continental, Nova Guiné e Tasmânia se separassem da Austrália. Além disto, formou-se o estreito de Bering, com 85 quilômetros de comprimento e 30 a 50 metros de profundidade o que havia sido uma ponte gelada durante a Idade do Gelo, por onde, possivelmente, o homem migrou para o continente americano. Acredita-se que a única espécie humana que tenha vivido no Holoceno seja o *Homo sapiens* que nos últimos 5.mil anos vem desenvolvendo agricultura, pecuária e criando grandes conglomerados urbanos. Posteriormente, desenvolveu a revolução industrial, e mais recentemente, a cibernética, causando modificações na estrutura e no funcionamento da superfície do planeta Terra, bem como o no nosso modo de produzir bens de consumo e conhecimento. A situação é tão peculiar que alguns cientistas adotaram o termo Antropoceno para designar a época geológica caracterizada pela irresponsável intervenção humana nos processos naturais ocorrida nos últimos 300 anos.

Entretanto, as alterações planetárias e a diversidade de ambientes e variações de ciclos climáticos foram e são bem mais extremadas do que vivemos nos dias de hoje, haja vista as alterações geológicas e as grades extinções em massa registradas nas camadas de rochas e nos depósitos de

fósseis de animais, vegetais e microrganismos. Os frutos dessas alterações geológicas e climáticas são as variedades de ambientes e a grande biodiversidade em nosso planeta.

2 - AMBIENTES EXTREMADOS

Muitas vezes, as condições ambientais de certos lugares fogem ao padrão mediano, sendo, portanto, caracterizado como ambientes extremados. A seguir estão listados os locais mais extremados do planeta Terra em termos físicos e químicos:

- a) O lugar mais quente da Terra é o Deserto de Lut, no Irã, onde foi registrada a temperatura máxima de 71°C.
- b) O lugar mais frio e habitado é Oymyakon, na Rússia, onde foi registrada a temperatura - 72°C.
- c) O ponto mais alto em relação ao centro da Terra é o Monte Chimborazo, no Equador, que dista em 6.384,4 quilômetros do centro da Terra superando o Evereste com 6.382,6 quilômetros do centro da Terra, o que dá uma diferença de 1.811 metros.

- d) A maior cachoeira do mundo fica em Santo Ángel, na Venezuela - começa a 984 metros de altura, com queda ininterrupta de 806 metros.
- e) O lugar mais seco da Terra fica nos Vales da Morte, na Antártica, sem chuva há mais de dois bilhões de anos - e ventos de até 320 quilômetros por hora, evaporando toda a água existente, sendo o único local da Antártica que não possui gelo.
- f) O lugar mais úmido fica em Lloro, na Colômbia: recebe a média de 12 mil metros cúbicos de chuva por ano. Entre agosto de 1860 e julho de 1861, o local teve um registro de chuva de 26 mil.milímetros
- g) O lugar mais abaixo do nível do mar é o Mar Morto, na Jordânia. Fica a 422 metros abaixo do nível do mar.
- h) O ponto mais profundo do planeta é a Fossa das Marianas: entre a Indonésia e o Japão. Possui 10.924 metros abaixo do nível do mar e que confere oito toneladas de pressão.
- i) O lago mais quente do mundo é o Boling Lake que fica na República Dominica cuja a água atinge 90°C.
- j) O lugar que possui a maior formação rochosa do mundo e a mais pontiagudas fica em “tsingy”, que, significa “lugar onde não se anda descalço” fica no parque chamdo Bemaraha National Park em Madagascar. Ele é composto por uma formação rochosa de pedras de

100 metros de altura e extremamente cortantes que forma moldadas por chuvas tropicais.

A contribuição humana para essa lista está na concentração de poluentes radiotivos e químicos em diferentes partes do mundo devido a industrialização e produção de armamentos e nas exótica contrução do Jardim Veneniso de Alnwick que se encontra na Inglaterra localizado na propriedade da duquesa Jarry Percy que custou cerca de R\$ 120 milhões e que congrega mais de 100 espécies de plantas venenosas ou possuidoras de narcóticos que por vezes podem matar uma pessoa que simplesmente tocá-las.

A Cooperativa Química de Mailuu-Suu localizada no Quirguistão é um dos lugares mais poluídos do mundo, no qual a radiação não vem de bombas nucleares, mas da mineração de urânio em larga escala, bem como das atividades de processamento que foram realizadas na região onde existe quase 2 milhões de metros cúbicos de lixo poluente na área.

No Brasil foi possível verficar como uma população e toda a biota ao seu redor sobrevive às altas doses de radiações natural. O cenário estudado foi o Morro do Ferro localizado em Poços de Caldas no interior do Estado de Minas Gerais. Nesse lugar, a intensidade gerada pelo decaimento radioativo

do Tório naturalmente acumuladfo em uma área de 30 mil metros quadrados atinge níveis de 100 a 300 vezes o limite natural e considerado normal. Além do Tório que soma cerca de 30 mil toneladas, esse lugar tem cerca de 100 toneladas de Urânio e 50 mil toneladas de elementos da séria química chamada de Terras Raras. Os efeitos biológicos dessas condições são mensuráveis na urina e fios de cabelos da população local através da dosagem de radionucídeos.

Como os organismos se encaixam nesses e em outros extremos? O que separa, em termos geológicos e biológicos, os microorganismos dos seres mais complexos como os mamíferos? Como os seres interagem entre si para acompanhar tantas mudanças e diversidades? Como aproveitam todas as infinitas possibilidades para coevoluir e persistir?

Nesse contexto, propus à alguns colegas do Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense, embargar a jornada de escrever um livro intitulado: *Biologia quase ao extremo*. Obra essa que abordasse alguns dos muitos exemplos de “esquisitices biológicas”, isto é, existências, processos e organismos biológicos que “parecem” fugir do corriqueiro, mas que nem sempre chegam ao extremo.

Como é intrigante a existência de bactérias que são chamadas de termófilas porque que vivem em ambientes inóspitos para a grande maioria das espécies tais como ecossistemas no entorno de fendas vulcânicas e falhas nas crostas marinhas, resistindo a temperaturas entre 75⁰C e 100⁰C. Elas realizam quimiossíntese, utilizando compostos inorgânicos (ácido sulfídrico – H₂S) para sintetizar matéria orgânica, obter energia e apresentam características peculiares em sua membrana.

Em ambientes extremamente anaeróbicos, isto é, sem oxigênio, as bactérias metanogênicas utilizam o hidrogênio como cofator (substâncias orgânicas ou inorgânicas necessárias ao funcionamento das enzimas) que são responsáveis por reações que catabolizam o gás carbono (CO₂) em metano (CH₄).

Nos ambientes com altas concentrações de sal reinam as bactérias halófitas e existem plantas que suportam este tipo de condição como o caso de árvores de manguezais. A resistência à salinidade - por plantas halófitas - pode ocorrer através da acumulação de cloreto de sódio dentro do vacúolo ou por resistência à entrada de cloreto de sódio na célula e por diluição de cloreto de sódio após sua entrada na planta. Uma característica bioquímica

da adaptação das plantas à salinidade é a acumulação de duas substâncias nitrogenadas chamadas de prolina e glicinobetaína.

Com relação às baixas temperaturas tem-se o peixe do gelo que produz proteínas anti-congelantes. Por outro lado, os insetos conseguem desenvolver tolerância a temperaturas abaixo de zero através da síntese de glicerina, que age como um anticongelante, da mesma forma que o etilenoglicol age no radiador dos carros resfriados a água.

Nas plantas superiores, a adaptação ao gelo parece ser bem mais complexa que nos peixes do gelo, mas sempre se faz uma correlação da tolerância ao frio com o aumento do teor de açúcar na seiva. A capacidade de resistir à geada pode ser induzida artificialmente em plantas com a injeção de solução com açúcares. Os açúcares encontrados nas plantas - que são naturalmente resistentes ao congelamento (glicose, frutose e sacarose) - variam de planta para planta dependendo da idade e espécie envolvida.

Nesse livro, a história do peixe do gelo encontra-se no Capítulo 7. Os seis capítulos que antecedem a esse tratam de temas sobre a importância biológica de espécies invasoras, de espécies de microrganismos que habitam o corpo humano, de espécies de poliquetas que vivem em diferentes condições,

de espécies canibais e de espécies de parasitos de crias, isto é que deixam seus ovos sob cuidado de outros pais.

3 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A vida nos ambientes de nosso planeta

http://www.dmae.upm.es/Astrobiologia/Curso_online_UPC/capitulo11/6.html.

Acessado em 15 de julho de 2016.

Chapman, N.A., McKinley, I.G., Shea, M.E. & Smellie, J.A.T. The Poços de Caldas Project: Natural Analogues of Processes in a Radioactive Waste Repository. ELSEVIER, 2012.

Crutzen, P. J. Geology of mankind. Nature, 415:6867- 2002.

Deserto do Irã é o lugar mais quente do mundo, revelam satélites

<http://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/deserto-do-ira-o-lugar-mais-quente-do-mundo-revelam-satelites-4674041>. Acessado em 15 de julho de 2016.

Mares, M. A. A Desert Calling, Harvard University Press, 2002

Os 10 locais mais extremados do planeta.

<http://hypescience.com/19196-os-10-locais-mais-extremos-da-terra>. Acessado em 15 de julho de 2016.

Os cinco lugares mais radioativos da terra

<http://www.ultracurioso.com.br/os-5-lugares-mais-radioativos-da-terra> .

Acessado em 31 de julho de 2016.

Quatroze lugares naturalmente mais perigosos so mundo

<http://www.elhombre.com.br/os-14-lugares-naturalmente-mais-perigosos-do-mundo/> Acessado em 31 de julho de 2016.

Ruddiman, William F. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago, Climatic Change, 61: 261–293, 2001

Vida no extremo

<http://super.abril.com.br/ciencia/vida-no-extremo>. Acessado em 15 de julho de 2016.

Wharton, D. A. Life at the Limits. Cambridge University Press, 2002

Zalasiewicz, J., Williams, M., Steffen, W. and Crutzen, P. J. Response to "The Anthropocene forces us to reconsider adaptationist models of human-environment interactions. Environmental Science Technology, vol. 16, 6008 2010.

INVASÕES BIOLÓGICAS

Michelle Rezende Duarte¹

Edson Pereira Silva¹

1. Laboratório de Genética Marinha e Evolução
Instituto de Biologia/UFF

1. O QUE SÃO INVASÕES BIOLÓGICAS?

Invasões biológicas ou bioinvasões são a chegada, o estabelecimento e a subsequente difusão de espécies não nativas em comunidades naturais nas quais elas não existiam. A introdução desses organismos é, geralmente, mediada pela atividade humana. Devido ao aumento do comércio e do transporte global durante as últimas décadas, várias regiões foram invadidas por novas espécies. Contudo, esses eventos de bioinvasão são, no mínimo,

intrigantes e nos levam a perguntar como pode uma espécie invadir um ambiente estranho, para o qual não foi *adaptada*¹ e, ainda, suplantá-la, por competição, as espécies adaptadas do local? Vamos conversar um pouco sobre as situações extremas pelas quais essas espécies passam até se tornarem bioinvasoras.

Para entender como espécies sobrevivem em ambientes novos, precisamos conhecer todas as etapas do processo de invasão. Inicialmente apresentaremos algumas definições e terminologia utilizadas nos estudos sobre as invasões biológicas. A forma como essas espécies chegam ao novo ambiente também precisa ser explorada, por isso vamos relacionar os vetores de transporte de organismos às atividades humanas. A biologia das espécies bioinvasoras e as mudanças evolutivas toleradas vão nos informar como e porque essas espécies conseguem sobreviver à “viagem” e ao novo ambiente. A chegada e o estabelecimento das espécies no novo ambiente são resultantes de um jogo entre as necessidades do organismo introduzido e as condições do novo ambiente. São as regras deste jogo que vamos tentar entender. As características dos ambientes aos quais essas espécies chegam

¹ Adaptação. É qualquer característica hereditária de um ser vivo que o torne integrado ao ambiente e aumente as suas chances de sobrevivência.

serão discutidas. Serão também conhecidas algumas das espécies que conseguiram vencer este jogo de azar e as perdas e danos causados pelas bioinvasões.

2. ESPÉCIES EXÓTICAS: DEFINIÇÕES E TERMINOLOGIA

As espécies exóticas, introduzidas, alienígenas, não indígenas ou não nativas, são aquelas que ocorrem fora da sua distribuição natural, em locais onde elas não seriam capazes de chegar sem a interferência das atividades humanas.

Algumas categorias são definidas para as espécies exóticas, são elas: detectadas, estabelecidas, naturalizadas e invasoras. Quando uma espécie teve apenas um registro isolado no ambiente natural, não tendo registros posteriores do aumento da sua abundância ou de dispersão, é denominada detectada. Caso a espécie reapareça, sendo detectada de forma recorrente e apresentando indícios de aumento populacional, dizemos que está estabelecida ou naturalizada, pois passou a manter interações com as demais espécies.

Uma espécie naturalizada pode permanecer estável, com uma pequena população, durante um tempo variável até que algum fenômeno natural ou de origem *antropogênica*² facilite o aumento da sua distribuição. As espécies, ao apresentarem abundância e/ou dispersão geográfica capazes de interferir na sobrevivência de outros organismos numa determinada área ou ampla região geográfica, passam a ser consideradas invasoras, podendo, ainda, ser enquadradas nas categorias espécie invasora atual ou potencial.

Esta nomenclatura apresenta duas características notáveis (Figura 1). Primeiro, um gradiente crescente do potencial de invasão, no qual as espécies detectadas seriam menos invasivas do que as espécies estabelecidas ou naturalizadas no ambiente, as quais, por sua vez, seriam as candidatas mais diretas para se tornarem invasoras de fato. Segundo, uma grande dose de subjetividade na determinação deste gradiente. Isto se deve ao fato de que a explicação do processo está associada ao acaso em todas

² Antropogênica. Efeitos, processos, objetos ou materiais antropogênicos são aqueles derivados de atividades humanas, em oposição àqueles que ocorrem em ambientes naturais sem influência humana.

as suas fases. Dito de outra forma, o acaso é a explicação causal da chegada, expansão ou extinção da espécie no novo ambiente, pois o tempo de permanência de uma dada espécie nas categorias populacionais descritas anteriormente pode variar muito. As variações neste tempo são devidas ao fato de as espécies estarem sujeitas às variações extremas decorrentes dos processos de transporte, inoculação, sobrevivência e crescimento no ambiente receptor. As categorias populacionais não representam *status* imutáveis para uma dada espécie, mas sim retratos instantâneos de sua situação populacional, a qual pode se alterar em qualquer sentido durante os processos de dispersão.

3. ETAPAS DO PROCESSO DE INVASÃO

3.1. VIAS DE INTRODUÇÃO

As invasões podem acontecer de maneira natural e, de fato, já aconteceram inúmeras vezes na história da Terra. Espécies de plantas e animais naturalmente expandem e/ou regridem sua distribuição. O processo de expansão da distribuição é natural e acontece no momento em que barreiras biogeográficas são transpassadas. Tal processo pode acontecer em

escalas geológicas, incluindo milhares de anos (ver exemplos de glaciações e deglaciações), até períodos curtos de poucos anos, dependendo dos eventos em questão (El Niño). Nos dias de hoje, o grande avanço tecnológico alcançado pela civilização proporciona uma aceleração do processo de bioinvasão e as atividades e movimentações humanas vêm desempenhando, em tempos históricos, papel importante na introdução de espécies invasoras em, praticamente, todas as regiões do mundo.

Os seres vivos, em geral, possuem um limite de dispersão e quando são encontrados fora deste limite, significa que foram artificialmente transportados. O veículo ou a atividade pela qual uma espécie é transportada do seu lugar de origem para o ambiente no qual poderá se estabelecer é denominado vetor. Uma ampla variedade de vetores opera transportando espécies por diferentes vias para diferentes locais, promovendo, desta forma, movimentos de organismos que resultam no estabelecimento de muitas espécies fora de seus limites naturais.

Dentre a multiplicidade de vetores, podemos identificar aqueles que resultam em introduções consideradas intencionais. Por exemplo, para uso em sistemas produtivos, tanto em contato direto com ambientes naturais (agricultura, atividade florestal, pesca), quanto em cativeiro (zoológicos,

aquicultura, maricultura, aquariofilia, horticultura e comércio de animais de estimação). Também é possível identificar aqueles vetores que resultam em introduções consideradas acidentais (ou não intencionais) como, por exemplo, parasitas de produtos comercializados (alimentos, bens domésticos, madeira, pneus novos e usados, produtos animais e vegetais em várias condições), organismos que se aderem às rodas de veículos, em cascos de navios e aqueles que são transportados via *água de lastro*³. A partir da década de 1990, o lixo também começou a assumir um papel importante na mediação de bioinvasões em escala global. A maioria dos vetores de introdução de espécies exóticas está associada à, pelo menos, uma atividade de destacada importância econômica.

³ Água de lastro. Água do mar captada por navios e utilizadas para garantir a sua estabilidade e segurança operacional e que geralmente são despejadas longe do local de captura.

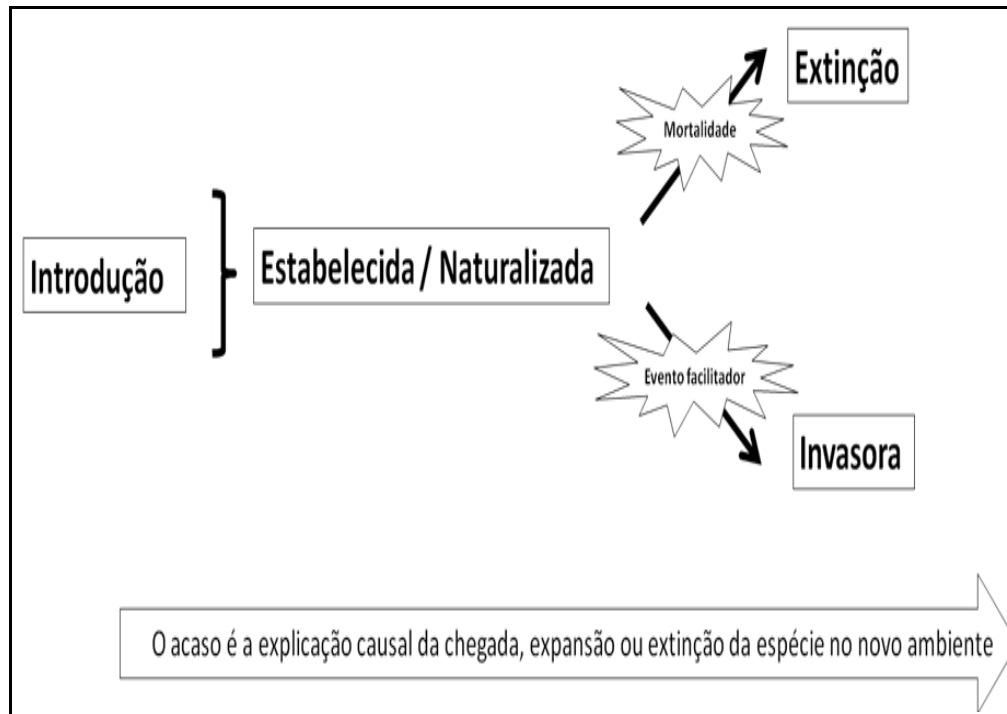


Figura 1. Algumas categorias definidas para as espécies exóticas, ilustrando o gradiente crescente do potencial de invasão e a explicação causal da chegada, expansão ou extinção da espécie no novo ambiente.

Durante o século XX, o transporte aéreo de cargas, expandiu a oportunidade para a movimentação direta de espécies, criando oportunidades para as mesmas chegarem rapidamente aos *habitats* adequados. O movimento rápido significa que não apenas formas de vida dormentes (esporos, propágulos ou sementes), mas, também, organismos adultos têm sido transportados globalmente.

Devido à capacidade de transporte, à periodicidade e à diversidade de rotas, os navios utilizados pelo comércio marítimo internacional são considerados importantes vetores, sendo responsabilizados por um grande número de introduções de espécies. As espécies exóticas sempre puderam ser transportadas através das incrustações nos cascos dos navios e, mais recentemente, o risco de transporte de espécies exóticas aumentou muito com o advento do uso da água como lastro para os navios.

Muitas espécies podem sobreviver em uma forma viável na água de lastro e em sedimentos transportados pelos navios, a despeito da situação extrema que isso representa para eles. Ao serem deslastradas em águas portuárias, algumas espécies podem obter sucesso na sua introdução. Normalmente, a água bombeada para dentro dos navios é extraída de um estuário ou de águas próximas ao porto. Desta forma, estas águas contem

populações de organismos muito mais densas e diversas que àquelas encontradas em mar aberto. Quando a embarcação chega ao seu porto de destino, a água de lastro é liberada junto com toda a fauna e flora nela contida.

Uma espécie invasora pode ser também introduzida de forma intencional para uso comercial como, por exemplo, na pesca recreativa, aquicultura e aquariofilia. Estas são as atividades que mais causam introduções em águas continentais. Introduções de espécies oriundas de outras regiões resultam em grandes impactos sobre a biodiversidade dos ecossistemas aquáticos continentais. No caso da fauna e da flora de água doce, a transposição de espécies de uma bacia hidrográfica para outra pode representar uma grande ameaça, ainda que no mesmo continente.

O intenso comércio internacional (legal e ilegal) de animais de estimação e plantas ornamentais exóticas é também causa de invasões. Muitos desses indivíduos fogem, espalham sementes ou acabam liberados pelos donos em ambientes que lhes são estranhos, podendo estabelecer populações e tornarem-se invasores. Este é o caso, por exemplo, dos javalis no Brasil.

Com a crescente mobilidade do ser humano, muitas outras espécies, como os ratos e as baratas, foram transportadas inadvertidamente para regiões distantes de sua origem, ocultos em veículos, cargas, bagagens e mesmo pessoas, pois incluem-se aqui as espécies que usam o homem como hospedeiro ou veículo habitual ou eventual. Este fato é especialmente importante uma vez que a maior parte das invasões acontece exatamente ao longo das principais linhas de tráfego de bens e pessoas.

Outro fato que se deve ter em mente quando falamos de hospedeiro ou veículo habitual ou eventual é que, não somente o homem, mas um imenso número de outros seres, na prática, não são meramente indivíduos, mas reservatórios/substratos de comunidades biológicas inteiras.

Muitos seres vivos vivem contaminados e, portanto, carregando em si, muitas outras espécies na forma de parasitas, esporos, larvas, sementes, ovos ou microorganismos. As plantas importadas, por exemplo, trazem terra com microbiologia própria e são elas mesmas os veículos ou *habitat* para pequenos mamíferos, anfíbios, répteis, insetos, fungos e parasitas - macroscópicos e microscópicos – que podem colonizar invasivamente as regiões para onde seus transportadores involuntários os levam.

Nos anos recentes, devido à explosão na produção de lixo humano, especialmente plástico, é possível observar, no ambiente aquático, muitos tipos de organismos, particularmente briozoários, cracas, poliquetas, hidrozoários e moluscos, usando os restos dispersos nas massas d'água como “casas-flutuantes”, o que aumenta a oportunidade de dispersão das espécies. Estes são os vetores materiais sólidos flutuantes, também conhecidos como *rafting*, e incluem plástico, madeira, borracha, isopores e materiais orgânicos variados, que podem cruzar oceanos e rios.

3.2. A BIOLOGIA DAS ESPÉCIES INVASORAS

Pequenas mudanças de temperatura, hora do dia ou número de indivíduos introduzidos podem representar a diferença entre o sucesso ou o fracasso de uma bioinvasão. Há um conjunto de variáveis que faz do fenômeno da bioinvasão um sistema complexo de difícil previsão. Apesar disso, é possível identificar algumas características que tornam maiores as chances de sucesso nesse jogo.

Espécies generalistas, ou seja, com maior amplitude de tolerância (baixa especialização e alta *plasticidade fenotípica*⁴) a fatores ambientais (temperatura, salinidade, luminosidade, etc.) apresentam vantagens em relação àquelas que demonstram menor amplitude. Alta capacidade reprodutiva, alta capacidade de dispersão, alta resistência são fatores que também contribuem para o sucesso de uma bioinvasão.

Os fatores físicos, químicos ou físico-químicos dos ecossistemas que caracterizam o meio onde os organismos vivos se desenvolvem são chamados de fatores abióticos. Com base nesses fatores, os indivíduos podem ser classificados em euribiontes - capazes de tolerar amplos limites de variação das condições ambientais (como o ser humano), e os estenobiontes - apresentam limites de tolerância baixos às variações das condições ambientais (como o pinguim). Os seres vivos recebem influências de fatores abióticos, tais como luz, temperatura, pressão, umidade, salinidade, pH,

⁴ Plasticidade fenotípica. Pode ser definida como a habilidade de um genótipo de produzir mais de um fenótipo quando exposto a diferentes ambientes. Desta forma, consiste na capacidade dos organismos alterarem a sua fisiologia ou morfologia de acordo com as condições do ambiente em que se desenvolvem.

vento, entre outros. Para exemplificar o que estamos falando, podemos citar os eurobiontes com relação à pressão e à salinidade.

Pressão é uma força que atua na superfície. À medida que aumentamos a altitude, a pressão diminui e, à medida que descemos, a pressão aumenta. Os seres vivos podem ser divididos em: euribáricos e estenobáricos. Euribáricos são aqueles que suportam grandes variações de pressão, conseguindo viver tanto nos locais mais superficiais quanto nas profundezas das águas (são exemplos, a baleia e o tubarão). Estenobáricos são aqueles organismos que não conseguem suportar grandes variações de pressão (a maioria dos seres vivos).

Salinidade corresponde à quantidade de sais dissolvidos nas águas. Os seres vivos se dividem em grupos que são os eurialinos, aqueles que suportam grandes variações salinas (excluir salmão, truta e enguia), e os estenoalinos, aqueles que não suportam grandes variações salinas (rã). Certos peixes migram da água salgada para a água doce, caracterizando os animais anádromos (salmão) e outros da água doce para água salgada, caracterizando os catádromos (enguia).

3.3. MUDANÇAS EVOLUTIVAS

Espécies exóticas chegam a regiões diferentes daquelas nas quais *evoluíram*⁵ e se adaptaram. Dessa forma, as espécies bioinvasoras têm de enfrentar *pressões seletivas*⁶ novas, bem como novas situações de estresse. Cinco são os tipos de mudança evolutiva a que estão sujeitas as espécies invasoras: *bottlenecks* (efeito gargalo), efeito de pequeno número de genes, hibridização, rearranjos genômicos (transposons, poliploidia etc.) e modificação do genoma induzida pelo estresse.

Em populações naturais pequenas, o acaso tem um papel importante na determinação de quais genes estarão presentes na próxima geração, força evolutiva conhecida como *deriva genética*. Um caso extremo de deriva

⁵ Evolução. É a mudança na proporção das características hereditárias de uma população e pode ser definida como qualquer alteração no número de genes ou na frequência dos alelos (formas alternativas de um mesmo gene) de um ou conjunto de genes, em uma população, ao longo das gerações.

⁶ Pressões seletivas. Conjunto de condições ambientais que favorecem determinados genes em relação a outros em determinada população.

genética é a redução drástica do tamanho populacional que tem como consequência a redução dos níveis de variação gênica da população.

Variação gênica é a medida que informa o número de diferentes formas de um mesmo gene (alelos) presentes em uma dada população. Dentro de uma população, a frequência de um dado alelo pode variar entre muito comum ou muito raro. A capacidade de uma população para se adaptar a um ambiente em mudança depende da variação gênica (ou variabilidade genética). Assim, indivíduos com determinados alelos ou combinações de alelos podem ter precisamente as características necessárias para sobreviverem e se reproduzirem sob as novas condições.

A chegada acidental de um ou poucos indivíduos de uma espécie em um novo ambiente - caso das bioinvasões -, é um exemplo extremo de deriva genética chamado de *bottleneck*, conhecido como “Efeito Fundador” (Figura 2). Neste caso, como poucos indivíduos estão chegando ao novo ambiente, deduz-se que apenas uma pequena proporção de todos os alelos presentes na população original estará disponível no novo ambiente, reduzindo, desta forma, a capacidade de adaptação desta população que está chegando. Da mesma forma, como esta nova população possui apenas uma amostra do conjunto de alelos da população original, pode-se imaginar que ela será,

também, diferente da sua população-mãe. Uma alternativa às mudanças lentas envolvidas no processo de adaptação, que dependem muito da variação gênica, é a hibridização.

A hibridização consiste no cruzamento entre espécies de bioinvasores com espécies nativas ou com outras espécies invasoras. A hibridização, entre espécies ou entre populações da mesma espécie (dos bioinvasores com espécies nativas ou com outras espécies invasoras), pode reduzir a perda de variação gênica associada ao processo de bioinvasão (*bottleneck*) com a produção de uma gama de novos *genótipos*⁷ importantes à adaptação da espécie invasora ao novo ambiente. Os efeitos positivos da hibridização no processo de bioinvasão incluem crescimento mais rápido, maior tamanho dos híbridos e um aumento da agressividade, tornando-se uma alternativa às mudanças lentas envolvidas no processo de adaptação.

Outro fenômeno que pode determinar a adaptação rápida das populações invasoras são os vários tipos de rearranjos que ocorrem no genoma dos organismos - rearranjos na sequência de DNA (ácido desoxirribonucleico) de um organismo. A poliploidia (duplicação do genoma) e

⁷ Genótipo. O conjunto de genes que um organismo individual possui.

a alopoliploidia (hibridização seguida de duplicação do genoma) são processos de reconhecida importância na evolução das plantas. De maneira interessante, poliplóides parecem ocorrer com maior frequência em plantas invasoras do que entre as angiospermas em geral. Embora os motivos para essa alta frequência de poliplóides em espécies de plantas invasoras sejam desconhecidos, o fato é que, da mesma forma que na hibridização, poliplóides podem ofertar novos genótipos à ação da *seleção natural*⁸ e, portanto, permitir a adaptação, em curto prazo, da população invasora. É reconhecida, também, a importância de certas inversões cromossômicas (ocorrência de duas quebras no genoma e a soldadura em posição invertida) na adaptação das espécies invasoras. Uma força importante na determinação dos rearranjos genômicos pode ser os *transposons* - são sequências de DNA móveis que podem se *autoreplicar*⁹ em um determinado genoma.

⁸ A sobrevivência e/ou reprodução diferencial de classes de entidades que diferem em uma ou mais características hereditárias.

⁹ É qualquer comportamento de um sistema dinâmico que resulta na construção de uma cópia idêntica desse sistema dinâmico.

Além dos *transposons*¹⁰, que podem se inserir em diferentes posições no genoma causando um processo de liga/desliga nos genes, a exposição às condições bióticas e abióticas do novo ambiente pode, também, causar uma instabilidade no genoma, nesse caso, mediada pelo estresse ambiental. Tem sido demonstrado que elevadas exposições aos raios ultravioleta, patógenos, bem como estresse abiótico, produzem instabilidade do genoma, com aumento da taxa de *recombinação homóloga*¹¹, ativação de *transposons*, *mutações*¹². Embora alterações ao acaso do genoma, mediadas pelo estresse ambiental sejam, na grande maioria das vezes, *deletérias*¹³, variação gênica benéfica associada às pressões de seleção natural produzem adaptação.

¹⁰ Também chamado *elemento de transposição* ou *transposão* é uma sequência de DNA (ácido desoxirribonucleico) que é capaz de se movimentar de uma região para outra em um genoma de uma célula.

¹¹ É um tipo de *recombinação* genética, um processo de rearranjo físico que ocorre entre duas cadeias de DNA.

¹² São mudanças na sequência dos nucleotídeos do material genético de um organismo.

¹³ Uma mutação deletéria é aquela que provoca uma modificação em determinada informação (gene) de forma que o novo alelo produzido a partir dela cause prejuízo ao organismo

A variação gênica, de origem recombinacional ou mutacional é extremamente importante para o processo de adaptação. Contudo, não se pode negligenciar o efeito de um pequeno número de genes na habilidade de colonização das espécies invasoras. Exemplos notáveis do efeito de um ou poucos genes no sucesso da colonização de ambientes novos têm sido demonstrado para espécies terrestres. Embora, não tenha sido encontrada, ainda, uma contraparte para o ambiente aquático, genes dessa natureza não devem ser exclusivos de determinados grupos. Um exemplo é o possível efeito de um único gene na organização social da formiga *Solenopsis invicta*, que invadiu o sudeste dos Estados Unidos há 60 anos. Colônias de múltiplas rainhas independentes (*polygyne*) apresentam maiores densidades de ninhos e maiores impactos nas populações nativas de colônias de formigas com única rainha. Colônias *Polygyne* possuem genótipos particulares que podem afetar a capacidade das operárias de reconhecerem rainhas e regulamentarem seus números e levarem a uma estrutura de colônia grande e densa. Essa estratégia pode ser eficaz para invadir novos territórios

3.3- A CHEGADA E O ESTABELECIMENTO

O registro de uma espécie exótica em um novo ambiente não significa necessariamente sua introdução nem o estabelecimento de uma nova população. Uma introdução bem-sucedida é o resultado de uma compatibilidade entre as necessidades do organismo introduzido e seu novo ambiente. Os fatores que governam esta combinação são complexos e nem sempre óbvios. A probabilidade de uma espécie invasora se estabelecer é muito pequena, mas vários fatores contribuem para fixação de um organismo em um novo local.

Uma vez em um novo ambiente, um organismo enfrenta um novo conjunto de condições. Independente do fato de o organismo ter chegado de modo intencional ou por acidente, os desafios dos novos *habitats* podem levá-lo a perecer. Todos os seres vivos buscam sobreviver o tempo suficiente para produzir descendentes e garantir o futuro do seu *pool* gênico¹⁴. A maioria dos

¹⁴ Pool gênico. É o conjunto completo de alelos únicos que podem ser encontrados no material genético de cada um dos indivíduos vivos de determinada espécie ou população.

organismos não nativos, não consegue sobreviver no seu novo ambiente em tempo suficiente para concretizar esta função. Mais que isso: o estabelecimento no novo ambiente, ou seja, manter uma população estável e autossustentável, é tarefa mais difícil ainda.

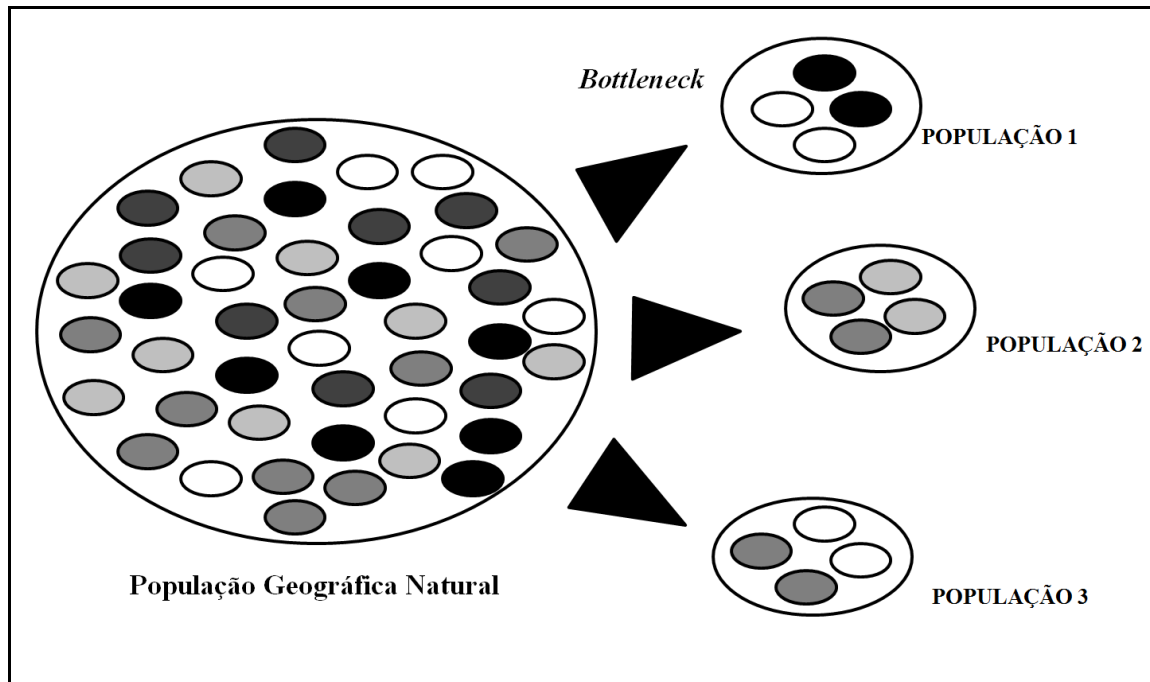


Figura 2: Representação gráfica de *bottlenecks* (efeito gargalo).

O sucesso da chegada pode estar relacionado à frequência com que a nova espécie é transportada para o novo ambiente. Um único contato não é, geralmente, suficiente para o estabelecimento de uma espécie exótica. Contudo, eventos repetitivos de invasão aumentam a chance de estabelecimento de uma espécie, seja porque neste caso ocorre, na viagem, uma seleção dos indivíduos mais robustos (que podem não estar presentes nos clandestinos da primeira viagem), seja porque promove um aumento do número de colonizadores.

A compatibilidade ecológica é outro fator muito importante para o sucesso da bioinvasão. Quando uma espécie chega, ela não sobrevive ou reproduz, caso o novo ambiente não seja compatível. Assim, não se espera que uma espécie tropical invada com sucesso uma região polar e vice-versa (a menos que seja uma espécie que suporte grandes oscilações ambientais, os euribiontes discutidos anteriormente). Ocasionalmente, contudo, um ou poucos organismos introduzidos encontram sua nova casa completamente habitável, às vezes até mesmo ideal. Por exemplo, uma espécie introduzida pode se espalhar rapidamente quando o novo ambiente não apresenta para si predadores e patógenos que normalmente existem no seu ambiente natural.

Uma contingência histórica importante para o sucesso das espécies invasoras é o estado de depauperamento do ambiente invadido. Ambientes poluídos podem facilitar o crescimento de espécies invasoras que, nessas condições, provavelmente, encontram menor competição. Ambientes que sofreram muito com ações humanas e foram muito degradados se mostram como um sistema fora de equilíbrio com modificação de características térmicas e hídricas, o que pode favorecer a permanência de espécies introduzidas.

Por vezes, espécies exóticas se associam ou se beneficiam mutuamente em um novo ambiente, situação que possibilita a elas tornarem-se invasoras em conjunto, quando isoladamente não teriam esta possibilidade.

4. ALGUMAS ESPÉCIES INTRODUZIDAS

Várias espécies foram introduzidas ao longo do tempo sem que se soubesse. No mundo, há exemplos de espécies não nativas que causaram grandes impactos no novo ambiente. A domesticação de animais como o cão,

o gato, o gado e de plantas como o milho e o trigo, espécies que possuem valor alimentício, econômico, social ou cultural para o homem, foi difundida por grandes regiões do planeta à medida que a população humana migrava, aumentava em número e expandia seus domínios. Podemos citar exemplos em todos os grandes grupos taxonômicos, incluindo os vírus, fungos, algas, briófitas, pteridófitas, plantas vasculares, invertebrados, peixes, anfíbios, répteis, pássaros e mamíferos.

Introduzidas especialmente durante o trânsito de navios, algas microscópicas, como o dinoflagelado (*Alexandrium tamarense*), estão presentes na costa brasileira, tendo sido identificadas pela primeira vez na década de 1980, na Argentina, e na década de 1990, no litoral do Rio Grande do Sul. Geralmente imperceptíveis essas algas produtoras de toxinas costumam ser notadas apenas no chamado período de floração, quando se formam as marés vermelhas, com explosivo aumento de suas populações. Elas são introduzidas a partir da água de lastro que é despejada quando as embarcações chegam aos portos. Virou um problema muito sério, pois o impacto desses microorganismos tem aumentado nos últimos anos. Essas algas são consumidas pelas ostras e suas toxinas podem contaminar os seres humanos.

Conhecido por ser o vetor da dengue, o mosquito *Aedes aegypti* é próprio de regiões tropicais e subtropicais, originário da Etiópia e do Egito. Tendo chegado ao Brasil durante a escravidão, se reproduz principalmente em recipientes artificiais onde ocorre acúmulo de água, como latas e vasos. Apesar de ser frequentemente associado a doenças, o mosquito nem sempre está contaminado, podendo também não representar um perigo em todos os casos.

Introduzida em todo o Brasil por iniciativa governamental, a fim de aumentar a produção de mel do país, a *Apis mellífera*, também chamada de abelha africana, espalhou-se rapidamente por toda a América do Sul. Facilmente adaptável a diversos ambientes, desde florestas temperadas até savanas, é considerada uma espécie bastante agressiva. Esta espécie expulsa espécies nativas, como o tucano e a arara, de seus *habitats*.

O lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) é nativo da Ásia, tendo sido introduzido no Brasil como planta ornamental e a partir daí rapidamente difundiu-se pelo país inteiro, especialmente nas regiões Sul e Sudeste. Extremamente resistente, esta planta se adapta facilmente às margens de lagos e espelhos d'água. O lírio-do-brejo pode, além de invadir canais, riachos e entupir as tubulações de hidrelétricas, causar outros problemas. Por

exemplo, sendo uma espécie que brota facilmente e tem grande resistência, além de não conviver com outras espécies, o lírio-do-brejo expulsa as plantas nativas de seu *habitat*, sendo um problema bem grave, especialmente nas regiões de Floresta Atlântica.

Presente em pastagens de todo o País, a braquiária (*Urochloa brizantha*) também conhecida como capim-marandu, foi introduzida nos solos brasileiros durante o século XX, após a importação de sementes originárias do continente africano. É uma espécie que tem um impacto bastante grande: áreas imensas de vegetação original no cerrado, por exemplo, foram substituídas pela braquiária. Isso ocorre devido ao seu vigor: eliminada, renasce rapidamente. Essa espécie foi introduzida, inicialmente, com finalidade econômica.

Peixe-leão (*Pterois volitans*) é uma espécie voraz e resistente nativa do Indo-Pacífico. Pode ter chegado ao Atlântico pegando carona no tanque de lastro dos navios. Outra hipótese é a de que alguns espécimes tenham escapado de um aquário na Flórida, em 1992, durante a passagem do furacão Andrew. Por não ter predadores naturais, o peixe-leão está dizimando várias espécies nativas no Caribe. Suas espinhas produzem uma toxina

capaz de matar outros animais e provocar dor intensa em humanos. Acredita-se que sua chegada ao litoral brasileiro seja apenas uma questão de tempo.

Nativa da região do rio Nilo, no Egito, a *Oreochromis niloticus*, mais conhecida como tilápia-do-nilo, foi introduzida no Brasil desde o século XX, bem como em diversos países de clima tropical. Por sua grande capacidade de reprodução e comportamento onívoro, alimentando-se de plantas e outros animais, a tilápia-do-nilo é considerada uma grande predadora. É um peixe que tem histórico de determinar a extinção de outras espécies, sendo um problema muito grave em diversos países africanos e asiáticos. Muitas vezes, as pessoas acham que estão fazendo uma coisa boa ao introduzir esses peixes nos rios, mas eles passam a exterminar espécies nativas.

Nativa do Rio Grande do Sul, a tartaruga tigre-d'água (*Trachemys dorbigni*) passou a ser vendida em todo o País, cruzando com a tartaruga-americana (*Trachemys scripta*), originária dos Estados Unidos. Dessa forma, foi gerada uma terceira espécie. Quando começou a ser vendida em todo o País, a tartaruga virou invasora, pois as pessoas em geral não sabem o tamanho que ela atinge quando adulta e acabam se assustando e soltando o animal no ambiente natural. Essa espécie também vive muitos anos e,

quando no ambiente natural, compete com espécies nativas. Como a espécie é um híbrido de duas outras, ela tende a ter menos predadores.

O coelho australiano é, também, um híbrido, nesse caso entre o coelho europeu e o coelho doméstico da Austrália. Em 1859, o caçador Thomas Austin levou 24 coelhos europeus selvagens (*Sylvilagus*) da Inglaterra para sua fazenda na Austrália. Cruzou-os com coelhos domésticos e manteve os bichos num curral. Contudo, vários exemplares fugiram e se multiplicaram pela ilha. Espécie super-resistente e comilona, os coelhos híbridos extinguem pastos inteiros na Austrália, gerando enormes perdas aos agricultores. O governo já tentou de tudo para exterminá-los, sem sucesso.

O coral-sol (*Tubastraea coccínea*) foi introduzido em pontos da costa brasileira, especialmente em regiões portuárias pelo sistema de água de lastro. Originário da região ocidental do Oceano Pacífico, é um dos corais mais comercializados do mundo e é considerado muito competitivo, por apresentar substâncias químicas nocivas, além de se reproduzir rapidamente. O coral-sol vai crescendo em rochas e expulsando qualquer outra espécie que possa se fixar no lugar.

O lagostin-vermelho (*Procambarus clarkii*), originário dos Estados Unidos, é invasor em mais de 30 países, inclusive o Brasil, possui grande capacidade de reprodução, sendo bastante tolerante às diversas condições ambientais, não possuindo predadores naturais. Além disso, é transmissor de um fungo que ataca as espécies nativas de lagostin.

O caramujo africano (*Achatina fulica*) trata-se de um caracol gigante que chega a pesar 500g. Foi introduzido no Brasil como alternativa ao *escargot*. Sua criação não deu o retorno esperado. Os criadores liberaram no ambiente natural os animais que mantinham em cativeiro. O caramujo africano ataca plantações (o que ameaça a subsistência de pequenos agricultores) e restringe a oferta de alimento para várias espécies de animais nativos. Além disso, sua proliferação descontrolada representa um sério risco à saúde pública, pois ele é vetor de doenças graves como a meningite.

Entre as espécies invasoras de bivalves, podemos citar: *Limnoperna fortunei* (DUNKER, 1857), na América do Sul, *Isognomon bicolor* (C.B. ADAMS, 1845), no Brasil e *Perna perna* (LINNAEUS, 1758), no Golfo do México e no Brasil. Os bivalves são organismos exclusivamente aquáticos pertencentes ao filo dos moluscos. Formam um grupo extremamente bem-

sucedido e diversificado, podendo ocorrer em ambientes de salinidade diversa como água salgada, doce ou salobra.

O mexilhão dourado *L. fortunei* é nativo dos sistemas de água doce da China continental e de outros países do sudeste Asiático, incluindo Laos, Camboja, Vietnã, Indonésia e Tailândia. A presença dessa espécie foi relatada em Hong Kong, no ano de 1965; em Taiwan, no final de 1980 e na América do Sul em 1991, no estuário do Rio de la Plata, na Argentina. O *L. fortunei* expandiu sua distribuição na América do Sul para Uruguai, Paraguai, Brasil e Bolívia, em uma média de 240 quilômetros por ano. Nas áreas invadidas, esses mexilhões têm causado incrustação em larga escala em substratos duros naturais e artificiais, atingindo densidades populacionais de aproximadamente 150 mil indivíduos/m², alterando a estrutura e a função dos ecossistemas invadidos, diminuindo a matéria em suspensão, clorofila e produção primária, devido à sua alta capacidade de filtração. Esta espécie é, também, um incômodo para indústria, causando enormes consequências econômicas.

Isognomon bicolor é um bivalve marinho pertencente à família *Isognomonidae*, endêmico do mar do Caribe. Possui rápido crescimento, sendo encontrado em altas densidades nos costões rochosos, ocorrendo

desde a faixa superior do médio litoral até sete metros de profundidade. Suas conchas adotam as mais diversas formas e isso permite que este bivalve possa se expandir entre e sobre os demais organismos incrustantes do costão rochoso, limitando a habilidade que esses organismos poderiam ter para obtenção de alimento. O *I. bicolor* está presente, no litoral brasileiro, desde meados da década de 1980, quando foi registrado em Atol das Rocas (Natal, RN). Atualmente, este bivalve está presente em grande parte da costa brasileira, incluindo as regiões Nordeste (RN, PE e BA), Sudeste (SP e RJ) e Sul (PR e SC).

O caso do mexilhão *Perna perna* é um exemplo do processo de bioinvasão que tem sido reconstruído a partir de dados da pré-história. Foi sugerido que os costões rochosos brasileiros foram cenários de uma invasão biológica ocorrida há mais de 500 anos. Ao comparar a abundância do molusco bivalve *P. perna* nos sambaquis e nos costões rochosos das regiões sul e sudeste, observou-se que esse recurso é abundante nos costões, contudo, não foi possível confirmar a presença da espécie para nenhum sambaqui. Além da ausência nos sambaquis, é interessante mencionar o comportamento invasor do gênero *Perna*.

Em 1990, duas invasões biológicas de populações desse gênero, de origem desconhecida, foram reportadas no Caribe e no Golfo do México. Do mesmo modo, na Venezuela (onde não se tem registro de *P. perna* para o período da conquista da América), verificou-se que com o desenvolvimento, nos anos 1960, da aquicultura de *P. perna*, houve, nesse local, um esgotamento dos bancos naturais de *Pinctada imbricata* que eram muito comuns no período da conquista da América. No Brasil, o molusco bivalve *P. imbricata*, de maneira inversa ao mexilhão *P. perna*, possui presença rara nos costões atuais, sendo abundante nos sambaquis adjacentes.

Essas evidências sugerem que a espécie *P. imbricata* era um recurso alimentar muito utilizado pelas populações pré-históricas, até o momento em que foi substituída pela chegada do mexilhão *P. perna*. Então, a espécie *P. perna* seria exótica no Brasil, sendo originária, provavelmente, da África. Sua introdução no Brasil teria se dado há muitos anos, possivelmente, junto ao desenvolvimento do comércio marítimo extensivo, à época do tráfico de escravos. O vetor dessa bioinvasão histórica seria a incrustação nos cascos dos navios negreiros.

De maneira curiosa, na atualidade, a espécie *I. bicolor* tem sido observada numa variedade de costões ao longo da costa sul-sudeste

brasileira. Nos costões onde coexistem *I. bicolor* e *P. perna*, observa-se a redução na abundância de *P. perna*, em função da presença de *I. bicolor*, sugerindo que esteja acontecendo um processo de substituição de espécies semelhante, talvez, aquele que, possivelmente, foi verificado entre *P. imbricata* e *P. perna* no passado.

5. PERDAS E DANOS

A introdução de uma espécie é frequentemente considerada como poluição biológica. Entretanto, é necessário ter cautela na aplicação deste termo. A utilização do termo “poluição biológica” é adequada ao caso de espécies introduzidas apenas em situações nas quais o organismo se torna um invasor, ou seja, quando sua presença e abundância interferem na capacidade de sobrevivência das demais espécies no local afetado ou traz algum dano econômico, ambiental ou para saúde humana.

Além disto, uma mesma espécie exótica pode se tornar prejudicial em algumas áreas e não em outras, normalmente como resultado de fatores muito difíceis, senão impossíveis, de predizer com confiança a partir da

biologia e ecologia do organismo em seus limites naturais. Na prática, o potencial de uma espécie introduzida se tornar invasora nem sempre é previsível, pois depende de variações ambientais nas áreas de origem e destino, no padrão de transporte da espécie, ou mesmo de inoculações ao acaso.

Para atingir a condição de espécie nociva ou invasora, a espécie tem de realizar pelo menos uma das seguintes ações: deslocar espécies nativas via competição por espaço, luz ou alimento; ser predadora de espécies nativas e reduzir sua densidade ou biomassa; parasitar ou causar doença em espécies localmente importantes (espécies cultivadas ou com alto significado ecológico e valor de conservação); produzir toxinas que se acumulam na cadeia alimentar, envenenar outros organismos, ou causar risco direto à saúde humana (por exemplo, pela disseminação de patógenos ou por acumulação de ficotoxinas em moluscos e peixes utilizados na alimentação humana).

Outro dano importante causado pela bioinvasão é a redução da biodiversidade global. A invasão de relativamente poucas espécies muito adaptáveis e competitivas sobre vastas áreas do globo tende a empobrecer e homogeneizar os ecossistemas. A espécie invasora penetra e se aclimata em

outra região onde não era encontrada antes, prolifera sem controle e passa a representar ameaça para espécies nativas e para o equilíbrio dos ecossistemas que vai ocupando e transformando a seu favor.

Por isso, as espécies invasoras que tendem a proliferar de maneira explosiva, são grandes transformadoras dos ambientes conquistados, alterando suas características físicas, modificando as relações entre os seres vivos e os sistemas de dominância, se tornando predadoras, interferindo nas cadeias tróficas e na química dos substratos inorgânicos, na densidade e distribuição da biomassa, no balanço energético e genético e competindo diretamente por espaço e nutrientes com espécies residentes. Às vezes as transformações são tão profundas a ponto de inviabilizar a sobrevivência de outros seres, causando sua extinção ou deslocamento para regiões mais favoráveis e, assim, obrigando as espécies expulsas a se tornarem, elas mesmas, invasoras de outras áreas, num efeito de cascata.

Além do declínio ou extinção de espécies nativas e prejuízos econômicos, as invasões favorecem a disseminação de doenças e pragas, perturbando os ciclos físicos, químicos, biológicos e climáticos, que são fundamentais para a vida humana. Com a crescente interferência humana nos

ambientes, projeta-se que as invasões se multipliquem no futuro e, com elas, seus impactos.

Ao contrário de outros problemas ambientais que podem se diluir e amenizar com o tempo, as espécies invasoras muitas vezes tornam-se dominantes e as consequências tendem a se agravar à medida que sua adaptação se completa. Vamos citar dois exemplos de perdas e danos causados pela bioinvasão.

Introduções de organismos, principalmente peixes, tanto de espécies nativas como exóticas, são comuns no Brasil e resultam da falta de informação sobre os problemas que a bioinvasão pode causar. Os peixes amazônicos, por exemplo, estão entre as espécies mais introduzidas em outras bacias hidrográficas no Brasil, sendo o tucunaré (*Cichla* sp.) um dos mais comuns em introduções. Na bacia do rio Paraná os piscívoros da Amazônia alcançam grande sucesso, causando o problema da homogeneização antropogênica.

A introdução de moluscos nos rios brasileiros chamou a atenção para o mesmo problema da homogeneização antropogênica nas águas continentais. Organismos nativos foram incluídos na lista de espécies da fauna silvestre

ameaçadas de extinção do estado do Rio Grande do Sul, devido à competição ecológica causada pela invasão de outros moluscos exóticos, tais como o *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado) e a *Corbicula flumínea* (bivalve asiático).

Desses dois exemplos de bioinvasão nas águas continentais brasileiras, o caso do “mexilhão dourado” (*Limnoperna fortunei*) é o mais alarmante. Através de seu alto poder reprodutivo e ausência de inimigos naturais, o “mexilhão dourado” tem causado sérios problemas de entupimento nos sistemas coletores de água, canalizações e refrigeradores das hidrelétricas de Yacyreta (Argentina) e Itaipu (Argentina, Brasil e Paraguai), causando severas perdas econômicas nestes países.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, abordamos as invasões biológicas e buscamos entender o porque desses eventos tão intrigantes. Falamos de todas as etapas do processo de invasão; discutimos as diferentes definições e terminologia utilizadas; relacionamos os vetores de transporte de organismos às atividades humanas; caracterizamos a biologia das espécies bioinvasoras

e as mudanças evolutivas por elas sofridas; entendemos as regras do jogo do estabelecimento (necessidades do organismo introduzido *versus* condições do novo ambiente); conhecemos algumas espécies bioinvasoras e as perdas e danos causados por elas. Agora que conhecemos estas histórias extremas, podemos retornar a nossa pergunta inicial: como pode uma espécie invadir um ambiente estranho, para o qual não foi adaptada e, ainda, suplantar, por competição, as espécies adaptadas do local? A resposta simples e direta a esta pergunta seria: não pode! Entretanto, depois de tudo o que conversamos, podemos elaborar uma resposta um pouco mais imaginativa.

O ser humano transporta, de forma constante, através dos vetores, um volume cada vez maior de espécies para várias regiões. Eventos repetitivos de invasão aumentam a chance do estabelecimento de uma espécie, principalmente se forem euribiontes. As espécies precisam, portanto, vencer os seus limites migratórios, vencer uma competição desigual contra espécies com gerações de história adaptativa, sobreviver ao depauperamento da variação gênica e dar sorte, muita sorte.

O fato de ser surpreendente que espécies invasoras se estabeleçam em novos *habitats*, não impede que as bioinvasões ocorram. É possível afirmar que as invasões biológicas são, geralmente, constituídas de rápidos

eventos evolutivos, resultando em populações geneticamente dinâmicas, tanto no espaço, quanto no tempo. As bioinvasões são um incrível exemplo da biologia vencendo seus limites e chegando ao extremo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARD, J., R. KISHORE & B. BAYNE. *Perna viridis* (Linnaeus, 1758): first record of the Indo–Pacific green mussel (Mollusca: Bivalvia) in the Caribbean. *Caribbean Marine Studies*, 3: 59–60. 1993.

ALBERT, R., J. M. LISHMAN & J. R. SAXENA. Ballast water regulations and the move toward concentration-based numeric discharge limits. *Ecological Applications*, 23(2): 289–300, 2013.

BARNES, D. K. A. Invasions by marine life on plastic debris. *Nature*, 416: 808–809, 2002.

BARTON, N. & M. TURELLI. Evolutionary quantitative genetics: How little do we know? *Annual Review of Genetics*, 23: 237–370, 1989.

BOLTOVSKOY, D., F. SYLVESTER, A. OTAEGUI, V. LEITES & D. CATALDO. Environmental modulation of reproductive activity of the invasive mussel *Limnoperna fortunei*: implications for antifouling strategies. *Austral Ecology*, 34: 719–730, 2009.

BOLTOVSKOY, D., N. CORREA, D. CATALDO & F.SYLVESTER. Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Rio de la Plata watershed and beyond. *Biological Invasions*, 8: 947–963, 2006.

BREVES-RAMOS, A., A. O. R. JUNQUEIRA, H. P. LAVRADO, S. H. G. SILVA & M. A. G. FERREIRA-SILVA. Population structure of the invasive bivalve *Isognomon bicolor* on rocky shores of Rio de Janeiro State (Brazil). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90: 453-459, 2010.

CARLTON, J. T. Patterns of transoceanic marine biological invasions in the Pacific Ocean. *Bulletin of Marine Science*, 41(2): 452-465, 1987.

CARLTON, J.T. Transoceanic and inter-oceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water. *Oceanography and marine biology : an annual review*, 23: 313–317, 1985.

COHEN, A. N. & J. T. CARLTON. Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary. *Science*, 279: 555–558, 1998.

COLES, S. L., R. C. DEFELICE, L. G. ELDREDGE & J. T. CARLTON. Historical and recent introductions of non-indigenous marine species into Pearl Harbor, Oahu, Hawaiian Islands. *Marine Biology*, 135: 147–158, 1999.

DARRIGRAN, G. & G. PASTORINO. The Recent Introduction of Asiatic Bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. *The Veliger*, 38(2):183-187, 1995.

DARRIGRAN, G. & I. E. DRAGO. Invasion of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in America. *Nautilus*, 2: 69-74, 2000.

DARRIGRAN, G., M. E. MAROÑAS & D. C. COLAUTTI. Air exposure as a control mechanism for the golden mussel, *Limnoperna fortunei*, (Bivalvia: Mytilidae). *Journal of Freshwater Ecology*, 19: 461–464, 2004.

DARRIGRAN, G., N. BONEL, D. COLAUTTI & N. J. CAZZANIGA. An alternative method to assess individual growth of the golden mussel (*Limnoperna fortunei*) in the wild. *Journal of Freshwater Ecology*, 26: 527-535, 2011.

DUFFY, M. A., L.J.C. PERRY, M. KEARNS, L. J. WEIDER & N. G. HAIRSTON. Paleogenetic evidence for a past invasion of Onondaga Lake, New York, by exotic *Daphnia curvirostris* using mtDNA from dormant eggs. *Limnology and Oceanography*, 45: 1409–1414, 2000.

FARIA, R. G. S., E. P. SILVA & R. C. C. L. SOUZA. Biodiversity of Marine Molluscs from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro (Brazil). *Revista Chilena de Antropologia*, 29(1): 49-54, 2014.

FERNANDES, F. C., R. C. C. L. SOUZA & E. P. SILVA. Bivalves marinhos introduzidos no Brasil. In: *Tópicos em Malacologia: Ecos do XIX Encontro Brasileiro de Malacologia* (M. A. FERNANDEZ, S. B. SANTOS, A. D. PIMENTA & S.C. THIENGO, eds.), pp. 300-309. Technical Books Editora, Rio de Janeiro, 2011.

FRANKHAM, R. Invasion biology – resolving the genetic paradox in invasive species. *Heredity*, 94: 385, 2005.

GARCIA-RAMOS, G. & D. RODRIGUEZ. Evolutionary speed of species invasions. *Evolution*, 56(4): 661–668, 2002.

GOLLASCH, S. The importance of ship hull fouling as a vector of species introductions into the North Sea. *Biofouling*, 18(2): 105–121, 2002.

HEWITT, C. L., M. L. CAMPBELL, R. E. THRESHER, R. B. MARTIN, S. BOYD & B. F. COHEN. Introduced and cryptogenic species in Port Phillip Bay, Victoria, Australia. *Marine Biology*, 144: 183–202, 2004.

HICKS, D. W. & J. W. TUNNELL. Invasion of the south Texas coast by the edible brown mussel *Perna perna* (Linnaeus, 1758)". *The Veliger*, 36: 92–97, 1993.

HOLLAND, B. S. Invasion without a bottleneck: microsatellite variation in natural and invasive populations of the brown mussel *Perna perna* (L). *Marine Biotechnology*, 3: 407–415, 2001.

JORY, D.; T. CABRERA, B. POLANCO, R. SÁNCHEZ, J. MILLAN, C. ALCESTE, E. GARCIA, M. USECHE & R. AGUDO. Aquaculture in Venezuela: perspectives. *Aquaculture Magazine*, 25(5): 1–5, 2000.

LEE, C. E. Evolutionary genetics of invasive species. *Trends in Ecology and Evolution*, 17: 386-391, 2002.

LOPES, R. P., M. R. DUARTE & E. P. SILVA. A Genética e as invasões biológicas: dois estudos de caso de bivalves invasores do Brasil. *Genética na Escola*, 9: 86-91, 2014.

MACARIO, K. D., R. C. C. L. SOUZA, D. C. TRINDADE, J. DECCO, T. A. LIMA, O. A. AGUILERA, A. N. MARQUES, E. Q. ALVES, F. M. OLIVEIRA, I. S. CHANCA, C. CARVALHO, R. M. ANJOS, F. C. PAMPLONA & E. P. SILVA. Chronological model of a Brazilian Holocene shellmound (Sambaqui da Tarioba, Rio de Janeiro, Brazil). *Radiocarbon*, 56(2): 489–499, 2014.

MACARIO, K. D., R. C. C. L. SOUZA, O. A. AGUILERA, C. CARVALHO, F. M. OLIVEIRA, E. Q. ALVES, I. S. CHANCA, E. P. SILVA, K. DOUKA, J. DECCO, D. C. TRINDADE, A. N. MARQUES, R. M. ANJOS, & F. C. PAMPLONA. Marine reservoir effect on the Southeastern coast of Brazil: results from the

Tarioba shellmound paired samples. *Journal of Environmental Radioactivity*, 143:14-19, 2015.

MACHADO, C. J. S., A. E. S. OLIVEIRA, D. M. S. MATOS, V. PIVELLO, M. CHAME, R. C. C. L. SOUZA, S. CALANZAS & E. P. SILVA. Recomendações para elaboração e consolidação de uma estratégia nacional de prevenção e controle das espécies exóticas no Brasil. *Ciência e Cultura*, 61: 42-45, 2009.

MACISAAC, H. J., T. C. ROBBINS & M. A. LEWIS. Biological invasions of aquatic habitats in Europe and the Great Lakes: modeling ships' ballast water as invasion threats to the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59: 1245–1256, 2002.

MAGARA Y., Y. MATSUI, Y. GOTO & A. YUASA. Invasion of the non-indigenous nuisance mussel, *Limnoperna fortunei*, into water supply facilities in Japan. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 50: 113–124, 2001.

MANSUR, M. C. D., C. P. SANTOS, G. DARRIGRAN, I. HEYDRICH, C. T. CALLIL & F. R. CARDOSO. Primeiros dados quali-quantitativos do mexilhão-dourado, *Limnoperna fortunei* (Dunker), no Delta do Jacuí, no Lago Guaíba e

na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil e alguns aspectos de sua invasão no novo ambiente. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(1): 75-84, 2003.

MANSUR, M. C. D., L. M. Z. RICHINITTI & C. P. SANTOS. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857), molusco bivalve invasor, na bacia do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências*, 7(2): 147-149, 1999.

MARSDEN, J. E., A. SPIDLE & B. MAY. Genetic similarity among zebra mussel populations within North America and Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52: 836–847, 1995.

MARTINEZ, E. R. Estado atual de la biologia y cultivos de moluscos comestibles en Venezuela. *FAO Fisheries & Aquaculture*, 71(2): 173–181, 1971.

MENDES, A. B., COSTA, A. B. S., SOUZA, R. C. C. L. & SILVA, E. P. Cabo Frio: bens naturais e culturais. Alfa Produções e Eventos / Clube de Autores: Cariacica / Joinville, 2015.

MENDES, A. B., E. P. SILVA & R. C. C. L. SOUZA. Biodiversity of Marine Fishes from Shellmounds of Ilha Grande Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Chilena de Antropologia*, 29(1): 55-59, 2014.

OLIVEIRA, M. D., A. M. TAKEDA, L. F. BARROS, D. S. BARBOSA & E. K. RESENDE. Invasion by *Limnoperna fortune* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) of the Pantanal Wetland, Brazil. *Biological Invasions*, 8: 97–104, 2006.

PAOLUCCI, E. M., D. H. CATALDO, C. M. FUENTES & D. BOLTOVSKOY. Larvae of the invasive species *Limnoperna fortune* (Bivalvia) in the diet of fish larvae in the Paraná River, Argentina. *Hydrobiologia*, 589: 219–233, 2007.

PASTORINO, G., G. DARRIGRAN, S. M. MARTIN & L. LUNASCHI. *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) (Mytilidae), Nuevo bivalvo invasor en aguas del Rio de la Plata. *Neotropica*, 39: 34, 1993.

PRENTIS, P. J., J. R. U. WILSON, E. E. DORMONTT, D. M. RICHARDSON & A. J. LOWE. Adaptive evolution in invasive species. *Trends in Plant Science* 16(6): 288–294, 2008.

REISE, K., S. GOLLASCH & W. J. WOLFF. Introduced marine species of the North Sea coasts. Helgoland Marine Research, 52: 219–234, 2008.

RICCIARDI, A. Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): Another fouling threat to freshwater systems. Biofouling, 13: 97–106, 1998’.

RUIZ, G. M., J. T. CARLTON, E. D. GROSHOLZ & A. H. HINES. Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences. Integrative and Comparative Biology, 37: 621–632, 1997.

SEEBENS, H., M. T. GASTNER & B. BLASIUS. The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. Ecology Letters, 16: 782:790, 2013.

SILVA, E. P. & L. A. B. ANDRADE, Para um estudante de Biologia saber. UFF-CEAD, Niterói, 2012.

SILVA, E. P. Genética da bioinvasão. Pesquisa Naval, 14: 237-247, 2001.

SILVA, E. P. Genética Marinha. In: Biologia Marinha. (R. C. PEREIRA & A. SOARES-GOMES, orgs), pp. 333-351. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, E. P. Marcadores moleculares no rastreamento da bioinvasão. In: Água de Lastro e Bioinvasão. (J. S. V. SILVA & R. C. C. L. SOUZA, orgs), pp. 191-203. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, E. P. Genética Marinha. In: Biologia Marinha. (R. C. PEREIRA & A. SOARES-GOMES, orgs), pp. 49-69, 2º edição revista e ampliada. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, E. P. Genética da bioinvasão do mexilhão-dourado. In: *Moluscos Límnicos Invasores do Brasil: Biologia, Prevenção, Controle*. (M. C. D. MANSUR, C. P. SANTOS, D. PEREIRA, I. C. P. PAZ, M. L. L. ZURITA, M. T. R. RODRIGUEZ, M. V. NEHRKE & P. E. A. BERGONCI, eds), pp. 51-57. Redes Editora, Porto Alegre, 2012..

SILVEIRA, N .G., R. C. C. L. SOUZA, F. C. FERNANDES & E. P. SILVA. Ocurrence of *Perna perna*, *Modiolus carvalhoi* (Mollusca, Bivalvia, Mytilidae)

and *Megabalunus coccopoma* (Crustacea, Cirripedia) off Areia Branca, Rio Grande do Norte State, Brazil. *Biociências*, 14(1):89-90, 2006.

SOUZA, R. C. C. L. & E. P. SILVA. Moluscos Marinhos na Pré-História: Estudando a Evolução da Biodiversidade. *Boletim Informativo da Associação Brasileira de Biologia Marinha*, 3(3): 4-7, 2010.

SOUZA, R. C. C. L., D. C. TRINDADE, J. DECCO, T. A. LIMA & E. P. SILVA, Archaeozoology of marine mollusks from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brazil. *Zoologia*, 27(3):363-371, 2010.

SOUZA, R. C. C. L., E. P. SILVA & F. C. FERNANDES. Sambaqui: Baú de preciosas informações. *Ciência Hoje*, 36(214): 72-74, 2005.

SOUZA, R. C. C. L., F. C. FERNANDES & E. P. SILVA. A study on the occurrence of the brown mussel *Perna perna* on the sambaquis of the Brazilian coast. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia USP*, 13: 3-24, 2003.

SOUZA, R. C. C. L., F. C. FERNANDES & E. P. SILVA. Distribuição atual do mexilhão *Perna perna* no mundo: um caso recente de bioinvasão. In: *Água de*

Lastro e Bioinvasão. (J. S. V. SILVA & R. C. C. L. SOUZA, orgs), pp. 157-172. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

SOUZA, R. C. C. L., F. C. FERNANDES, T. A. LIMA & E. P. SILVA. *Perna perna* (Linnaeus, 1758): um possível caso de bioinvasão no litoral brasileiro. In: I Simpósio Brasileiro sobre Espécies Exóticas Invasoras. Brasília, DF: 13 p., 2005,

Disponível em:

http://www.mma.gov.br/invasoras/capa/docs/paineis/perna_perna.pdf

Acessado em 15 de maio de 2016.

SOUZA, R. C. C. L., S. CALANZAS & E. P. SILVA. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. *Ciência e Cultura*, 61: 35-41, 2009..

SOUZA, R. C. C. L., T. A. LIMA & E. P. SILVA. Holocene molluscs from Rio de Janeiro state coast, Brazil. *Check List*, 6(2):301-308, 2010.

SOUZA, R. C. C. L., T. A. LIMA & E. P. SILVA. Conchas Marinhas de Sambaquis do Brasil. Rio de Janeiro, Technical Books Editora, 2011.

SOUZA, R. C. C. L., T. A. LIMA & E. P. SILVA, Remarks on the biodiversity of marine molluscs from late Holocene Brazilian shell mounds. In: Proceedings of the General Session of the 11th International Council for Archaeozoology Conference (C. Lefèvre, ed.), pp. 245-256. Archaeopress, Publishers of British Archaeological Reports, Oxford. 2012

TEJERA, E., I. OÑATE, M. NUÑEZ, & C. LODEIROS. Crecimiento inicial del mejillón marrón (*Perna perna*) y verde (*Perna viridis*) bajo condiciones de cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 34(2): 81–304. 2000.

WEBER, L. I. & E. P. SILVA. Sistemática molecular e genética de populações. In: *O Mexilhão Perna perna (L.): Biologia, Ecologia e Aplicações*. (C. RESGALLA JR., L. I. WEBER & M. B. CONCEIÇÃO, orgs), pp. 121-149. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2008.

VÍRUS AMBIENTAIS: GIGANTISMO E ABUNDÂNCIA

Izabel Christina Nunes de Palmer Paixão¹

Juliana Eymara Fernandes Barbosa¹

Lorena da Graça Pedrosa de Macena¹

Neuza Rejane Wille Lima²

Priscila Santana Pererira¹

Viveca Giongo¹

1. Laboratório de Virologia Molecular e Biotecnologia Marinha,

2. Laboratório de Ecologia Animal e Vegetal

Instituto de Biologia/UFF

1. AFINAL O QUE SÃO VÍRUS?

Por muitos anos, os vírus encontraram-se ocultos e desconhecidos pela humanidade. Até que na Alemanha, em 1886, o pesquisador Adolf Mayer observou que havia algum organismo diferente que provocava uma doença em plantas utilizadas na fabricação do Tabaco (família *Solanaceae*).

Essas plantas possuíam sintomas que variavam desde manchas suaves em diversos tons de verde (formando um mosaico), até distorções nas folhas e interrupção em seu crescimento.

Com o passar dos anos, outros cientistas como Dimitry Ivanovsky (1892) e Martinus Beijerinck (1898) deram continuidade aos estudos do agente infeccioso dessas plantas e notaram que a doença era causada por um microorganismo que não podia ser visualizado e cultivado *in vitro* nos meios sintéticos (artificiais).

Dessa forma, esses organismos se distinguiram dos microorganismos celulares conhecidos até então pela comunidade científica, como por exemplo, bactérias e fungos. As características iniciais observadas no perfil da doença do tabaco trouxeram a ideia de ser um veneno presente na planta e a partir disto derivou o termo “vírus” que em latim significa veneno. Somente em 1935, o Vírus do Mosaico do Tabaco foi purificado elucidando a presença da partícula viral, possibilitando a diferenciação entre os diferentes ramos da microbiologia e a virologia passou a ser estudada.

Apenas em 1937, com o avanço tecnocientífico e a criação do microscópio eletrônico, as “partículas-virais” passaram a ser visualizadas. A técnica de microscopia eletrônica colaborou para detecção de outras partículas que apresentavam morfologias distintas, sendo um mecanismo muito utilizado até hoje por demonstrar a disposição da estrutura viral, tornando-se uma das características fundamentais no critério de classificação dos vírus.

Através das contribuições da *Revolução Darwiniana*¹⁵ e da *Revolução Genética*¹⁶ nos séculos XIX e XX, os seres vivos passaram a ser classificados de acordo com sua ancestralidade e características genéticas em comum.

¹⁵ A Teoria da Evolução, proposta por Charles Darwin, em sua primeira publicação em 1859, revolucionou o pensar da biologia enquanto ciência que estuda os seres vivos – origem, morfologia, fisiologia e ecologia. A teoria propõe que os seres vivos teriam evoluído de um ancestral comum, herdando pequenas modificações, que se perpetuariam ou não, por seleção natural.

¹⁶ A revolução biológica é desencadeada pela descoberta do Ácido Desoxirribonucleico (DNA) descoberto por Crick e Watson em 1953, proporcionando inovações natecnológicas como: transplantes, reprodução, genética, clonagem entre outras.

Posteriormente passaram a ser agrupados em uma árvore filogenética universal, na qual seria utilizada a análise do *RNAr*¹⁷ (16S) para diagnosticar a ancestralidade em comum, permitindo a criação de “três domínios da vida: *Archaea*, *Eubacteria* e *Eukarya*¹⁸”. Porém os vírus, por não possuir RNA ribossomal, estrutura celular e metabolismo próprio, continuavam e continuam até hoje não sendo inclusos nessa árvore e também não são classificados como seres vivos.

Entretanto, a história começou a mudar em 1992, quando o primeiro Mimivírus (nome originado da abreviatura em inglês *mimicking*: “vírus

¹⁷ O ácido ribonucleico: sigla em português. ARN e em inglês, RNA (*Ribonucleic Acid*) é uma molécula transcrita do DNA que é responsável pela síntese de proteínas da célula. O RNA ribossômico (RNAr) é o componente primário dos ribossomas.

¹⁸ Seres sem núcleo que são morfologicamente semelhantes às bactérias, porém são diferentes destas quanto ao funcionamento do genoma e a fisiologia; *Eubacteria* são as bactérias que também são seres que não possuem núcleo e *Eukarya* são os seres com uma (amebas) ou mais células (peixes) contendo núcleo.

imitando micróbio”) foi encontrado em circuitos de refrigeração industrial em Bradford, na Inglaterra.

2. A HISTÓRIA DOS VIRUS GIGANTES

Curiosamente os Mimivírus só foram identificados como vírus em 2003, quando o seu capsídeo icosaédrico foi observado pela microscopia eletrônica. Até então, esses vírus eram classificados erroneamente no gênero *Legionella*, devido a sua capacidade de ser corado pela técnica de Gram, além de outras características. Portanto, com os nossos conhecimentos atuais podemos dizer que os Mimivírus possuem as seguintes características:

- a) apresentam um tamanho aproximado de 750 nm, podendo ser visíveis ao microscópio óptico;
- b) possuem genoma com 1,2 milhões de pares de bases cromossômicos, 1000 genes;
- c) codificam RNA e/ou DNA;
- d) podem ser corados pela técnica de Gram, como as bactérias gram positivas;
- e) reproduzem mesmo que dependente de uma célula hospedeira;

f) são suscetíveis às mutações.

A partir da descoberta dos Mimivírus, a comunidade científica foi desafiada a reorganizar a sua própria definição de vírus e entidades vivas. Assim, como outros seres animados, os mimivirus também apresentam os primeiros quatros *aminoacil*¹⁹ que até então não tinham sido encontrados fora de células propriamente ditas, além de um genoma codificante de 979 proteínas.

Em setembro de 2008, o grupo de pesquisa liderado pelo Doutor Eugene V. Koonin descobriu e descreveu o mamavírus. A publicação do Dr. Koonin e seus colaboradores identificou mais de mil genes nos mamavirus. E de forma semelhante aos mimivírus, o mamavírus foi encontrado em um sistema de refrigeração, em Paris, parasitando uma ameba *Acanthamoeba*

¹⁹ Termo genérico para aqueles compostos em que os aminoácidos são esterificados através dos seus grupos COOH para o 3'- (ou 2'-) OHS dos resíduos de adenosina terminais de RNAs de transferência (por exemplo , alanil - ARNt , glicil - ARNt) ; cada composto envolve uma ou um número pequeno de ARNt de estrutura química específica . Usado na biossíntese de proteínas.

polyphaga. Além disso, esses autores demonstraram por microfotografia a infecção de um mamavírus por um vírus de pequeno porte, (50nm) - o *Sputinik*.

Com os avanços tecnológicos, principalmente com a virologia molecular, diversas espécies de vírus têm sido identificadas nos mais variados ecossistemas no mundo, como o *Marseillevirus*, identificado em amostras de biofilme de um sistema de refrigeração em 2009. Seu genoma contém 368 mil pares de base.

O vírus *Cafeteria roenbergensis* (CroV) foi descoberto em águas marinhas da costa do Texas (EUA), no início de 1990. Porém, foi reconhecido como vírus apenas em 2010. Seu genoma contém 730 mil pares de bases.

O *Megavirus chilensis* foi descoberto em 2011, em uma amostra de água do mar ao largo da costa do Chile. Contém 1,2 milhões de pares de bases de DNA que codificam 1.100 proteínas.

O Pandoravírus foi descoberto em 2013, recebendo este nome em referência ao mito grego de Pandora, que libertaria uma série de questões científicas, e neste caso explicar o diâmetro de aproximadamente 1 µm

contendo um dos maiores genomas de todos os vírus conhecidos. A espécie *Pandoravirus salinus* contém um genoma de 2,5 milhões de pares de bases de DNA, responsáveis por 2500 proteínas e foi encontrada na água do mar ao largo da costa do Chile, e *Pandoravírus dulcis* possui um genoma de 1,9 milhões de pares de bases de DNA e foi encontrado em um lago do jardim na Universidade Latrobe, Melbourne, Austrália.

O *Sambavirus* foi encontrado em amostras de água de superfície do sistema do rio Amazonas, no Brasil, em 2014. Seu genoma, contendo 1,2 milhões de pares de bases de DNA, codifica 938 proteínas.

O *Pithovirus sibericum* foi identificado em amostra de solo congelado da Sibéria, de 30 mil anos atrás, em análises realizadas em 2014. O seu genoma de 610 mil pares de bases de comprimento codifica 467 proteínas.

O *Mollivirus sibericum* também foi identificado a partir da mesma amostra contendo *Pithovirus sibericum* e sua existência foi revelada em 2015. O seu genoma possui 651 mil pares de bases contendo 523 genes codificadores de proteínas.

Recentemente, dois pesquisadores Úngaros - Csaba Kerepesi e Vince Grolmusz - publicaram uma rápida comunicação na revista *Archives of Virology*, informando sobre a presença de DNA de diversos vírus gigantes no solo do Deserto de Kutch (Índia), considerado um ecossistema árido, quente e salgado. Essa descoberta causou um enorme impacto para a virologia ambiental, pois evidencia a presença de vírus gigantes em um dos ecossistemas mais extremos do planeta. O tamanho do DNA e o número de proteínas codificadas por esses "vírus gigantes desérticos" ainda não foram publicados.

3. ABUNDÂNCIA DE VÍRUS AMBIENTAIS

Hoje sabemos que os vírus são agentes biológicos filtráveis, necessitam de uma célula para infectar, hospedar e “se multiplicar”, sendo por isso definidos como parasitas intracelulares obrigatórios. Entretanto, sob uma perspectiva ecológica, o conceito de vírus como “agentes patogênicos”, não é capaz de incluir todas as possibilidades de participação destes elementos genéticos nos diversos tipos de ambientes, pois a abundância

destes não significa apenas infectividade, uma vez que podem permanecer viáveis em sedimentos por meses e até décadas.

Assim como outros vírus, os vírus ambientais possuem distintas morfologias, genomas e tamanhos que variam entre 20nm a 750nm.

Esses microrganismos infectam hospedeiros pertencentes aos domínios *Archaea*, *Eubacteria* e *Eukarya*, podendo até mesmo parasitar outros vírus, como é o caso do vírus *Sputnick*, que só consegue se multiplicar quando hospeda o mimivírus ou o mamavírus, mantendo uma coinfeção viral dentro de uma ameba da espécie denominada *Acanthamoeba polyphaga*.

Mesmo com todas essas evidências a comunidade científica ainda não chegou a um consenso quanto à classificação dos vírus como seres vivos ou não, por isso, hoje existe apenas um banco de dados *online*: Comitê Internacional para Taxonomia de Vírus (*International Committee on Taxonomy of Virus*), que classifica todos os vírus até então registrados em ordens, famílias, gêneros e espécies de acordo com seu genoma, estrutura viral,

estratégia de replicação (produção de novos vírus) e suas *sequências nucleotídicas*²⁰.

Todavia, os pesquisadores Raoult e Forterre propuseram, em 2008, a elaboração de uma nova árvore filogenética universal, onde a base principal do sistema de classificação seria a presença de capsídeos ou de ribossomos. Os organismos que conseguem codificar capsídeos e possuem distintas proteínas de replicação (vírus) seriam definidos em um ramo da árvore filogenética no grupo dos seres vivos, infectando diferentes organismos dos três domínios.

No outro ramo da árvore filogenética, se encontraria o grupo com os três domínios existentes e a codificação apenas de ribossomos. Esta proposta

²⁰ Sequências nucleotídicas (DNA ou RNA) são moléculas envolvidas na produção de moléculas ou sequências polipeptídicas (proteínas).

sugere que estas proteínas codificadoras de capsídeos²¹ seriam homólogos celulares originando-se a partir de antigas linhagens celulares (ancestrais comuns) que foram exterminadas pelos seus descendentes celulares. No entanto, são necessárias mais evidências para que esta proposta seja absorvida integralmente pela comunidade científica, apesar de que muitos pesquisadores passaram a aceitá-la como verdadeira.

Cabe ainda ressaltar que para muitas áreas de conhecimento, os vírus são reconhecidos como agentes ativos e porisso, importantes para as áreas de ecologia, evolução e genética. A principal observação científica que desencadeou essa mudança conceitual foi a percepção da abundância de vírus em todos os ambientes permissíveis a vida, em escala superior aos procariotos, reconhecidos ocupantes de todos esses nichos.

²¹ É o envoltório do vírus, formado por proteínas. Além de proteger o ácido nucleico do vírus, o capsídeo tem a capacidade de combinar-se quimicamente com substâncias presentes na superfície das células hospedeiras.

Estudos realizados em ambientes dulcícolas e marinhos têm sugerido a existência de grande diversidade de espécies e de estratégias de sobrevivência dos vírus. Além do predomínio de bacteriófagos em relação aos outros tipos de vírus. Os vírus, nos ecossistemas aquáticos, infectam tanto organismos como bactérias e protozoários, além de eucariotos de todas as classes, e estes podem ser encontrados em águas profundas, salternas solares (salinidade 10 vezes superior aos oceanos), fontes quentes ácidas ($>80^{\circ}\text{C}$ com $\text{pH}=3,0$), lagos alcalinos ($\text{pH}=10$), lagos polares ($>30\text{m}$ de profundidade) e ambientes subterrâneos terrestres ($>2\text{km}$ de profundidade).

Além disso, comunidades virioplanctônicas já foram encontradas em diversas latitudes, como no Ártico, na Antártica, e também nas diferentes porções temperada e tropical dos oceanos, Pacífico e Atlântico.

No entanto, poucos estudos têm investigado em ecossistemas aquáticos tropicais. Particularmente em ecossistemas aquáticos brasileiros, tal tipo de estudo ainda se encontra muito escasso, sendo descrito até o presente momento apenas dois trabalhos em ambientes dulcícolas, ambos na região Amazônica, dois estudos na costa litorânea do estado de São Paulo e dois estudos no sistema de ressurgência encontrado no litoral do estado do Rio de Janeiro.

A explicação para essa escassez de informações se deve, em grande parte, pela maioria dos estudos em virologia ambiental terem como alvo aplicações de ações em Saúde Pública e identificação dos agentes causadores de doenças, e não as interações ecológicas.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, com os avanços da genética e da biologia molecular, sabemos que os genes virais constituem a maior parte da *genosfera*²² até então descoberta.

Nesse contexto, os vírus passaram a ter grande importância em vários cenários evolutivos, dentre eles a origem do DNA. A ideia de que grandes partes destes seres poderiam habitar outros ambientes ou infectar outros hospedeiros ficou desconhecida e subestimada até o século XX.

²² Conjunto de material genético no ambiente colonizado por seres vivos (biosfera)

Os vírus deixaram, portanto, de serem reconhecidos apenas como patógenos de humanos, animais e plantas com relevância médica e veterinária e passaram a ter uma importância global a nível ecológico e na *transferência horizontal e vertical* de genes²³. Sendo assim, alguns campos do saber passaram por revisões teóricas um tanto recentes, e atualmente os vírus são reconhecidos como importantes personagens em temas de áreas diversas como ecologia, evolução e genética.

A observação-chave, que resultou em grandes mudanças conceituais, foi possivelmente a percepção da abundância dos vírus em todos os ambientes permissíveis à vida, em escala superior mesmo aos procariotos (*Archaea* e *Eubacteria*), reconhecidos ocupantes de todos esses nichos.

Apenas em 2005, os vírus foram descritos como as entidades biológicas mais abundantes nos ecossistemas aquáticos, chegando a serem

²³ Transferência horizontal de genes é um processo em que um organismo transfere material genético para outra célula que não é sua descendente.

Transferência vertical de genes, por contraste, ocorre quando um organismo recebe material genético do seu antecessor.

encontradas 10^9 partículas virais/mL na superfície da coluna d'água e 10^{30} partículas virais/mL em regiões oceânicas, superando a abundância bacteriana que foi determinada em até $5,5 \times 10^5$ para cada mL no Oceano Atlântico. Portanto, os vírus marinhos e os vírus presentes em outros *habitats* (dulcíaquícola, lagoas, lagos, rios, sedimentos, salternas, etc.) são reconhecidos como responsáveis pela maior reserva de diversidade genética da Terra.

Em 2006, a virosfera global marinha passou a ser estudada, corroborando com o aumento dos estudos tanto na área da virologia marinha quanto na virologia ambiental e possibilitando novas descobertas científicas. Desse modo, entendemos, a cada dia, que a relação da vida na Terra tem sido direcionada por ações dos microorganismos, uma vez que são agentes que atuam de forma decisiva não só na vida humana, mas em toda a ecologia do planeta.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDON, S. T. (ED.). Bacteriophage ecology: population growth, evolution, and impact of bacterial viruses. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2008.

ABRAHÃO, J. S. et al. Acanthamoeba polyphaga mimivirus and other giant viruses: an open field to outstanding discoveries. Virology Journal, v. 11, n. 1, p. 120, 2014.

ANGLY FE, FELTS B, BREITBART M, SALAMON P, EDWARDS RA & CARLSON C The marine viromes of four oceanic regions. PLoS Biology, 4: 2121-2131, 2006.

ARSLAN, D. et al. Distant Mimivirus relative with a larger genome highlights the fundamental features of Megaviridae. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 108, n. 42, p. 17486–17491, 18 out. 2011.

BARBOSA, J. E. ; SANTANA, P.P ; MACENA, L. P. ; Paula, B.F. ; NEPOMUCENO, A. ; CAPREZ, M. ; FERREIRA, D. F. ; AMORIM, L. M. ; GIONGO, V.& PAIXÃO, I.C.. Study of Viroplankton abundance and morphological diversity in a Brazilian coastal region influenced by upwelling system. *Journal of Marine Biology and Aquaculture*, v. 2, p. 1-10, 2016.

BARROS, N, FARJALLA VF, SOARES MC, MELO RC & ROLAND F (2010) Virus-bacterium coupling driven by both turbidity and hydrodynamics in an Amazonian floodplain lake. *Applied and Environmental Microbiology*, 76: 7194-201, 2010.

BREITBART, M. Marine Viruses: Truth or Dare. *Annual Review Marine Science*, 4:425-48, 2012.

BREITBART M & ROHWER F. Here a virus, there a virus, everywhere the same virus? *Trends in Microbiology*, 13: 278-284, 2005.

BURBANO ROSERO E.M., UEDA-ITO M., KISIELIUS J. J., NAGASSE-SUGAHARA T.K., ALMEIDA BC, SOUZA CP, MARKMAN C, MARTINS GG, ALBERTINI L & RIVERA, I. N. G. Diversity of somatic coliphages in coastal regions with different levels of anthropogenic activity in São Paulo State, Brazil. *Applied Environmental Microbiology*, 77: 4208–4216, 2011.

CHIBANI-CHENNOUFI S., BRUTTIN A., DILLMANN M. L. & BRUSSOW H. Phage- host interaction: an ecological perspective. *Journal of bacteriology*, 186, 3677-3686, 2004.

CAMPOS, R. K. et al. Samba virus: a novel mimivirus from a giant rain forest, the Brazilian Amazon. *Virology Journal*, v. 11, n. 1, p. 95, 2014.

CARVALHO, K. D. C.; PARANHOS, R. ANÁLISE DE ABUNDÂNCIA BACTERIANA NO ESTUDO DA ECOLOGIA MICROBIANA DE

SEDIMENTOS MARINHOS. *Oecologia Australis*, v. 14, n. 2, p. 415–436, 30 jun. 2010.

DANOVARO, R. et al. Marine viruses and global climate change. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 35, n. 6, p. 993–1034, 2011.

FENCHEL, T. The microbial loop – 25 years later. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 366, n. 1–2, p. 99–103,. 2008.

FILÉE J., TÉTART F, SUTTLE C. A. & KRISCH H. M. Marine T4-type bacteriophages, a ubiquitous component of the dark matter of the biosphere. *PNAS*, 35:12471-12476, 2005.

FISCHER, M. G. et al. The virion of Cafeteria roenbergensis virus (CroV) contains a complex suite of proteins for transcription and DNA repair. Virology, v. 466–467, p. 82–94, out. 2014.

FUHRMAN, J. A.; NOBLE, R. T. Viruses and protists cause similar bacterial mortality in coastal seawater. Limnology and Oceanography, v. 40, n. 7, p. 1236–1242, 1995.

GIMENES M. V., ZANOTTO P. M. , SUTTLE C. A., DA CUNHA H. B. & MEHNERT D. U. Phylodynamics and movement of phycodnaviruses among aquatic environments. ISME Journal, 6:237-47, 2012.

GRAFE, A. History of experimental virology. Springer, 2012.

JACQUET, S. et al. Viruses in aquatic ecosystems: important advancements of the last 20 years and prospects for the future in the field of microbial

oceanography and limnology. *Advances in Oceanography and Limnology*, v. 1, n. 1, p. 97–141, jun. 2010.

JIAO, N. et al. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean. ***Nature Reviews Microbiology***, v. 8, n. 8, p. 593–599, ago. 2010.

KEREPESI, C.; GROLMUSZ, V. Giant viruses of the Kutch Desert. *Archives of Virology*, v. 161, n. 3, p. 721–724, mar. 2016.

KHALIL, J. Y. B.; ANDREANI, J.; LA SCOLA, B. Updating strategies for isolating and discovering giant viruses. *Current Opinion in Microbiology*, v. 31, p. 80–87, jun. 2016.

LA SCOLA, B.; AUDIC, S.; ROBERT, C.; JUNGANG, L.; DE LAMBALLERIE, X.; DRANCOURT, M.; BIRTLES, R.; CLAVERIE, JM.; RAOULT, D. A giant virus in amoebae. *Science*, v. 299, p. 2033. 2003.

LEE C. W. & BONG C. W. The relative importance of viral lysis and grazing towards bacterial mortality in tropical coastal waters of Peninsular Malaysia. *Bulletin of Marine Science*, 88: 1-14, 2012.

LWOFF, A. J. The Concept of Virus . *Genetic. Microbiology*. 17:239–253. 1957.

MIAGOSTOVICH, M. P., FERREIRA, F. F. M. , GUIMARÃES F. R., FUMIAN T. M., DINIZ-MENDES L., LUZ S. L. B. , SILVA, L. A. & LEITE, J. P. G. Molecular detection and characterization of gastroenteritis viruses occurring naturally in the stream waters of Manaus, Central Amazônia, Brazil. *Applied and Environmental Microbiology*, 74: 375-382, 2008.

MIDDELBOE, M., GLUD, R.N., WENZHÖFER, F. & KITAZATO, H. Spatial distribution and activity of viruses in the deep-sea sediments of Sagami Bay, Japan. *Deep-Sea Research*, Part I, 53: 1-13, 2006.

OTAWA, K. et al. Abundance, Diversity, and Dynamics of Viruses on Microorganisms in Activated Sludge Processes. *Microbial Ecology*, v. 53, n. 1, p. 143–152, 29 jan. 2007.

PEDROSO, D. M. M. & MARTINS, M. T. Ultra-morphology of coliphages isolated from water. *Water Research*, 29: 1199-1202, 1995.

PENNISI, E. Ever-bigger viruses shake tree of life. *Science*, Vol 341.19. 2013.

PEREIRA G. C., GRANATO A., FIGUEIREDO A. R. & EBECKEN N. F. F. Virioplankton Abundance in Trophic Gradients of an Upwelling Field. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40, 857-865, 487, 2009.

POMEROY, L.R. The ocean's food web, a changing paradigm. *Bioscience*, 24: 499–504. 1974.

PRADEEP RAM, A. S.; SIME-NGANDO, T. Resources drive trade-off between viral lifestyles in the plankton: evidence from freshwater microbial microcosms. *Environmental Microbiology*, v. 12, n. 2, p. 467–479, fev. 2010.

RUSCH, D. B., HALPERN, A. L., SUTTON, G., HEIDELBERG, K. B., WILLIAMSON, S., ET AL. The Sorcerer II Global Ocean Sampling expedition: Northwest Atlantic through eastern tropical Pacific. *Plos Biology*, 5: 398-431, 2007.

SANTOS, C. S., RIGOTTO, C., SIMÕES, C. M. O. & BARARDI, C. R. M. Improved method for rotavirus detection in oysters using RT-PCR: suitable of commercial PCR kit. *Journal of Shellfish Research*, 20:997-1002, 2001.

SCHOLTHOF, K.-B. G. TOBACCO MOSAIC VIRUS: A Model System for Plant Biology. Annual Review of Phytopathology, v. 42, n. 1, p. 13–34, set. 2004.

SCHROEDER, D. C. et al. Virus Succession Observed during an *Emiliania huxleyi* Bloom. Applied and Environmental Microbiology, v. 69, n. 5, p. 2484–2490, 2003.

SHELFORD, E. et al. Virus-driven nitrogen cycling enhances phytoplankton growth. Aquatic Microbial Ecology, v. 66, n. 1, p. 41–46, 2012.

SUTTLE, C. A. Marine viruses — major players in the global ecosystem. Nature Reviews Microbiology, v. 5, n. 10, p. 801–812, 2007.

SUTTLE, C. A. Viruses in the sea. Nature, v. 437, n. 7057, p. 356–361, 15 set. 2005.

TAVARES, T. M., CARDOSO, D. D. P. & DE BRITO, W. M. E. D. Vírus Entéricos Veiculados por Água: Aspectos Microbiológicos e de Controle de Qualidade da Água. *Revista de Patologia Tropical*, 34: 85-104, 2005.

WEINBAUER, M. G. Ecology of prokaryotic viruses. *FEMS Microbiol*, 28: 127-181, 2004.

WEINBAUER, M. G. & RASSOULZADEGAN, F. Are viruses driving microbial diversification and diversity? *Environmental Microbiology*, 6:1-11, 2004.

WILHELM, S. W.; SUTTLE, C. A. Viruses and Nutrient Cycles in the Sea. *BioScience*, v. 49, n. 10, p. 781, 1999.

WILKINSON, L. History of Virology. In: JOHN WILEY & SONS, LTD (Ed.). . *Encyclopedia of Life Sciences*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2001.

WOMMACK K. E. & COLWELL R. R. Virioplankton: Viruses in aquatic environments. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 64:69–114, 2000.

YOOSUF, N. et al. Related Giant Viruses in Distant Locations and Different Habitats: Acanthamoeba polyphaga moulouvirus Represents a Third Lineage of the Mimiviridae That Is Close to the Megavirus Lineage. Genome Biology and Evolution, v. 4, n. 12, p. 1324–1330,. 2012.

ZOBELL, C. E. Marine Microbiology, Chronica Botanica Co., Waltham, Mass, USA, 240. 1946.

COMO O MICROBIOMA ORQUESTRA A FISIOLOGIA HUMANA?

Mirian Araujo Carlos Crapez¹

1. Laboratório de Ecologia Bacteriana
Instituto de Biologia/UFF.

1. O QUE É MICROBIOMA?

A coleção de bactérias, vírus e fungos que vivem em simbiose dentro e fora do corpo humano, é denominada microbioma. Aqui, trataremos apenas de um dos constituintes do microbioma - as bactérias, mais conhecidas como “flora normal”, quando se trata daquelas que vivem em nosso sistema gastrointestinal e nos causam benefícios.

A bactéria, que em grego significa bastão, foi descoberta em 1673, pelo primeiro microbiologista holandês Antonie van Leeuwenhoek, a partir de um microscópio simples criado por ele mesmo. Porém, somente em 1828, o termo *Bacterium* foi introduzido pelo micropiologista Christian Gottfried Ehrenberg, para descrever o gênero de bactéria que se parecia com um bastão.

As bactérias vivem na Terra há 3,8 bilhões de anos sendo, possivelmente, os seres vivos mais antigos e um dos mais bem-sucedidos do planeta. Elas são microscópicas e unicelulares, com quatro formas básicas: *cocos*, *bacilos*, *espirilo* e *vibriões*²⁴.

²⁴ *Cocos* - Bactérias esféricas; podem viver isoladas ou podem agrupar-se. *Bacilo*: Bactérias que apresentam a forma de bastonete. *Espirilo*: Bactérias que têm a forma helicoidal ou ondulada. *Vibrião*: Bactérias que têm a forma de vírgula.

Geralmente medem entre 0,2 e 2 μm de diâmetro e 2 e 8 μm de comprimento (μm = milésima parte do milímetro). A mobilidade é feita através de *flagelos ou cílios*²⁵, externos à parede celular.

A reprodução é assexuada, por *cissiparidade* ou *fissão*²⁶ binária, que é o mecanismo mais comum.

A reprodução sexuada acontece quando ocorre a transferência de fragmentos de DNA de uma célula para outra. Depois de transferido, o DNA da bactéria doadora se recombina com o da receptora, produzindo cromossomos com novas sequências de genes. Esses cromossomos recombinados serão transmitidos às células-filhas quando a bactéria se dividir.

27. As estruturas responsáveis pela motilidade celular são constituídas por pequenos apêndices, especialmente diferenciados, que variam em número e tamanho. Se são escassos e longos recebem o nome de **flagelos**, ao passo que se são numerosos e curtos são denominados **cílios**.

²⁶ . Processo de reprodução assexuada dos organismos unicelulares que consiste na divisão de uma célula em duas por mitose, cada uma com o mesmo genoma da "célula-mãe" (com o mesmo DNA ou material genético da "célula-mãe")

A vida das bactérias é pautada por dois padrões: vivem agrupadas e sempre buscam uma superfície para aderência. A produção de um muco, que é secretado para fora da célula, forma uma camada de exopolissacarídeos, que é vital para a vida bacteriana.

O agrupamento celular envolvido pela camada de *exopolissacarídeos*²⁷ forma o biofilme bacteriano. Na estrutura do biofilme as bactérias estão protegidas da predação, desidratação, da radiação ultravioleta, ao mesmo tempo em que é um facilitador para aquisição de alimento.

As bactérias são encontradas no ar, solo, água doce e salgada, fundo dos oceanos, desertos, vulcões e gelo, na superfície e dentro de organismos vivos e de rochas, bem como em qualquer outro lugar que favoreça a dispersão e o seu estabelecimento. Além de serem ubíquas (onipresentes), também crescem em todas as amplitudes de pH, temperatura, oxigênio, pressão osmótica e atmosférica.

27 . São estruturas de elevada massa molecular compostas de carboidratos. A produção bacteriana dessas estruturas é um mecanismo de defesa frente às adversidades do meio.

Elas encontram seus alimentos em praticamente qualquer molécula orgânica e quando são abundantes, se dividem muito rapidamente (a cada 20 minutos). Uma única bactéria pode gerar cinco milhões de outras num período de apenas 11 horas. Podem viver na presença ou ausência de oxigênio (chamadas, respectivamente, aeróbias e anaeróbias) ou, ainda, serem anaeróbias facultativas. As aeróbias normalmente vivem na superfície de solos, colunas de água e na pele de animais.

2. POR QUE ESTUDAR AS BACTÉRIAS QUE COLONIZAM O SER HUMANO?

A afirmativa de que “existem mais bactérias do que células humanas em nosso corpo”, assusta qualquer um. É igualmente espantoso saber que dois quilos do nosso corpo se devem à presença das bactérias.

Ao sermos concebidos, recebemos de nossos pais entre 20 e 25 mil genes. Número insignificante se comparado aos 3,3 milhões de genes pertencentes às bactérias que se alojam em nosso corpo. Durante a gravidez,

o feto é mantido em ambiente estéril propiciado pela placenta. No caso de parto normal, o bebê beneficemente se infecta com as bactérias que colonizam a vagina e a saída do canal da uretra maternas.

Nos partos cesarianos, o microbioma é adquirido principalmente pelo contato com as bactérias da pele materna e das pessoas que convivem com o recém-nascido. A diferença na composição dos microorganismos entre os nascidos por via vaginal ou através da cesariana, pode persistir por meses e, provavelmente, terá sérias implicações na saúde dos bebês.

Portanto, os organismos multicelulares como o homem, são metaorganismos formados por um hospedeiro macroscópico e um microbioma simbiótico e comensal. O microbioma humano é formado por uma mistura complexa e dinâmica de microorganismos. O corpo humano adulto e saudável abriga dez vezes mais micróbios que células humanas, que estão na ordem de trilhões de células habitantes das mais variadas porções do nosso corpo.

Todo esse batalhão inclui arqueobactérias, vírus, bactérias e *micróbios eucarióticos*²⁸, cujo genoma combinado é muito maior que o genoma humano.

As bactérias, em especial, estão distribuídas por todo o corpo humano: cavidade oro-naso-faringe, pele, vagina e trato gastrointestinal e interagem simbioticamente com o hospedeiro. Assim, nosso corpo funciona interconectado com uma multitude de bactérias, distribuídas e agindo em todos os nossos sistemas com grande impacto na saúde e doença do homem.

Até pouco tempo atrás, o conhecimento das bactérias se fazia através de meios de cultura convencionais. As bactérias que conseguiam crescer nesses meios e em condições laboratoriais tinham seus números superestimados. Entretanto, a maioria das bactérias não crescem em meios de culturas convencionais e, portanto, a nossa “flora normal” sempre foi subestimada.

²⁸ São os fungos, as algas e os protozoários

Sabe-se que a colonização dos microorganismos é iniciada no nascimento e será modificada em função da idade, entre outros fatores. Durante a fase inicial da vida, o microbioma adquire diversidade e complexidade, acompanhando o desenvolvimento metabólico, imunológico, cognitivo e contribuindo para uma fisiologia normal.

A maturação ocorre na idade adulta, onde o microbioma se torna mais estável e resiliente às modificações induzidas pelo ambiente. A colonização imicrobiana resulta em proteção fisiológica e anatômica, como a promoção de motilidade gástrica normal e proteção de mucosas. Além disso, previne a colonização de bactérias patógenas, que induzem o aparecimento de doenças.

Atualmente, a ciência médica está indo na direção do aprofundamento de estudos do microbioma, pois, é sabido que a composição e as atividades dos microorganismos estão envolvidas nos processos biológicos que constituem a saúde e a doença, ao longo da vida do ser humano. Cientistas estão se debruçando sobre a variação, estabilidade, desenvolvimento e efeitos na mudança dessas características bem como na interação com a fisiologia e a fisiopatologia do ser humano. Escolhi apresentar os microbiomas humanos cutâneos e os do trato gastrointestinal.

pERDA3. O PROJETO MICROBIOMA HUMANO

O Projeto Microbioma Humano estudou os genes bacterianos através da *metagenômica*²⁹ e da *bioinformática*³⁰. O objetivo foi gerar a cartografia genética de nosso microbioma e estabelecer a sua relação com a saúde.

O projeto foi iniciado em 2008 e finalizado em 2013, envolvendo quase 80 instituições de pesquisa multidisciplinares, localizadas na União Européia, Estados Unidos, Canadá, China, Austrália, Japão, Coréia do Sul e Rússia trabalharam com um orçamento de US\$ 153 milhões do Fundo Comum do Institutos Nacionais de Saúde dos Estados Unidos - NIH.

O projeto foi desenvolvido com 300 indivíduos (homens e mulheres), clinicamente declarados saudáveis, de duas regiões distintas dos Estados

²⁹ É o estudo do material genético de microrganismos coletado diretamente de amostras ambientais. Devido ao vasto domínio do campo, esta área de estudo também pode ser referenciada como genômica ambiental, ecogenômica ou genômica de comunidade.

³⁰ É um campo interdisciplinar que corresponde a aplicação das técnicas da informática, no sentido de análise da informação na área de estudo da biologia.

Unidos. Foram retiradas amostras da cavidade oral e orofaringe (saliva, mucosa bucal, gengiva, palato, amígdalas, garganta, tecidos moles da língua e placa dentária supra e subgengival).

Amostras de pele foram recolhidas atrás de cada orelha, nos dois cotovelos interiores e nas narinas. Uma amostra de fezes representou o microbioma do trato digestivo inferior e três outras amostras foram coletadas no início do tubo digestivo, bem como do ponto médio e posterior vaginais.

Eis alguns resultados que permitiram compreender melhor o microbioma humano:

- a) a diversidade do microbioma, isto é, o número de espécies diferentes que colonizam o ser humano, depende de idade, sexo, regiões anatômicas do corpo e também é influenciado pela localização geográfica, profissão, alimentação e uso de antissépticos e antibióticos;
- b) as comunidades bacterianas da cavidade oral, trato gastrointestinal, pele e trato urogenital são diferentes, com nichos especializados intra- e interindivíduos;
- c) a composição do microbioma está relacionada com saúde, ausência de processos inflamatórios e fatores físico-químicos (pH, oxigênio, fatores

- imunológicos do hospedeiro, relações de mutualismo/competição no microbioma);
- d) 81-99% dos gêneros bacterianos e de famílias de enzimas ocorrem no microbioma saudável da população ocidental;
 - e) os metadados clínicos indicaram que a variação na estrutura da comunidade e origem étnica/racial, são as associações mais fortes com o microbioma, assegurando o transporte metagenômico estável de vias metabólicas entre indivíduos;
 - f) os resultados sugerem uma faixa de configurações estruturais e funcionais normais nas comunidades microbianas de uma população saudável, permitindo, no futuro, caracterização de aplicações epidemiológicas, ecologia e tradução do microbioma humano.

3.1. O MICROBIOMA CUTÂNEO

A pele humana é o maior órgão de nosso corpo, exercendo as funções de barreira física à entrada de patógenos e ambiente onde vivem milhares de comensais simbióticos. Ela possui cerca de 1 milhão de bactérias/cm², localizadas desde a superfície até as camadas profundas da epiderme.

Esse órgão abriga um ecossistema microbiano abundante com trocas metabólicas bidirecionais de apoio a processos simbióticos e comensais. A superfície da pele possui microambientes distintos para pH, temperatura, umidade, conteúdo de sebo e topografia. Estas diferenças fisiológicas caracterizam os diferentes nichos e influenciam a comunidade microbioma residente. Além disso, os mecanismos de detecção e sinalização do microbioma são específicos para cada nicho e sustentam as interações com o hospedeiro.

O microbioma da pele contém 2.342 genomas de bactérias, 389 de fungos, 1.375 de vírus e 67 de arqueas. As bactérias estáveis ou residentes estão assim distribuídas: Actinobacteria (51,8%), Firmicutes (24,4%), Proteobacteria (16,5%) e Bacteroidetes (6,3%). Essas bactérias estão presentes nos *folículos pilosos*³¹ e nas *glândulas sudoríparas*³² e estão estreitamente associadas com as características individuais. A composição

³¹ É uma estrutura complexa composta por um fio de pêlo ou cabelo, com seu respectivo bulbo, glândula sebácea e sudorípara, músculo piro-erector entre outros órgãos.

³² São glândulas presentes nos mamíferos que produzem o suor, uma importante função para regular a temperatura do corpo e eliminar substâncias tóxicas.

bacteriana varia em função das zonas secas, úmidas ou sebáceas da pele. As zonas secas possuem a maior diversidade bacteriana, com predominância dos gêneros *Proteobacteria* (41%) e *Corynebacterium* spp. (15%).

Nas zonas úmidas prevalecem as bactérias do gênero *Corynebacterium* spp. (28%), *Staphylococcus* spp. (21%) e o grupo Proteobactéria (26%). Nas zonas sebáceas são encontradas *Propionibacterium* spp. (41%) e *Corynebacterium* spp. (15%). Fungos do gênero *Malassezia* dominam o corpo e os braços, enquanto que a pele dos pés possui a diversa combinação de *Malassezia* spp, *Aspergillus* spp, *Cryptococcus* spp, *Rhodotorula* spp, *Epicoccum* spp entre outros.

A pele saudável é equipada por dois sofisticados sistemas de vigilância: o imune e o associado às células queratinizadas da epiderme. Estas últimas produzem peptídeos antimicrobianos que contribuem para a imunidade inata, regulados pela presença de *Propionibacterium* spp. e de outras bactérias Gram positivas.

As características individuais do microbioma estão relacionadas à susceptibilidade a doenças, resposta a antibióticos, metabolismo de drogas e ganho de peso. Estudos comparativos da pele do trato gastrointestinal,

mucosa oral, cabelo, cabeça e pele de voluntários de ambos os sexos, apontaram que o primeiro agrupamento de bactérias se dá de acordo com os *habitats*. Comparando os *habitats*, a variação não foi significativa no mesmo indivíduo ao longo do estudo, mas entre os diversos voluntários ao longo de um dia. Finalmente, a variação entre *habitats* foi significativamente menor entre os voluntários durante 24 horas do que ao longo de três meses. A microbiota da cavidade oral foi a que apresentou maior estabilidade. A microbiota da pele exibiu um padrão biogeográfico, que poderá estar ligado ao local de moradia, nutrição bem como à exposição a microorganismos. Estes resultados indicam uma estreita relação entre a fisiologia e o microbioma individual.

4. O MICROBIOMA DO TRATO DIGESTIVO HUMANO

A interação, denominada mutualismo, entre o homem e os microorganismos estimula a colonização do trato digestivo por *bactérias comensais*³³, opondo-se às *bactérias patógenas*³⁴. Ela é observada no trato

³³ São aquelas que obtêm o seu alimento sem causar prejuízo ao hospedeiro.

digestivo dos mamíferos, incluindo ratos e humanos, trato dominado por bactérias dos grupos Bacteroidetes e Firmicutes e, em menor número, Proteobacteria, Actinobacteria, Fusobacteria e Verrucomicrobia.

O trato digestivo humano é o local com maior diversidade bacteriana e o colon distal humano abriga 10^{11} a 10^{12} células/g. Entretanto, o microbioma do trato digestivo apresenta diversidade genética e metabólica nas diferentes populações humanas.

Foram comparadas amostras fecais de 531 indivíduos gêmeos mono e dizigóticos, abrangendo crianças e adultos saudáveis da Venezuela amazônica, área rural de Malawi (sudeste da África) e áreas metropolitanas dos EUA. Foram identificadas características de maturação funcional do microbioma intestinal durante os três primeiros anos de vida em todas as três populações, sendo que as variações são bem maiores nas crianças de que nos adultos. Foram observadas, diferenças nos agrupamentos bacterianos e genes funcionais no início da infância e na idade adulta - muito mais entre os residentes dos EUA que nos de outros dois países. Os resultados sugerem a necessidade de de avaliações constantes do desenvolvimento humano,

³⁴ São aquelas que causam infecções .

necessidades nutricionais, variações fisiológicas e do impacto da ocidentalização quando for estudado o microbioma do trato digestivo.

As diferenças de estruturas sociais, cultura e tradições podem influenciar a transmissão vertical da microbiota e o fluxo de micróbios e de genes entre os familiares. Adultos *gêmeos monozióticos*³⁵ não são mais semelhantes entre si que os *adultos dizigóticos*³⁶, sugerindo a baixa hereditariedade do microbioma intestinal.

Quanto ao uso de antibióticos, inicialmente há perda da diversidade bacteriana e apenas o uso continuado assegurou o ataque às bactérias-alvo. Entretanto, foi observado que o alvo do antibiótico chamado vancomicina são as bactérias Gram-positivas, mas também há diminuição nas Gram-negativas. Este efeito pode ser explicado através das relações indiretas e

37. Irmãos que são gerados a partir de um só óvulo que é fecundado por um só espermatozóide e se divide em duas culturas de células completas, origina os gêmeos **monozióticos** ou idênticos.

³⁶ Os gêmeos fraternos ou não idênticos são *dizigóticos* ou multivitelinos, ou seja, são formados a partir de dois óvulos que formam fecundados no mesmo ciclo reprodutivo ou em ciclos sequenciais. Isto é, uma mulher grávida pode ovular novamente gerando um segundo feto que poderá se desenvolver em paralelo ao primeiro.

interdependentes que ocorrem entre as populações de bactérias, como uso e troca de produtos do metabolismo ou remoção de excretas.

Estudos também foram realizados para investigar os efeitos da dieta no microbioma do trato digestivo. Foram preparados dois tipos de dieta, consumidas por cinco dias consecutivos por homens e mulheres entre 21 e 33 anos: uma dieta rica em grãos, legumes e frutas; outra rica em carnes, ovos e queijos. A análise estatística identificou a alteração de 22 grupos de bactérias na dieta de origem animal e apenas três grupos na dieta de origem vegetal. As bactérias *Bilophila wadsworthia*, *Alistipes putredinis* e *Bacteroides* spp. aumentaram muito a biomassa na dieta de origem animal, visto serem resistentes aos ácidos biliares. A dieta de origem animal também favoreceu o aumento da degradação de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, que são compostos cancerígenos produzidos durante a digestão da carne.

As diferenças a nível metabólico entre as duas dietas também foram confirmadas, estudando a resposta transcricional de genes previamente conhecidos do trato digestivo de herbívoros e carnívoros. Exemplificando: foram citadas as vias de biossíntese e degradação de aminoácidos e a interconversão de fosfoenolpiruvato e oxaloacetato.

O consumo de queijos curados e embutidos de carne aumentou significativamente a qualidade das bactérias *Lactobacillus lactis*, *Pediococcus acidilactici* e *Streptococcus thermophilus* em amostras de fezes. Em contrapartida, a colonização do trato digestivo pelos gêneros *Candida* spp., *Debaryomyces* spp., *Penicillium* spp. e *Scopulariopsis* spp. ocorreu nas duas dietas.

Herbívoros possuem microbiota mais diversificada do que os carnívoros, indicando que a degradação de polissacarídeos³⁷ é mais complexa, refletida também no tempo de trânsito intestinal e no aumento das bactérias do gênero *Prevotella*. O sequenciamento metagenômico da microbiota intestinal revelou que herbívoros possuem mais genes para a assimilação de nitrogênio em comparação com genes para proteínas dos carnívoros. Este dado reflete o menor conteúdo em aminoácidos da dieta herbívora.

Estudos preliminares mostraram que a relação aumentada de bactérias dos grupos Firmicutes/Bacteroidetes era comum no trato digestivo de obesos, bem como as bactérias patogênicas *Clostridium botulinum*, *Listeria*

³⁷ São carboidratos compostos por grande quantidade de moléculas de monossacarídeos (açúcares simples).

monocytogenes e produtoras de ácido butírico *Eubacterium rectale* e *Faecalibacterium prausnitzii*, que são benéficas para o homem. Alterações no microbioma do trato digestivo também estão ligadas ao diabetes tipo 1 e 2.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os organismos multicelulares existem como metaorganismos compostos do hospedeiro macroscópico e de uma microbiota comensal simbiótica. Hospedeiro e microbioma estabelecem interações multidirecionais e interdependentes, a fim de manter a homeostase e a saúde do indivíduo.

O desenvolvimento do sistema imune adaptativo tem coincidido com a aquisição e manutenção de microbioma complexo, sugerindo que a microbiota regula múltiplos aspectos do sistema imune. Fatores extrínsecos como dieta, podem causar alterações no microbioma, com consequência no sistema imune, contribuindo para o aumento de desordens inflamatórias como dermatites, síndrome do intestino irritável, entre outras, doenças autoimunes, obesidade e diabetes.

Essas descobertas conduzem às pesquisas multidisciplinares, de modo que as doenças sejam investigadas abrangendo fatores do hospedeiro, imunidade e a comunidade microbiana. A plasticidade das comunidades bacterianas pode ser um grande complicador nesses estudos, mas é também um desafio na busca e na implementação de terapias. Tratar o microbioma como a soma de nossos recursos, essenciais para nos manter saudáveis, induz modificações, a longo prazo, no tratamento de doenças, bem como na busca de fármacos pré- e probióticos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLASER, M. J. The microbiome revolution. The J. Clinical Investigation, vol. 124, 4162-4165, 2015.

CHEN, Y. E. ET AL The skin microbiome: Current perspectives and future challenges. J. Am. Acad. Dermatol, vol. 69, 143-155, 2013.

DAVID L. A. ET AL Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome, Nature, vol. 505, 559-576, 2014.

HUMAN MICROBIOME PROJECT. National Institute of Health, USA.
<http://hmpdacc.org/> Acessado em 09 de setembro de 2015.

KONG, H. H. ET AL Skin microbiome: looking back to move forward. *J Invest Dermatol*, vol. 132, 933-939, 2012.

SANFORD, J. A. ET AL Functions of the skin microbiota in health and disease. *Seminars in Immunology*, vol. 25, 370–377, 2013.

SCHOMMER, N. N. ET AL Structure and function of the human skin microbiome. *Trends in Microbiology*, vol. 21, 660-668, 2013.

OH, L. ET AL Biogeography and individuality shape function in the human skin metagenome. *Nature*, vol 514, 59-78, 2014.

PEPER, J. W. ET AL The emerging medical ecology of the human gut microbiome. *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 27, 381-384, 2012.

YATSUNENKO, T. ET AL Human gut microbiome viewed across age and geography, *Nature*, vol. 486, 222-228, 2012.

POLIKETAS EM AMBIENTES POUCO USUIAS

Cinthya Simone Gomes Santos¹

1- Laboratório de Sistemática e Ecologia de Poliquetas
Instituto de Biologia/UFF

1. O QUE SÃO POLIKETAS?

Antes de falar sobre os poliquetas encontrados em ambientes extremos, faremos uma breve caracterização morfológica, fisiológica e ecológica destes animais.

Os anelídeos, ou animais que possuem anéis (=segmentos), compreendem três tipos principais de invertebrados: os mais conhecidos são os oligoquetas (as minhocas da terra,) seguidos pelos hirudíneos - as

sanguessugas - e os menos conhecidos que são os poliquetas - minhocas do mar. Estudos recentes indicam que outros grupos de invertebrados marinhos também deveriam ser considerados como parte do grupo dos poliquetas.

Os poliquetas incluem muitas espécies descritas, estima-se até 12 mil, e podem ser encontrados em grandes densidades, principalmente no ambiente marinho. No entanto, de modo geral, permanecem desconhecidos.

A seguir, faz-se uma descrição simplificada e generalizada dos poliquetas, iniciando pelo nome que designa o grupo: *Polychaeta*, em grego, faz referência a presença de muitas cerdas (*poly*= várias; *chaeta*= cerda), que são as projeções quitinosas que partem de cada lado dos segmentos ou anéis que formam o corpo dos poliquetas.

Essas estruturas auxiliam os poliquetas durante o deslocamento, agindo como alavancas, ou podem ser usadas para proteção do corpo ou ainda para ajuda-los a se manter firmes dentro de tubos.

Os poliquetas, assim como os demais anelídeos, possuem uma cabeça, que pode ter estruturas sensoriais utilizadas para mapear o ambiente e obter

alimento, tais como palpos, antenas e tentáculos; podem possuir manchas ocelares ou olhos capazes de captar a intensidade e a direção de luz.

A região anterior dos poliquetas pode se apresentar como uma estrutura que lembra um espanador e que chamamos de penacho branquial. Ele é usado tanto na respiração quanto para filtrar o alimento presente na água. Ainda na região anterior, em posição ventral, temos a abertura da boca, que pode apresentar papilas ou dentes, esses, quando presentes, apresentam variação em tamanho, forma e distribuição.

Lembrando que o corpo é formado por anéis e desses anéis partem lateralmente projeções que chamamos de parapódios, que significa “pés paralelos”, que apresentam graus variados de desenvolvimento, e deles partem as cerdas.

Em termos reprodutivos, normalmente apresentam sexos separados, mas em geral não é possível distingui-los a não ser no período reprodutivo.

Algumas espécies podem apresentar um fenômeno muito interessante denominado epitoquia, no qual os indivíduos maduros ou prontos para liberar seus gametas sofrem modificações na forma do corpo e abandonam o hábito

bentônico (quando vivem associados a algum substrato) tornando-se temporariamente pelágicos, capazes de nadar na coluna d'água.

Em algumas espécies que apresentam epitoquia, ocorre também semelparidade, isto é, quando os organismos após liberarem os gametas morrem, possuem apenas um episódio reprodutivo durante o ciclo de vida. Há ainda espécies cujos machos são muito pequenos, considerados machos anões e dependem inteiramente das fêmeas.

Poliquetas possuem como principal pigmento respiratório a hemoglobina, mas algumas espécies possuem hemocianina (proteína contendo cobre, transportada em solução que apresenta cor azul quando oxigenada), hemeritrina (proteína contendo ferro, transportada em células que apresenta cor rosa-violeta quando oxigenada) e cloroclorina (que dá uma coloração verde ao sangue quando diluído). A respiração se dá através da epiderme e pode ser potencializada pela presença de brânquias ou expansões do corpo que aumentam a área de trocas gasosas.

Os poliquetas podem ser microscópicos, com poucos milímetros, e viver entre os grãos de areia, como os chamados poliquetas intersticiais, ou ter até 7 metros, embora a maioria tenha em torno de 6-10 cm, quando adultos.

A maior parte das espécies tem vida livre, mas existem algumas poucas que podem parasitar outros organismos e alguma vivem em simbiose.

Alguns poliquetas, em especial alguns gêneros, da família *Spionidae*, escavam conchas de moluscos, sendo tratados como parasitoides. Embora sejam encontrados preferencialmente nas conchas, e não no corpo dos moluscos, podem trazer enormes prejuízos a atividade de cultivo, uma vez que a infestação das conchas diminui o valor comercial dos moluscos.

Os poliquetas podem constituir até 70% da fauna encontrada nos sedimentos marinhos. Por isso, têm um papel importante no estabelecimento e manutenção das comunidades bênticas no ambiente marinho. Assim como as minhocas da terra, apresentam um papel importante no ciclo de nutrientes nos fundos marinhos.

Ao se alimentarem ingerindo sedimento, os chamados depositívoros, retiram dos grãos de areia a camada de matéria orgânica que os envolve e ao expelir esses grãos, que não podem ser digeridos, permitem que os mesmos sejam novamente colonizados por microorganismos, promovendo uma ciclagem da matéria orgânica nos fundos marinhos. Além de remobilizar o

sedimento, a construção de tubos e galerias permite maior aporte de oxigênio em ambientes anóxicos ou hipóxicos, ou seja, com baixo teor de oxigênio.

Há também espécies consideradas carnívoras, que se alimentam de outros invertebrados, algumas herbívoras e até alguns que filtram pequenas partículas orgânicas presentes na água. Há também aqueles que podem variar o modo de se alimentar e ou ainda possuírem uma alimentação variada, os chamados onívoros. Ainda há aqueles que não possuem trato digestivo e se alimentam com o auxílio de bactérias simbiotes.

Algumas espécies de poliquetas podem ser utilizadas para indicar o estado de “saúde” do ambiente e por isso algumas são consideradas bioindicadoras. As espécies podem, por exemplo, ser indicadoras negativas - suportam condições adversas e podem atingir altas densidades em situações de estresse ambiental. Outras podem ser indicadoras positivas, ou seja, espécies sensíveis às alterações ambientais e sua presença indica que o ambiente não sofreu modificações.

Poliquetas são principalmente marinhos e podem ser encontrados nos mais variados tipos de fundos, desde praias arenosas, lamosas, costões rochosos até altas profundidades. Vivem principalmente nos fundos marinhos enterrados ou se movendo sobre ele. Por isso são considerados animais

bentônicos, termo usado para descrever todos os organismos que vivem em fundos marinhos, consolidados ou moles. No entanto, há cerca de seis famílias cujos poliquetas são pelágicos, ou seja, vivem na coluna d'água, cerca de seis famílias.

Fora do ambiente marinho podem ser encontrados em ambientes terrestres úmidos e cerca de 197 espécies foram registradas em água doce. Podem ainda ser encontrados em águas salobras ou com baixa salinidade.

Alguns produzem tubos, calcários ou formados por grãos de areia, como espécies de *Serpulidae* e *Sabelariidae*, que formam grandes colônias e recifes massivos encontrados nas regiões entremâres e regiões rochosas rasas. Há registros de recifes construídos por serpulídeos que atingem 1 quilômetro por 1-2 metros de espessura.

De um modo geral, possuem uma ampla distribuição, ocorrem tanto em regiões tropicais quanto em regiões temperadas e encontramos poliquetas também em águas polares. No entanto, há espécies que são restritas a determinados tipos de ambientes. São também encontrados em ambientes marinhos considerados naturalmente estressantes ou extremos, como as regiões entremarés, os estuários e os chamados ambientes redutores. Os

poliquetas são capazes de enfrentar variações significativas nas características abióticas como a temperatura, a salinidade e o oxigênio.

2- POLIQUETAS EM AMBIENTES POUCO USUAIS

Ambientes pouco usuais ou extremos seriam o interior de ossos de mamíferos marinhos, as fendas hidrotermais (*hot vents*), as exsudações frias (*cold seeps*), e lagos de dióxido de carbono (*carbono dioxide vent system*).

2.1 COLONIZADORES DE OSSOS

Em 2002, durante uma busca por moluscos de profundidade, alguns pesquisadores encontraram uma carcaça de baleia de cerca de 30 pés, formada principalmente por ossos e um pouco de músculos. Ao examina-la detalhadamente perceberam vários organismos ao redor e na própria carcaça. Uma fauna considerada diversificada e muito particular. Entre esses organismos havia uma espécie de poliqueta aos milhares.

Em estudos posteriores, foram descritos como *Osedax*, que significa “comedor de ossos”. Os estudos revelaram que esses poliquetas não possuem trato digestivo, mas apresentam uma espécie de sistema de raízes, ou tubos, que se ligam diretamente aos ossos da carcaça e que permitem ao animal utilizar os lipídios e proteínas existentes ali. A quebra desses lipídios é feita por bactérias simbiontes que auxiliam na digestão e fazem a transferência dos nutrientes para os poliquetas. São poliquetas pequenos, com cerca de cinco centímetros de comprimento. Uma curiosidade é que em praticamente todas as espécies conhecidas, os machos são anões e podem viver dentro das fêmeas. Algumas fêmeas podem abrigar centenas de machos, como verdadeiros haréns.

Embora o hábito de escavar em substrato duro, em especial substrato calcário, seja relativamente comum entre os poliquetas *Osedax* é o único gênero cujas espécies ocorrem unicamente em ossos e que utilizam seus componentes internos como alimento.

Estudos recentes de fósseis indicam que carcaças de répteis marinhos, antes das baleias, tiveram papel importante na evolução e dispersão de *Osedax*, e confirmam a habilidade desses poliquetas de colonizarem ossos de diferentes vertebrados, como peixes e aves marinhas, além dos ossos de

baleia. Atualmente há 10 espécies descritas, todas encontradas em ossos, mas não exclusivamente em ossos de baleia. Uma espécie colonizou e cresceu em ossos de bovinos afundados entre 385 e 2.893 metros na Baía de Monterey, na Califórnia. O processo se deu de forma rápida, apenas dois meses após serem dispostos no ambiente os ossos se encontravam colonizados pelos poliquetas, incluindo fêmeas maduras.

2.2 COLONIZADORES DE FENDAS HIDROTERMAIS

As fendas hidrotermais ou fumarolas são ambientes redutores, descobertos em 1977, em Galápagos. Hoje sabe-se que esses ambientes ocorrem em vários locais ao redor do globo, sempre em altas profundidades, nas zonas de subdução (regiões onde as placas tectônicas se encontram) e em alta atividade vulcânica.

Esses ambientes são o resultado da circulação da água do mar pelas fendas e fissuras existentes na nova crosta terrestre, à medida que esta se forma nas zonas de *subdução*. Ao circular através das fendas, a água do mar aquece a cerca de 350°C e é expelida nas chamadas chaminés ou fumarolas. Os organismos se distribuem ao redor dessas fumarolas ou chaminés. Esses

ambientes caracterizam-se pelas altas temperaturas, alta pressão, baixa concentração de oxigênio, alta concentração de metais e pela presença de sulfetos de hidrogênio.

A produção primária nesses ambientes é assegurada por bactérias quimioossintéticas, que obtêm a energia necessária para a fixação do CO₂ a partir da oxidação dos sulfetos (em particular do H₂S) presentes nas fumarolas.

As bactérias desempenham, neste ecossistema, um papel primordial. Alguns invertebrados - mexilhões e outros bivalves - as utilizam como fonte alimentar, enquanto outras espécies estabelecem com estas bactérias relações de simbiose, como as observadas nos poliquetas.

Os poliquetas são componentes importantes da fauna das fendas hidrotermais. Uma das espécies considerada mais termotolerante é o chamado verme de Pompeia, *Alvinella pompejana*, que vive em tubos, ocorrendo em agregados de altas densidades. Esses são cobertos por bactérias quimioossintéticas, que se alimentam do muco produzido por esses poliquetas.

A tolerância à variação de temperatura é acentuada e foi observado que os indivíduos podem manter a região posterior do corpo, ou pigídio, em temperaturas de até 80°C e a cabeça em águas mais frias (22°C).

Além das altas temperaturas, essas poliquetas suportam alta pressão devido à profundidade em que vivem e que somente organismos altamente especializados podem suportar.

Para sobreviver em locais onde a água está em altas temperaturas os poliquetas desenvolveram algumas estratégias. A construção de um tubo orgânico, flexível, duradouro, resistente ao calor, utilizado como abrigo. Nesse tubo desenvolve-se uma espécie de manta térmica com uma bactéria filamentosa. Essa manta também serve para purificar fluidos que penetram no tubo.

Outra curiosidade sobre os poliquetas que vivem nesses ambientes é que os seus intestinos se estende para alcançar as bactérias que crescem na superfície de seus tubos.

Além do Verme de Pompeia, uma espécie comum nesses ambientes, foi descoberta muito antes do próprio ambiente, em 1900: *Riftia pachyptila*,

uma espécie tubícola que forma densos agregados. Indivíduos dessa espécie foram encontrados entre materiais dragados de grandes profundidades na costa da Indonésia, pelo navio holandês chamado Siboga, em 1900.

Essa espécie apresenta na região anterior uma estrutura formada por finas lamelas que possuem coloração vermelha intensa. Não possuem boca ou tubo digestivo. São as bactérias simbiontes quimiossintetizantes as responsáveis pela sua nutrição, oxidando o sulfeto de hidrogênio presente no ambiente, e proporcionando a energia para o poliqueta. As bactérias estão presentes no trofossoma, que nada mais é que um órgão derivado do tubo digestivo que estava presente nas larvas e se torna atrofiado durante o desenvolvimento do animal.

Essas são as espécies de poliquetas mais conhecidas e representativas nesses ambientes, mas há outras que vêm sendo registradas.

2.3 COLONIZADORES DE EXSUDAÇÕES FRIAS

As chamadas exsudações frias (*Cold Seeps*), encontradas pela primeira vez a cerca de 20 anos na Flórida, também são ambientes redutores.

No entanto, diferentemente das fendas hidrotermais ocorrem também em áreas rasas, geologicamente ativas ou passivas, e não estão sujeitas a altas temperaturas.

Nesses ambientes o metano e o sulfetos percolam e emergem dos fundos marinhos. A oxidação anaeróbica do metano associada à redução dos sulfatos facilita a formação de carbonatos e em muitos lugares geram altas concentrações de sulfeto de hidrogênio

Entre os invertebrados encontrados nesses ambientes, dominam os moluscos, mas várias famílias de poliquetas foram registradas, com algumas espécies filogeneticamente próximas às encontradas nas fendas hidrotermais. Os organismos encontrados nas exsudações frias podem ser tiotróficos ou metanotróficos, e também heterotróficos. A espécie *Hesiocaeca methanicola*, por exemplo, ocorre em densidades de até 3000ind./m². Acredita-se que essa espécie se alimenta das bactérias e hidratos presentes no ambiente.

Os poliquetas tubícolas atuam como importantes construtores e aumentam a complexidade local à medida que o aglomerado de tubos permite o surgimento de mais nichos e pode sustentar uma rica comunidade de outros invertebrados associados. No Golfo do México, as espécies *Lamellibranchia*

cf. *Iuymesi* e *Seephiophila jonesi* formam aglomerados semiesféricos de vários metros de largura. Após análise em sete desses aglomerados, foram encontradas 66 espécies associadas, sendo 18 consideradas endêmicas, ou seja exclusivas daquele local, e cinco simbiontes.

2.4 COLONIZADORES DE LAGOS DE CO₂

Acidificação dos oceanos cresce a altas taxas, diminuindo o pH das águas e tornando-as ácidas, resultando em mudanças na química dos seus carbonatos. Estudos prévios indicam mudanças nas defesas antioxidantes de algumas espécies marinhas como resposta a acidificação dos oceanos.

No entanto, há ambientes naturalmente acidificados, encontrados no Mediterrâneo e são formados a partir de uma fonte subterrânea de CO₂ e outros gases traço (não sulfúricos) - que ao serem liberados através do sedimento provocam bolhas. Algumas espécies de poliquetas mostram capacidade de adaptação a esses ambientes chamados de *Carbono dioxide vent systems*.

Em estudo recente, pesquisadores realizaram vários experimentos transplantando espécies de poliquetas consideradas tolerantes e outras sensíveis encontradas no entorno desses sistemas de CO₂. Algumas espécies, como *Platynereis dumerilii* mostraram adaptação a altos níveis de CO₂.

Populações da mesma espécie localizadas em áreas próximas, mostram-se geneticamente diferentes e com corpo menor. Enquanto outra espécie, *Amphiglena mediterranea*, mostrou marcada plasticidade fisiológica indicando que tanto adaptação quanto aclimatização são estratégias utilizadas por poliquetas para colonizar ambientes com elevados níveis de CO₂.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GLASBY, C. J., TARMO T., MUIR A.L. I.& GIL, J. Catalogue of non-marine Polychaeta (Annelida) of the World. Zootaxa 2070: 1–5,. 2009.

CALOSI P, RASTRICK S P, LOMBARDI C., DE GUZMAN H. J., DAVIDSON L., JAHNKE M., GIANGRANDE A., HARDEGE J. D., SCHULZE A., SPICER J. I. & GAMBI M. C.. Adaptation and acclimatization to ocean acidification in marine ectotherms: an *in situ* transplant experiment with polychaetes at a shallow CO₂ vent system. Philosophical Transactions of Royal Society of London and Biological Sciences 368.DOI: [x.doi.org/10.1098/rstb.2012.0444](https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0444), 2013.

DANISE, S., & HIGGS N. D. Bone-eating *Osedax* worms lived on Mesozoic marine reptile deadfalls. Biology Letters. DOI: [10.1098/rsbl.2015.0072](https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0072), 2015.

DÍAZ-CASTAÑEDA, V. & REISH, D. J. *Polychaetes in Environmental Studies*, pages 203–227, Chapter 11 In: *Annelids in Modern Biology*, ed. Daniel Shain. DOI:[10.1002/9780470455203.ch11](https://doi.org/10.1002/9780470455203.ch11). 2009

GLASBY, C. J. & TIMM, T.. Global diversity of polychaetes (Polychaeta; Annelida) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 107–115, 2008.

JONES, W. J., JOHNSON, S.B., ROUSE, G. W. & VRIJENHOEK, R. C. Marine worms (genus *Osedax*) colonize cow bones. *Proceedings of the Biological Science*. 275(1633): 387–391, 2008.

LEVIN, L A.. Ecology of cold seep sediments: Interactions of fauna with flow, chemistry, and microbes. *Oceanography and Marine Biology, an Annual Review* 43: 1-46, 2005.

ROUSE GW, GOFFREDI S.K, & VRIJENHOEK RC. *Osedax*: bone-eating marine worms with dwarf males. *Science* 305:668–671, 2004.

ROUSE, G. & PLEIJEL, F. *Polychaetes*. Oxford Press, .2001..

CANIBALISMO: PREDÇÃO AO EXTREMO

Neuza Rejane Wille Lima

1 - Laboratório de Ecologia Animal e Vegetal
Instituto de Biologia/UFF

1. O QUE É CANIBALISMO?

Tradicionalmente, o canibalismo era tratado como um comportamento excêntrico, sendo biologicamente considerado como um caso extremo de predação.

O comportamento canibal é relativamente raro na natureza, mas nem por isso deixa de ter importância ecológica e evolutiva, especialmente para alguns grupos taxonômicos. Por isso, tem sido estudado mais detalhadamente nos últimos 25 anos e abordado sob a ótica da ecologia evolutiva³⁸.

Espécies de insetos, pererecas ou de peixes que realizam cuidado da prole e podem se alimentar desta, realizando o canibalismo filial.

Fêmeas de certas espécies de aranhas ou de escorpiões podem se alimentar do sexo oposto durante os rituais de acasalamento, caracterizando o canibalismo sexual.

O canibalismo intrauterino é verificável quando o embrião mais velho se alimenta dos embriões mais novos, sendo um fenômeno bastante intrigante e observável em algumas espécies de tubarões.

³⁸ Aborda o estudo da ecologia considerando as histórias evolutivas das espécies e suas interações.

Os diferentes tipos de canibalismo representam custos para determinados indivíduos das espécies, muito embora possam trazer vantagens adaptativas para os indivíduos canibais, a saber: aumento no tempo de sobrevivência, possibilidade de se reproduzir novamente e até mesmo de nascer mais vigoroso.

O canibalismo é a prática de um indivíduo matar outro indivíduo da mesma espécie para se alimentar parcialmente ou completamente do corpo deste. O canibalismo praticado contra a própria prole é denominado filial. Quando o canibalismo é praticado durante o ritual de acasalamento ele é denominado sexual.

O canibalismo praticado entre irmãos recém-nascidos é denominado fraternal.

O canibalismo entre irmãos durante o desenvolvimento embrionário é definido como intrauterino, também conhecido como adelfofagia. Porém, quando um embrião se alimenta de ovócitos ou ovos que estão no útero, o fenômeno é denominado ovofagia.

Desse modo, o canibalismo pode ser praticado de várias maneiras bem como em diferentes grupos taxonômicos, em diferentes contextos e por vezes estar relacionado a rituais comportamentais previsíveis.

Por exemplo, o canibalismo sexual, em certos grupos da aranha do gênero *Lactrodectilus*, popularmente conhecida como viúva-negra, é bastante conhecido.

Além das aranhas, o canibalismo tem sido verificado em outros grupos de organismos como peixes, pererecas, lagartos, caracóis, caramujos, insetos, aves sob condições de superpopulação, em cativeiro, e até mesmo entre macacos e humanos.

O canibalismo entre humanos é denominado antropofagia, sendo praticado por povos de diferentes partes do mundo em busca de energia relacionada às habilidades e à força da vítima.

Muitas vezes a antropofagia está relacionada a rituais religiosos ou mágicos para prestar homenagens aos indivíduos canibalizados.

Os canibais mais famosos são os povos Astecas que habitam o México.

No Brasil, vários grupos de índios praticavam o canibalismo a exemplo dos Tupinambás.

O alemão Hans Staden foi aprisionado na Capitania de São Vicente, pelos Tupinambás, durante nove meses, no ano de 1554. Na ocasião, aproveitou a oportunidade para descrever o comportamento canibal dos Tupinambás.

Esses índios habitavam o litoral da região sudeste do Brasil e se dividiam em tribos que se distribuíam entre os litorais dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, guerreando e canibalizando os inimigos capturados.

Eles canibalizavam os seus inimigos para obter a coragem da vítima, evitando a carne de indivíduos covardes ou fracos.

No início, os índios Tupinambás tinham a intensão de canibalizar Hans Staden. Contudo, foi obrigado a ajudá-los no combate contra os índios da tribo Tupiniquins.

Esse alemão era um aventureiro mercenário que esteve no Brasil por duas vezes onde participou de combates contra navegadores franceses nas capitanias de Pernambuco e de São Vicente.

Os relatos de Hans Staden foram publicados em 1557, sob o título de *Duas viagens ao Brasil*, e se tornaram famosos na Europa por revelar em detalhes a sociedade dos índios Tupinambás.

2. POR QUE ESTUDAR O CANIBALISMO?

Vários aspectos podem ser considerados ao abordar a importância biológica do canibalismo.

Os pesquisadores apontam três justificativas para os gastos empregados no estudo do canibalismo:

- a) envolve custos e deve ter algum benefício como a necessária redução populacional;
- b) possui implicações ecológicas uma vez que afeta a dinâmica populacional das espécies. São os indivíduos mais velhos que canibalizam os mais jovens;
- c) está relacionado ao comportamento de reconhecimento entre indivíduos da mesma espécie que, por vezes, procuram escapar do indivíduo canibal através de diferentes estratégias.

Cinco parâmetros estão diretamente relacionados ao canibalismo:

- a) escassez de alimento, como por exemplo na prática da ovofagia,
- b) necessidade de redução populacional (casos do canibalismo fraternal e filial),
- c) agressividade e necessidade de recursos para produzir a prole - veja o contexto do canibalismo sexual,
- d) necessidade de aumentar a sobrevivência, como ocorre no canibalismo intrauterino,

- e) prática de rituais entre guerreiros humanos que se alimentam da carne dos inimigos para aumentar a sua própria coragem e alimentar o seu espírito guerreiro.

Os três tipos de canibalismo - filial, sexual e intrauterino - serão abordados sob os pontos de vista taxonômico, ecológico e evolutivo.

3. TIPOS DE CANIBALISMO

3.1. CANIBALISMO FILIAL

Canibalismo filial era visto como um comportamento imperfeito por certos autores. Atualmente, esse tipo de canibalismo tem sido considerado adaptativo por trazer ganho energético para aqueles que o praticam.

Vários fatores positivos estão relacionados ao comportamento de consumir a prole:

- a) aproveitamento de energia contida em ovos fungados, indivíduos raquíticos ou parcialmente predados;

- b) aquisição de energia para sobreviver e cuidar do restante da prole;
- c) oportunidade de obter energia adicional para se reproduzir novamente e cuidar da próxima prole.

A estreita relação entre o canibalismo filial e a seleção sexual tem sido descrita por vários autores. Antes de descrevermos essa relação, é necessário definir o que é seleção sexual.

Em 1858, o biólogo inglês Charles Darwin definiu a seleção sexual como a luta entre indivíduos de um determinado sexo pela posse do outro sexo para realizar o acasalamento.

No cenário da seleção sexual, os machos competem entre si e as fêmeas escolhem os parceiros. Porém, o oposto também pode acontecer apesar de ser um fenômeno raramente observado na natureza.

Quando as fêmeas competem pela atenção dos machos e esses escolhem as melhores fêmeas, o fenômeno é denominado seleção sexual reversa.

Contudo, como o canibalismo filial está relacionado à seleção sexual? Por exemplo, machos do peixe maria-da-toca, cientificamente denominado

Rhinogobius flumineus, que habitam riachos em território japonês expressam canibalismo filial, cuidando dos ovos até que eles eclodam.

Os machos dessa espécie de maria-da-toca que conquistam mais fêmeas podem manipular a densidade de ovos fertilizados por eles, reduzindo a ninhada e, conseqüentemente, dando oportunidade para diferentes fêmeas se acasalarem com eles.

Esse comportamento aumenta a variabilidade genética da prole, que recebe genes de diferentes fêmeas, favorece o estado nutricional do macho cuidador e, conseqüentemente, prolonga a sua sobrevivência.

Um estudo foi conduzido para testar se a abundância e a qualidade de fêmeas favoreceriam o canibalismo paternal nessa espécie de maria-da-toca.

Os resultados desse estudo revelaram que na presença de uma ou duas fêmeas ainda ovadas, os machos de maria-da-toca canibalizavam parte dos ovos que estavam sob os seus cuidados.

Outro resultado interessante observado por esse estudo: o canibalismo filial foi, preferencialmente, praticado nos primeiros dias do cuidado paternal, isto é, num período que variou entre um e três dias.

Esse estudo sugere que as fêmeas de maria-da-toca que evitam cruzar com machos mais vigorosos devem ter maior sucesso de cruzamento, uma vez que não terão parte dos seus ovos canibalizados pelos machos.

Em outras palavras: a fêmea de maria-da-toca que cruza com um macho menos vigorosos reduz as chances de que os seus ovos sejam os próximos a serem canibalizados pois dificilmente uma nova fêmea aparecerá para esse macho.

Deste modo: quando as fêmeas de maria-da-toca cruzam com os machos menos vigorosos elas aumentam as chances dos seus ovos receberem os cuidados paternos até o fim do seu desenvolvimento.

Porém, cruzar com um macho mais vigoroso pode significar para a fêmea de maria-da-toca um aumento no sucesso de cruzamento dos seus descendentes - de pais vigorosos provavelmente também serão vigorosos.

Em outras palavras, filhos mais vigorosos conseguirão mais fêmeas para se acasalar e produzirão mais filhotes vigorosos.

Nesse contexto, qual seria a estratégia mais vantajosa para as fêmeas de maria-da-toca? Acasalar com machos mais ou menos vigorosos?

As respostas a essas perguntas só podem ser respondidas se estudarmos os grupos de maria-da-toca quanto a sua composição genética em diferentes locais e ao longo do tempo - sob a ótica da sua ecologia evolutiva.

Em alguns animais, o canibalismo filial ocorre quando há uma ameaça de predadores. Nesse caso, o estresse gerado por essa ameaça faz com que os genitores se alimentem da prole que estava cuidando.

Tal comportamento foi observado na maria-da-toca da espécie cientificamente denominada *Pomatoschistus minutus* e também no lagarto da espécie cientificamente denominada *Mabuya longicaudata*.

Estudos sobre o comportamento de canibalismo filial foram realizados com besouro da farinha, cientificamente denominado *Tribolium confusum*, para verificar quais eram os fatores relacionados a esse tipo de comportamento.

Esse besouro atua com uma praga que ataca sementes de cereais estocadas, especialmente o trigo e até a sua farinha.

Um estudo demonstrou que fêmeas do besouro da farinha expressaram algum tipo de reconhecimento de sua prole e, conseqüentemente, minimizariam ou evitariam o canibalismo filial.

Também foi verificado que as fêmeas virgens do besouro da farinha praticavam o canibalismo mais frequentemente que as fêmeas que haviam copulado previamente.

Estudando-se o inseto conhecido como percevejo de olhos grandes, denominado *Geocoris pallens*, verificou-se que as taxas de canibalismo materno eram alteradas, principalmente na presença de outras fêmeas da mesma espécie.

Adicionalmente, a presença da forma juvenil de espécie de inseto predador conhecido como neuróptera, cientificamente denominado *Chrysoperla rufilabris*, também causou um pequeno aumento na taxa de canibalismo por parte das fêmeas do percevejo de olhos grandes.

Por que razão, apenas a presença de outras fêmeas ou de predadores causa a expressão do canibalismo filial nas fêmeas do percevejo de olhos grandes?

Os autores do estudo em questão acreditam que a presença de fêmeas da mesma espécie e de predadores causa uma redução na qualidade ambiental, fato este que levaria as fêmeas cuidadoras dos ovos a realizar o canibalismo e assim salvar parte da energia que ela investiu.

O canibalismo filial causado pelo aumento da densidade populacional também foi observado para a espécie de perereca, cientificamente denominada *Thoropa taophora*.

Essa perereca é uma espécie endêmica de florestas da Mata Atlântica brasileira na região do estado de São Paulo. Ela só ocorre neste tipo de ambiente.

Os machos dessa perereca cruzam com várias fêmeas no mesmo período reprodutivo, sendo, portanto, classificados como poliginicos. Eles competem entre si pelas fêmeas e por locais de reprodução.

Os locais de reprodução da perereca são as paredes rochosas que estão posicionadas nas proximidades da lâmina de água de pequenos córregos.

O canibalismo nessa espécie está associado ao compartilhamento de ninhos por parte das fêmeas.

Além de se alimentar de algas, as fêmeas da perereca canibalizam parte dos seus ovos, bem como os seus juvenis quando seus ninhos estão muito próximos de outros.

Porém, quando as fêmeas escolhem um local com reduzida qualidade e, conseqüentemente, menor competição com outras fêmeas, o risco de canibalismo de sua prole diminui significativamente.

Entretanto, a taxa de sobrevivência das proles dessas pererecas pode ser menor devido às condições limitantes do ambiente escolhido para nidificar.

Nesse contexto, o que é mais vantajoso para as fêmeas de pererecas? Ocupar um local com menor qualidade ou sofrer um maior risco em expressar o canibalismo filial devido à proximidade de outros ninhos?

Novamente, deve-se analisar a questão sob a ótica da ecologia evolutiva, considerando que todos esses parâmetros são forças que regem o processo evolutivo dessa espécie de perereca, ao longo do tempo e em diferentes ambientes, de acordo com a sua composição genética.

O canibalismo filial entre primatas não humanos também parece estar relacionado a fatores de estresse. Exemplos de chimpanzés, bonobos, orangotangos e gorilas se alimentando de filhotes recém-falecidos têm sido reportados em diferentes condições de confinamentos como jaulas e pátios de zoológicos ou de centros de reprodução e de estudo comportamental.

Duas fêmeas de orangotangos praticaram o canibalismo filial em uma floresta da Indonésia, fato que intrigou conservacionistas.

A ocorrência de restos mortais de juvenis em fezes de gorilas adultos também foi observada numa população em condições naturais, em florestas

tropicais localizadas no centro do continente africano. Entretanto, não se pode atribuir nenhuma justificativa ou identificar os fatores relacionados a tal comportamento. O escape ao canibalismo é um comportamento expresso pelas proles de diferentes espécies que conseguem fugir e ocupar esconderijos.

Por exemplo, fêmeas de peixes de pequeno porte conhecidos como barrigudinhos ou *guppies*, das espécies cientificamente denominadas *Poecilia vivípara*, *Poecilia reticulata* e *Poeciliopsis monacha*, canibalizam os seus filhotes recém-nascidos – os mesmos não nadem para longe ou não se escondam entre rochas, raízes da vegetação ou detritos que boiam no ambiente. A expressão de escape dos neonatos dessas espécies está regulada pelas suas características genéticas.

Por exemplo, em *Poecilia reticulata* foi observado que a capacidade de escape dos neonatos era maior quanto maior era a intensidade na expressão de canibalismo das suas genitoras.

Através de um estudo geneticamente mais refinado foi possível reproduzir em laboratório o cruzamento fêmeas da espécie *Poeciliopsis monacha* com machos de *Poeciliopsis lucida* que ocorre nos riachos da costa oeste do

México. Os híbridos dessas espécies são chamados de *Poeciliopsis monacha-lucida* e coexistem com as espécies que lhes deram origem.

As fêmeas da espécie *Poeliopsis monacha* são canibais e seus filhotes expressam o escape. As fêmeas de *Poeciliopsis lucida* não expressam o canibalismo. Portanto, qual seria o comportamento das genitoras híbridas e de seus filhotes?

O estudo observou que os neonatos oriundos do cruzamento das fêmeas híbridas apresentam comportamentos de escape bastante variáveis que muito provavelmente dependiam da origem do material genético materno pelos mesmos herdados.

3.2. CANIBALISMO SEXUAL

O canibalismo sexual ocorre quando fêmeas de determinadas espécies que consomem os machos da sua própria espécie durante a corte, a copulação ou ainda logo após o acasalamento.

Em raras situações, os machos podem canibalizar as fêmeas durante a cópula. Essas situações foram observadas em condições de cativeiro e as motivações para o canibalismo sexual masculino foram relacionadas às condições de estresse.

Acredita-se que o canibalismo précopulatório ocorre quando os machos não investem adequadamente na corte ou não apresentam qualidade suficiente para serem aceitos pelas fêmeas.

Entretanto, o canibalismo sexual précopulatório afeta de forma completamente distinta o sucesso de cruzamento das fêmeas e dos machos envolvidos.

A fêmea pode beneficiar a si mesma e aos óvulos que terá de produzir, enquanto que para o macho “que serve como presa” o prejuízo reprodutivo é de 100%, pois este não deixará seus genes na prole da fêmea que o devorou.

O canibalismo sexual tem sido observado em diferentes grupos taxonômicos de invertebrados, especialmente entre as aranhas, em pelo menos 11 famílias que englobam mais de 50 espécies.

No louva-a-deus, a ocorrência de canibalismo sexual foi observada em 16 espécies. Outros grupos taxonômicos que expressam o canibalismo sexual são os escorpiões, besouros, mosca e mosquitos, grilos e gafanhotos e pequeno crustáceo, conhecidos como pulga d'água.

O canibalismo sexual em louva-a-deus não é um pré-requisito para o sucesso reprodutivo da fêmea. Decapitar o macho durante a cópula ou depois dela depende do grau de agressividade da fêmea e pode ser evitado pelo macho.

Portanto, qual seria a relação entre o canibalismo sexual e a seleção sexual nas espécies desses animais?

Abordagens clássicas sobre a seleção sexual sugerem o que sucesso reprodutivo dos machos está diretamente relacionado ao número de fêmeas que eles conseguem fertilizar ou quantas vezes eles conseguem se acasalar com a mesma fêmea ao longo da sua vida (caso da monogamia).

Portanto, no contexto da seleção sexual, o canibalismo sexual pode ser considerado como um caso extremo de monogamia, pois o macho ingerido não terá uma segunda chance de se acasalar.

O comportamento de corte dos machos facilita ou dificulta o canibalismo sexual? Essa pergunta pode ter uma resposta afirmativa ou negativa dependendo das espécies envolvidas e até mesmos dos casais observados.

Por exemplo, as espécies de aranhas que compõem o gênero *Latrodectus* são conhecidas popularmente como viúva-negra por praticar o canibalismo sexual.

Entretanto, o comportamento dos machos de aranhas diante das investidas canibais das fêmeas pode variar muito.

Enquanto o macho de algumas espécies de viúva-negra se deixa canibalizar com facilidade e até mesmo chega a posicionar o seu abdômen próximo à quelícera da fêmea para ser devorado, o macho da espécie *Pisaura mirabilis*, utiliza uma rebusca estratégia de defesa e escape durante a cópula,

o macho de *Pisaura mirabilis* segura uma presa viva, como presente de nupcial para a fêmea e finge estar morto.

Desse modo, enquanto a fêmea se alimenta da presa, o macho “ressuscita” e introduz um bulbo contendo espermatozoides nela, realizando com sucesso tanto o ato sexual como o escape do canibalismo.

O comportamento se passar por morto é denominado tanatose e nem sempre é expresso pelos machos da aranha em questão, pois foram observados em percentual de 30% a 89% dos acasalamentos.

Isto indica que oferecer o presente nupcial e salvar a própria vida é a estratégia mais comum adotada pelos machos da aranha *Pisaura mirabilis*, evitando assim a expressão da tanatose.

Outra exuberante estratégia de defesa contra o canibalismo sexual foi observada em machos de tarântula de diferentes espécies do gênero *Lycosa*.

Esses machos de aranhas que preferem acasalar com fêmeas que acabaram de fazer muda para crescer, isto é que realizaram a troca da carapaça - conhecida como exoesqueleto.

Durante a corte, os machos utilizam parte da carapaça deixada pelas fêmeas como um escudo protetor contra o canibalismo.

Outras estratégias também são utilizadas para evitar o canibalismo sexual. Por exemplo, os machos da espécie *Nephilengys malabarensis* se separam da pata especializada em introduzir o bulbo, contendo espermatozoides nas fêmeas. Desse modo, fazem uma autotomia que na realidade representa uma autocastração durante o ato sexual.

Nessa situação, a pata especializada que foi deixada dentro do trato reprodutivo da fêmea funciona como um tampão sexual que impede que ela se acasale com outro macho durante o período reprodutivo em vigor.

O macho que realizou a autocastração não mais poderá se acasalar - não é possível recuperar a pata perdida. Entretanto, ele tem como vantagem a garantia que será o genitor da prole que será gerada pela fêmea que ele inseminou.

Portanto, esse comportamento além de oferecer uma chance do macho se salvar do canibalismo sexual também permite que ele tenha garantia da sua paternidade.

Adicionalmente, quando os machos são canibalizados durante ou após a cópula, eles estarão contribuindo para uma melhor condição nutricional das fêmeas e, conseqüentemente, das suas proles.

Porém o canibalismo sexual envolve questões evolutivas intrigantes. Caso d esse comportamento possui valor adaptativo alto por que ele é restrito a certos grupos de animais e não ocorre em 100% dos acasalamientos de espécies com fêmeas canibais?

Foi observado em condições de laboratório que machos de viúva-negra investem mais no cortejo de fêmeas que foram previamente alimentadas em relação às fêmeas famintas. Portanto, o canibalismo sexual estaria inversamente relacionado com o estado nutricional da fêmea.

Seria o canibalismo sexual um ato associado à voracidade das fêmeas que, erroneamente, se alimentariam dos machos menos hábeis à pratica do

escape? Alternativamente, seria o canibalismo sexual associado ao padrão de comportamento inato dos machos?

Exemplos de machos que se voluntariamente se sacrificam voluntariamente se deixando canibalizar pelas fêmeas durante o acasalamento, restringem-se somente a seis gêneros de aranhas. Entretanto, parece estar associado ao padrão de comportamento destes.

O caso de canibalismo sexual que envolve sacrifício masculino voluntário é facilmente observado na espécie *Latrodectus hasselti*, (viúva-negra de costas vermelhas) que é nativa da Austrália.

Nessa espécie, apesar de o macho colocar o seu abdômen diante das quelíceras da fêmea, num típico comportamento que facilita a captura e o consumo por parte das fêmeas durante a cópula, o canibalismo só ocorre em 65% das cópulas.

Portanto, a frequência do canibalismo sexual na espécie de viúva-negra de costas vermelha seria o fruto de uma combinação entre a voracidade das fêmeas e a facilitação por parte dos machos.

O comportamento de sacrifício voluntário por parte dos machos também é observado na espécie de viúva-negra de cor amarronzada, *Latrodectus geometricus* e originária da África do Sul.

A espécie *Latrodectus hasselti* é nativa da Austrália. Nessa espécie as fêmeas foram mais propensas ao canibalizar os machos que investiram menos na corte, praticando assim o canibalismo pré-nupcial.

O canibalismo sexual também foi praticado com mais frequência quando os machos dessa espécie possuíam um tamanho menor que à média da população masculina.

3.3. CANIBALISMO INTRAUTERINO

O canibalismo intrauterino ocorre quando o embrião, em estágio mais avançado no desenvolvimento e/ou com maior porte, se alimenta dos irmãos, assegurando assim mais energia e espaço para o seu próprio desenvolvimento.

Esse fenômeno é conhecido como adelfofagia, sendo este termo mais amplamente utilizado porque o canibalismo entre irmão também pode ocorrer dentro de casulos contendo ovos colocados no ambiente que, portanto, não estão dentro de um útero.

Em termos biológicos, o ovo de animais é o zigoto, sendo fruto da inseminação do óvulo pelo espermatozoide.

O embrião canibal também pode se alimentar dos ovos de sua genitora. Nesse caso, o canibalismo é chamado de ovofagia.

A prática da adelfofagia, acompanhada ou não pela ovofagia, ocorre no útero de algumas espécies de tubarões como exemplo da espécie *Isurus oxyrinchus* - popularmente conhecida com anequim.

Essa espécie de tubarão ocorre em mares tropicais e temperados com temperaturas acima de 16⁰C, pode chegar a 4,3 metros de comprimento e 580 quilos, sendo considerada a mais rápida entre os tubarões pois pode atingir até 88 quilômetros por hora.

No noroeste do Oceano Pacífico, o período de cruzamento dessa espécie de tubarão ocorre entre os meses de janeiro e junho e o nascimento dos filhotes ocorre entre dezembro e julho.

Estima-se que o período de gestação dos embriões de *Isurus oxyrinchus* ocorra entre 23 a 25 meses.

Inicialmente, os embriões desse tubarão se alimentam através da ovofagia. Os dentes começam a se desenvolver quando os embriões atingem 26 cm de comprimento.

Porém os dentes só emergem quando os embriões da espécie em questão chegam a 42 centímetros de comprimento. Uma segunda fileira de dentes emerge quando os embriões atingem um comprimento total de 61 centímetros.

Estudo conduzido em populações de *Isurus oxyrinchus* - que ocupam águas do noroeste do Oceano Pacífico - demonstrou que um embrião com 71 centímetros de comprimento continha em seu estomago um embrião macho com 33 centímetros de comprimento e um embrião fêmea com 28 centímetros. Também foi observado que em no estomago de outro embrião

com 68 centímetros havia um embrião macho de 20 centímetros parcialmente digerido.

Esses registros caracterizaram que os embriões da espécie praticam a adelfofagia após a ovofagia.

A adelfofagia não é uma exclusividade de tubarões - também foi observada em várias espécies de invertebrados como platelminto, poliqueta, caramujos e crustáceos.

Nesses grupos taxonômicos de animais, o conceito de adelfofagia engloba a ovofagia, isto é os ovos em diferentes graus de desenvolvimento desde as primeiras clivagens destes (divisão celular) até os estágios mais avançados das larvas.

A espécie de platelmintos denominada *Schmidtea mediterranea*, vive no sudeste da Europa e na Tunísia.

Os embriões dessa espécie se desenvolvem dentro de casulos durante 23 dias, em temperaturas que variam entre 18 e 20°C.

Foi observado que o número de embriões que saem de dentro dos casulos depositados pelas fêmeas é menor que o número de ovos que, inicialmente, se encontravam dentro destes.

Na Ilha Caribe, localizada na costa da Venezuela, a espécie de caramujo denominada *Crucibulum auricula* ocupa áreas que variam entre 0,5 a 1 metro de profundidade, estando, portanto, sob a influência da variação das marés.

Nessa espécie, as fêmeas produzem entre 4 e 20 casulos. Em cada casulo foi observado entre 55 e 305 ovos que ainda não começaram a se dividir para dar origem aos embriões.

Depois das quatro primeiras divisões embrionárias, o número dos ovos fica reduzido a cerca de 7% - entre 3 e 24 ovos por casulo.

Os ovos que não se desenvolveram em embriões são absorvidos por aqueles que se desenvolveram, caracterizando um caso de ovofagia.

Subsequentemente, os embriões em estágio mais avançado de desenvolvimento, se alimentam daqueles em estágios menos avançados, ocorrendo então a adelfofagia.

No final do processo, somente uma quantidade entre um e 11 embriões chegará ao estágio final do seu desenvolvimento dentro de cada casulo.

A adelfofagia foi observada em populações da espécie de caramujo *Buccinanops monilifer* que habita dois locais distintos: na província de Buenos Aires, no Mar Del Plata e no Mar Chiquita.

O canibalismo intracapsular por parte dos embriões em estágios de desenvolvimento mais avançados observado nas populações dessa espécie, foi o primeiro relato registrado até então.

Através de análises morfológicas foi possível documentar a adelfofagia na poliqueta da espécie *Boccardia proboscidae* (HARTMAN, 1940) que ocorre no litoral da Califórnia (EUA) e que produz larvas planctônicas de pequeno porte como também larvas bentônicas de maior porte dentro de capsulas que se nutrem de embriões de porte menor.

O modo de reprodução dessa espécie é denominado poecilogonia, sendo de grande importância biológica, pois permite a produção de dois tipos de larvas.

As larvas planctônicas produzidas possibilitam que a espécie ocupe novas áreas e favoreça a troca de material genético com indivíduos de outras populações (fluxo gênico). Por outro lado, as larvas produzidas nas cápsulas são betônicas e serão responsáveis pelo recrutamento, manutenção da população e permanecem no mesmo local de nascimento.

As populações da poliqueta da espécie *Boccardia polybranchia* (HASWELL, 1885) apresentam uma ampla distribuição no Oceano Pacífico (costa oeste da norte-americana, Japão, sudeste da Austrália).

Em 2000, documentou-se que essa espécie foi introduzida no Havaí quando ostra da espécie *Ostra edulis* foi transportada para uma fazenda a ser cultivada. A espécie de poliqueta em questão vive em associação com essa ostra. Essa mesma espécie também exibe a poecilogonia e a adelfofagia praticada pelos embriões bentônicos que se desenvolvem dentro das cápsulas e somente de 3 a 5% dos embriões se desenvolvem e nascem a partir da alimentação dos embriões menores em formação. Porém podem

produzir um total de 50 mil novos indivíduos por metro quadrado na província subantártica, na Ilha de Kerguelen, pertencente à França e localizada no Oceano Índico.

O hermafroditismo simultâneo, a icteroparidade e a adelfofagia são processos reprodutivos que aparecem na espécie de poliqueta *Diopatra marocensis* (DELLE CHIAJE, 1841) que habita a região intermaré da costa sul do Marrocos até a costa portuguesa.

O hermafroditismo simultâneo envolve a expressão de gônadas masculinas e femininas ao mesmo tempo, diferentemente do que acontece com os herfasroditas sequencias que primeiro expressam a gonada masculina e depois a feminina ou a feminina e a masculina depois.

Os seres iteróparos se reproduzem somente uma vez na vida e podem morrer imediatamente, o inverso do que acontece com os seres semélparos que se reproduzem mais de uma vez durante a vida.

Diopatra marocensis incuba os ovos em tubo onde habitam, liberando os juvenis após a embriogênese. Os tubos são construídos com material vegetal e areia.

Os ovos relativamente largos (170 a 1170 μm) ficam associados ao corpo da poliqueta, conferindo a esta uma cor alaranjada. Durante a incubação observa-se a adelfofagia. As larvas nascem com cerca de 3 milímetros, apresentando somente 8 “chaetiger” que serão um total de 18 ao final do seu crescimento quando atingirão cerca de 8 milímetros.

A espécie de crustáceo *Glyptonotus antarcticus* (Eights, 1853) é um isópodo gigante que apresenta 9 centímetros de comprimento dentro de um grupo taxonômico cujos tamanhos variam entre 5 e 15 milímetros e que habita a região circumpolar da Antártica, entre a região de variação de marés até a profundidade de até 700 metros.

A espécie em questão apresenta um marsúpio onde os ovos são incubados por 577 a 626 dias, entre o abdômen e os oostegitos (placas ventrais que conferem proteção aos ovos). Em duas fêmeas foram encontrados 138 e 471 embriões com comprimentos variando entre 5,6 e 9,6 milímetros.

A presença desse tipo de marsúpio também é observada em algumas outras espécies de isópodos.

Porém, em *Glyptonotus antarcticus*, o marsúpio apresenta característica única, uma vez que, além da adelfofagia, foi observado que as genitoras produzem substâncias que nutrem os embriões que são incubados.

As fêmeas grávidas apresentam grande quantidade de gordura estoca que deve ser utilizada pelos embriões, caracterizando a ocorrência de lecitotrofia, isto é, quando o embrião recebe nutrição que não advém da energia contida inicialmente no ovo (o vitelo) mas de fonte externa oriunda da genitora. Quando o embrião não recebe energia externa ao ovo o processo de se chama matrotrofia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O canibalismo não pode ser considerado um mecanismo imperfeito quando integra parte da história evolutiva das espécies que adotaram tal comportamento.

Quando o canibalismo ocorre em condições artificiais envolvendo a superpopulação de animais de uma jaula, a privação de alimento por longos

períodos e a situação de extremo estresse, pode ser classificado como comportamento excêntrico.

Em condições adversas, até mesmo fêmeas que estavam muito empenhadas no desempenho do cuidado da prole podem consumir toda a prole sem motivo aparente e com voracidade sem precedentes na história de vida da espécie. Nessa situação, três possibilidades podem ser consideradas:

- a) o canibalismo foi praticado por causa de condições de extremo estresse.
- b) o canibalismo já era praticado pela espécie mais ainda não tinha sido observado.
- c) o canibalismo não era praticado pela espécie até então, mas passou a existir por devidos fatores evolutivos como mutação no material genético ou hibridação da espécie não canibal com outra espécie com tendências canibais.

De qualquer forma, o canibalismo é um comportamento intrigante que ainda merece muita atenção por parte dos pesquisadores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNOLIN, A. Antropofagia ritual e identidade cultural entre os Tupinambá. Revista de Antropologia, vol., 45, 131-185, 2002.

ARIAS, A. ET AL. Evidence os simultaneous hermaphroditism in the brooding *Diopatra marocensis* (Annelida: Onuphidae) from northern Spain. Journal of the Marine Biological Association of United Kindon, vol. 93, 1533-1542, 2013.

AVERBUJ, A. AND PENCHASZADEH, P. E. On the reproductive biology and impact of imposex in a population of *Buccinanops monilifer* from Mar del Plata, Argentina. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, vol. 90, 729-734, 2010.

CHAPMAN, D. D. ET AL The behavioral and genetic mating system of the sand tiger shark, *Carcharias taurus*, an intrauterine cannibal. Biological Letters, vol. 9, 1-4, 2013.

COLLIN, R AND SPANGLER, A. Impact of adelphophagic development on variation in offspring size, duration of development, and temperature-mediated plasticity. Biolgical Bulletin, vol. 223, 268-277, 2012.

ELGAR, M. A. E CRESPI, B. J. Cannibalism – Ecology and evolution among diverse taxa. Oxford Science Publication. 1992.

GIBSON, G. D. and Carver, D. Effects of extra-embryonic provisioning on larval morphology and histogenesis in *Boccardia proboscidae* (Anneida, Spionidae). Journal of Morphology, vol. 274, 11-23, 2013.

GIBSON, G. D. AND GIBSON, A. J. F. Heterochrony and the evolution of poecilogony: generating larval diversity. Evolution, vol. 58, 2704-2717.

HARRATH, A. H. ET AL. First report of adelphophagy in flatworms during the embryonic development of the planarian *Schmidtea mediterranea* (Benazzi, Baguna, Ballester, Puccicelli & Del Papa, 1975) (Platyhelminthes, Tricladida). Invertebrates Reproduction and Development, vol. 53, 117-124, 2009.

HARRIS, R. N. ET AL. An experimental analysis of joint nesting in the salamander *Hemidactylium scutatum* (Caudata: Plethodontidae): the effects of population density. Animal. Behaviour, v. 50, p.1309-1316. 1995.

JANSSEN, H. H. AND HOESE, B. Marsupium morphology and brooding biology of the Antarctic giant isopod, *Glyptonotus antarcticus* (Eights, 1853) (Crustacea, Isopoda, Chaetiliidae). *Polar Biology*, vol. 13, 145-149, 1993.

LAW, Y.-H. AND ROSENHEIM, J.A. Presence of conspecific females motivates egg cannibalism owing to lower risk of filial cannibalism. *Animal Behaviour*, vol. 85, 403-409, 2013.

LI, D. ET AL. Remote copulation: male adaptation to female cannibalism *Biological Letters*, vol. 8, 512-515, 2012.

LIMA, N. R. W. & VRIJENHOEK, R. C. Avoidance of filial cannibalism by sexual and clonal forms of *Poeciliopsis* (Pisces: Poeciliidae). *Animal Behaviour*, v. 51, n.2, p. 293-301, 1996.

MILLER, J. A. Repeated evolution of male sacrifice behavior in spiders correlated with genital mutilation. *Evolution*, v. 61, 1301—1315. 2007.

MILOSLAVICH, P. AND PENCHASZADEH, P. E. Adelphophagy and cannibalism during early development of *Crucibulum auriculata* (Gmelin, 1791)

(Gastropoda: Calyptraeidae) from the Venezuelan Caribbean. Nautilus, vol. 115, 39-44, 2001.

MOKSNES, A. Egg recognition in chaffinches and bramblings. Animal Behaviour, v. 44, p. 993-995, 1992.

MURALIDHAR, P. ET AL. Kin-bias, breeding site selection and female fitness in a cannibalistic Neotropical frog. Molecular Ecology, vol. 23, 453–463, 2014.

MYINT, O. ET AL. Mate availability affects female choice in a fish with paternal care: female counterstrategies against male filial cannibalism. Journal of Ethology, vol. 29, 153–159, 2011.

News of the Wilde

<http://mail.yourwebapps.com/archive.cgi?list=65673;newsletter=1617>

acessado 15 em julho de 2015.

NILSSON, K.A. ET AL. Guppy populations differ in cannibalistic degree and adaptal degrion to structural environment. Oecology, vol. 167, 391 -400.

PARSONS, W. ET AL. Mating status and kin recognition influence the strength of cannibalism. *Animal Behaviour*, 85:365-369. 2013.

PRUITT, J. N., ET AL. Precopulatory sexual cannibalism causes Increase egg case production, hatching success, and female attractiveness to males. *Ethology*, vol. 120, 453–462, 2014.

PROKOP, P AND VÁCLAV, R. Seasonal aspects of sexual cannibalism in the praying mantis (*Mantis religiosa*). *Journal Ethology*, vol. 26, 213-218, 2008.

SEGOLI, M. ET AL. Sexual Cannibalism in the Brown Widow Spider (*Latrodectus geometricus*), *Ethology*, vol. 114, 279–286, 2008.

SENNA, M. L. V. E NUNAN, G. W. Registro de ovofagia no tubarão mangona, *Carcharias Taurus rafinesque*, 1810 (Chondrichthyes, Elasmobranchii). *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro*, vol. 66, 595-601, 2008.

SHOOU-JENG JOUNG, S-J AND HSU, H- Reproduction and Embryonic Development of the Shortfin Mako, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, 1810, in the Northwestern Pacific. *Zoological Studies*, vol. 44, 487-496, 2005.

TAKATA, M. ET AL. Asynchronous hatching and brood reduction by filial cannibalism in the burying beetle *Nicrophorus quadripunctatus*. Journal of Ethology, vol. 31, 249-254, 2013.

TAKEYAMA, T. ET AL. Mate availability accelerates male filial cannibalism in a nest brooding fish: effects of number and fecundity of females. Behavioral Ecology and Sociobiology, vol. 67, 421-428. 2013.

WALKE, M. Canibalismo de filhote em espécie de primata surpreende cientista.

http://www.bbc.co.uk/portuguese/ciencia/2010/02/100202_primatacientista.shtml (acessado em julho de 2014)

PARASITISMO DE CRIA: VANTAGENS OU *DESVANTAGENS*

Neuza Rejane Wille Lima¹

1. Laboratório de Ecologia Animal e Vegetal
Instituto de Biologia/UFF.

1. O QUE É PARASITO DE CRIAS?

Parasitos de crias é um termo que remete à ideia de que será realizada uma lista de organismos que infectam ou infestam ovos e recém-nascidos em ninhinhos, tais com fungos, pulgas, carrapatos, entre outros. No entanto, esse termo é utilizado para organismos que conferem a outros organismos a responsabilidade de cuidar de seus ovos e filhotes. Cabe aos organismos hospedeiros (as “babás” do mundo animal) identificar os intrusos (organismos

parasitos) e eliminar ou reduzir os investimentos pseudoparentais de cuidado do ninho e/ou da prole. As histórias que serão contadas sobre o tema em questão refletem o grau de investimento nas pesquisas e a disponibilidade dos resultados publicados sob a forma de artigos científicos, dissertações, teses, resumos e sítios eletrônicos. Esse intrigante tipo de parasitismo fornece conhecimentos sobre os refinados padrões de comportamento dos animais e revela as semelhanças entre espécies tão distintas como as aves, peixes e artrópodes (insetos e aranha).

2. POR QUE TRATAR SOBRE PARASITOS DE CRIAS?

Em termos reprodutivos, o parasitismo de cria é uma estratégia arriscada, pois atribuir a outras espécies os cuidados da sua prole requer o comportamento específico por parte dos genitores e o emprego de várias táticas que envolvem camuflagem, rápido crescimento e agressividades por parte da prole.

Assim, como o objetivo de contribuir para a divulgação desse tema, serão abordadas as histórias dos parasitos de crias, bem como de seus

hospedeiros. Primeiramente, serão definidas algumas questões pertinentes a esse assunto e posteriormente serão relatados exemplos, caso a caso.

2.1 - DEFINIÇÃO DE PARASITO

Tecnicamente, o parasito é definido como organismo que mantém uma dependência obrigatória com outro organismo vivo (hospedeiro) para completar o seu ciclo de vida. Portanto, é o organismo que, ao abrigar o parasito, sofre alguma ou várias alterações comportamentais e fisiológicas que lhe confere algum tipo de prejuízo.

De um modo geral, apenas os parasitos mal adaptados matam o seu hospedeiro. Entretanto, entre as diversas espécies de parasitos, existem os *parasitoides*, que são biologicamente programados para consumir os hospedeiros vivos até a morte. São exemplos de um parasitoide as larvas de vespa que se desenvolvem no interior de larvas de outros insetos.

Os parasitos podem ser microscópicos ou macroscópicos, podendo se localizar no interior (endoparasito) ou exterior (exoparasito) do corpo do

hospedeiro. Alguns parasitos, denominados de *mesoparasitos*, perfuram o corpo do hospedeiro, mantendo apenas uma abertura para respirar e/ou liberar ovos ou larvas ou, ainda, para sair do corpo do hospedeiro quando necessário. O berne é um exemplo de mesoparasito.

Os parasitos podem ser *infectantes* - quando entram em células, ou *infestantes* - quando se alojam em órgãos, cavidades, vasos sanguíneos e linfáticos ou em estruturas externas do corpo do hospedeiro (pêlos, unhas, pele). Os seres microscópicos, como vírus, bactérias e protozoários, são infectantes, e seres macroscópicos, como vermes, crustáceos, ácaros, insetos e suas larvas, são infestantes.

Para viabilizar o seu ciclo de vida e/ou favorecer a sua transmissão, os parasitos causam diversas alterações em seus hospedeiros, tais como: emagrecimento, redução no crescimento, alterações comportamentais que facilitam sua exposição ao predador (no caso, o hospedeiro final do parasito), alteração nas respostas imunológicas (imunodepressão ou estímulo na produção de leucócitos) e, mais especificamente, reduções de seu sucesso reprodutivo, quando envolve a castração parasitária ou o parasitismo de cria.

O parasitismo pode ser tratado por diferentes abordagens que seriam agrupadas em quatro classes: *ecológica*, *epidemiológica*, *imunológica* e *multidisciplinar*. Ao contrário do ponto de vista epidemiológico, sob o aspecto ecológico, o parasitismo não é considerado uma doença, mas um tipo de antagonismo biológico que é regido por processos evolutivos.

De acordo com a classe imunológica, o denominador comum de todas as interações da relação parasito-hospedeiro decorre das reações fisiológicas efetuadas pelo hospedeiro contra a presença do parasito. Porém, do ponto de vista multidisciplinar, o parasito atua como um explorador que retira energia de outras espécies, anulando a sua própria necessidade de forragear, se beneficiando do transporte, proteção e/ou regulação térmica ou ainda de outros fatores fisiológicos ou comportamentais oferecidos pelo seu hospedeiro.

3.2 DEFINIÇÃO DE PARASITO DE CRIA

O parasitismo de cria é do tipo que envolve a exploração - por parte da espécie parasita - de recursos obtidos pela espécie hospedeira, tais como

território e alimentos. Esse tipo de parasitismo é tido como um cleptoparasitismo interespecífico – relação entre espécies diferentes cujo parasito *rouba* os recursos conquistados pelos hospedeiros – ninhos e presas. O parasitismo de cria pode ocorrer entre organismos da mesma espécie como o observado em patos da espécie *Bucephala clangula* (LINNAEUS, 1768) – *common goldeneye* - no Hemisfério Norte. Nesse caso, o parasitismo de cria é do tipo intraespecífico. O parasitismo de cria entre espécies diferentes é denominado interespecífico.

Alguns estudos sobre parasitismo de cria abordam também espécies de aves. Comparativamente, poucos estudos relatam esse tipo de parasitismo em peixes, insetos e aranhas. De acordo com Linnaeus(1768), o parasitismo de cria pode ser obrigatório - caso do cuco comum (*Cuculus canorus*). Pode ser facultativo, a exemplo do que se observa em algumas espécies da família dos cucos pertencentes ao gênero *Coccyzus* (VIEILLOT, 1816).

O parasitismo pode envolver a fidelização – quando uma espécie deposita os ovos no ninho de um hospedeiro específico – ou pode ser do tipo generalistas – quando o número de espécie hospedeira é variável. Existem aves que depositam ovos em mais de 200 espécies hospedeiras, como no

caso do cuco canadense *Molothrus ater* (BODDAERT, 1783) que utiliza aproximadamente 234 espécies hospedeiras.

2.3 - COMO SURTIU O PARASITISMO DE CRIA?

Aparentemente, o parasitismo de cria intraespecífico ocorreria quando indivíduos da população perdem o seu ninho ou não encontram local apropriado para se reproduzir ou ainda quando acabam produzindo mais ovos do que o esperado e, assim, utilizariam o ninho de outro indivíduo da sua própria espécie para garantir o seu sucesso reprodutivo. Nesse caso, não se pode descartar a possibilidade de um indivíduo parasito ser também um hospedeiro de crias para outro indivíduo. Assim sendo, o *parasitismo de cria em cascata* seria vantajoso para a espécie, mas desvantajoso para os indivíduos hospedeiros, o que faz valer a velha regra biológica: “o que é bom para espécie nem sempre é bom para o indivíduo e vice-versa”.

Hipoteticamente, o parasitismo de cria interespecífico teria surgido a partir do parasitismo intraespecífico. Isto é, na falta de indivíduos hospedeiros da mesma espécie, os indivíduos parasitos de ninhos buscariam os ninhos de outras espécies para depositar os seus ovos. Nesse caso, o hospedeiro ideal

seria aquele que não reconhecesse o *ovo intruso* e que atendesse ao chamado do filhote da espécie parasito quando esse tivesse fome. Geralmente, as espécies hospedeiras necessitam de um tempo mais longo de incubação do ovo do que as espécies parasitas que, por sua vez, apresentam filhotes mais robustos que os filhotes da espécie hospedeira e com maior capacidade de demandar por alimentos (comportamento petição)

Parasitismo intraespecífico é mais comum em espécies:

- a) que se reproduzem formando colônias provavelmente pela facilidade de monitorar uns aos outros, escolher as fêmeas de maior potencial (mais agressivas e de maior porte – com maior capacidade de incubar e vigiar o ninho);
- b) que são precociais – nascem com capacidade de se locomover e buscar o alimento;
- c) cuja a deserção do ninho é bastante custosa devidos às incertezas das condições ambientais (elevado estresse ambiental).

2.4 – CUSTO DO PARASITISMO DE CRIA]

O custo do parasitismo varia muito, pois depende das espécies envolvidas. Os aspectos mais relevantes a ser considerados nesta análise são as diferenças de tamanho entre as crias (parasito e hospedeiro) e o tempo de incubação necessário para a eclosão dos ovos das espécies.

O que pode acontecer num ninho foi parasitado por outra espécies?

- a) O número de ovos postos pela espécie hospedeira pode diminuir devido à abrasiva dos ovos que as espécies parasitadas depositam por cima
- b) Espécie parasitada pode retirar os ovos da espécie hospedeira antes de depositar os seus ovos
- c) A espécie parasita pode destruir a casca dos ovos da espécie hospedeira, inviabilizando o desenvolvimento dos embriões
- d) Os filhotes da espécie parasita podem expulsar os ovos e/ou os filhotes da espécie hospedeira;
- e) Os filhotes da espécie hospedeira podem morrer devido à competição por alimento e/ou ação do filhote parasito.

A densidade da população de espécies hospedeiras de crias pode sofrer uma drástica redução ao longo do tempo. Além disso, o tempo de vida dos indivíduos parasitados poder ser reduzido devido aos desgastes energéticos despendido no cuidado e alimentação da cria oriunda da espécie parasita.

Esses desgastes energéticos sofridos por parte da espécie hospedeira dependem da diferença entre os portes físicos das espécies envolvidas, pois quanto maior o filhote parasito maior será a demanda por alimento.

O desgaste sofrido pela espécie hospedeira poderá encurtar os seus recursos energéticos necessários para realizar a corte, construir um novo ninho, produzir os seus ovos e cuidar dos seus próprios filhotes integralmente caso não seja parasitada novamente.

Em poucos casos, os filhotes da espécie parasita podem favorecer os filhotes da espécie hospedeira quando se alimentando de larvas de moscas que os infestam. É o caso da ave vaqueira americana gigante ou iraúna-grande, *Molothus oryzorus* (GMELIN, 1769) que parasita ninhos de japus, *Psarocolius* (PALLAS, 1769) e de guaxes, *Cacicus haemorrhous* (LINNAEUS,

1766). Essas aves possuem o hábito de nidificarem em colônias, construindo ninhos em formato de bolsa que ficam pendentes dos galhos das árvores.

De um modo geral, os custos do parasitismo de cria são altos para as espécies hospedeiras que, por sua vez, desenvolvem uma série de estratégias para se defender contra a instalação de ovos intrusos em seus ninhos ou para identificar os filhotes parasitos e, assim, parar de alimentá-los.

Nessa *corrida evolutiva*, as espécies parasitas e hospedeiras lançam mão de diferentes estratégias para ter sucesso reprodutivo e perpetuar as suas linhagens. Dessa forma, poder ser traçada uma história coevolutiva. A *coevolução* é resultante de interações recíprocas entre duas espécies que estabeleceram relações harmônicas ou desarmônicas.

A história coevolutiva em parasitismo de cria envolve aspectos que facilitam a sua compreensão, pois:

- a) envolve poucas espécies;
- b) ocorre sob pressão seletiva – os custos são geralmente muito severos;
- c) a maioria das interações ocorrem em local específico – nas áreas de nidificação da espécie hospedeira.

Entretanto, dependendo das espécies envolvidas, as interações podem ou não ser facilmente monitoradas. Por exemplo, a interação entre espécies parasitas e hospedeiras de aves envolve sinais visuais e sonoros que são facilmente percebidos pelos humanos, diferentemente do que ocorre entre peixes e entre insetos cujas mensagens comportamentais e fisiológicas, abrange tanto atitudes (movimentos e toques) como substâncias (feromônios) que exigem detectores mais acurados que aqueles fornecidos pela nossa visão, audição e olfato.

Para evitar o parasitismo de cria, as espécies hospedeiras adotam pelo menos quatro estratégias:

- a) vigiar o ninho para evitar visitas indesejáveis;
- b) abandonar o ninho quando detectar o parasitismo;
- c) expulsar os ovos parasitos;
- d) expulsar os filhotes parasitos;
- e) não alimentar os filhotes parasitos.

Alguns filhotes de espécies do gênero *Cuculus* (LINNAEUS, 1758) possuem uma depressão ou concavidade no dorso que facilita o comportamento de expulsar os ovos da espécie hospedeira. Outros filhotes de cucos, os *Clamator glandarius* (LINNAEUS, 1758) não possuem tal concavidade nem habilidade e convivem com os filhotes da espécie hospedeira.

Nessa corrida coevolutiva pode-se observar pequenas ou grandes flutuações nas populações das espécies hospedeiras e parasitas. Tais flutuações dependerão também das condições ambientais. Por exemplo, a situação que envolve uma espécie hospedeira com um número expressivo de indivíduos hábeis em identificar os parasitos de ninhos em um ambiente mais pobre em recursos alimentares irá desfavorecer o parasitismo de ninho. Contrariamente, num ambiente relativamente rico em recursos alimentares e com um número expressivo de indivíduos parasitos que conseguem burlar a vigilância das espécies hospedeira, poderá ocorrer um aumento no número de ninhos parasitados e, conseqüentemente, uma redução de densidade populacional da espécie hospedeira.

O equilíbrio de forças pode promover a coexistência entre parasitos e hospedeiros, por períodos curtos ou longos, em diversos ambientes ou em

ambientes restritos, envolvendo grande ou pequena parte da população de cada espécie que pode ou não ser afetada pelas trocas de indivíduos entre populações. Sob a ótica da genética de populações, essas trocas são denominadas de fluxo gênico.

2.4- COMO A ESPÉCIE PARASITA PODE NEUTRALIZAR AS DEFESAS DAS ESPÉCIES HOSPEDEIRAS?

- a) promovendo a distração do indivíduo da espécie hospedeira que estava montando guarda ou incubando seus próprios ovos;
- b) pondo ovos que mimetizam os ovos da espécie hospedeira;
- c) expressando comportamento que penaliza aqueles hospedeiros que tentam se livrar dos ovos ou dos filhotes.

Os filhotes das espécies parasitas podem garantir a sua sobrevivência solicitando o alimento com mais frequência e/ou com atitudes mais ávidas, isto é: com comportamento de petição extravagante. A eliminação dos ovos ou dos filhotes da espécie hospedeira também pode fazer parte da estratégia de sobrevivência dos filhotes parasitos. Porém, os custos e benefícios envolvidos em tais comportamentos são questionáveis. O gasto metabólico

relacionado ao comportamento de petição exagerada por alimento, pode não compensar o ganho energético obtido através da alimentação parental.

Os comportamentos de reconhecimento e expulsão dos ovos ou filhotes parasitos de ninhos é a principal defesa das espécies hospedeiras. Entretanto, esse tipo de comportamento não é frequentemente praticado.

Segundo Gálves (2005), duas hipóteses têm sido propostas para explicar essa falta de habilidades:

- *Hipótese do retardo evolutivo:* a expulsão do ovo da espécie parasita é sempre vantajosa para a espécie hospedeira. Caso esse comportamento ainda não seja expresso, significa que houve um atraso (ou desvio) no caminho evolutivo que levaria ao maior sucesso reprodutivo das espécies hospedeiras.
- *Hipótese do equilíbrio evolutivo:* o custo do comportamento de reconhecer e expulsar o ovo intruso é maior do que o de conviver com um filhote da espécie parasita. Observações têm demonstrado que existe uma grande variedade de comportamentos (plasticidade comportamental) que envolve o reconhecimento e a eliminação dos

ovos e filhotes parasitos. Por vezes, esse reconhecimento não é adquirido e a coexistência entre filhotes parasitos, pais hospedeiros e sua própria cria é permissível em termos evolutivos.

Em quais situações a seleção natural favorece o parasitismo de cria como estratégia reprodutiva? A resposta sempre deve ser pensada em termos de custo e benefício para as espécies envolvidas.

Para as espécies parasitas, o custo de escolher e vigiar o ninho a ser parasitado para depositar o ovo no momento certo - e correr o risco de ter os ovos ou os filhotes expulsos pelas mães adotivas (hospedeiras) - deve ser menor que construir o seu próprio ninho, cuidar e defender os seus próprios filhotes.

Esse tipo de parasitismo se espalha e se fixa numa população se as vantagens de distribuir os ovos em diferentes ninhos, sob o cuidado de diferentes *mães adotivas*, forem maiores que colocá-los sob os cuidados de uma única *mãe adotiva* sob os mesmos cuidados.

Existem três caminhos possíveis que podem ser trilhados pelas espécies que parasitam os ninhos:

- a) espalhar os ovos em diferentes ninhos quando os fatores adversos do ambiente forem brandos, isso é com baixa taxa de predação e abundância de alimento, entre outros;
- b) expressar competição efetiva diante dos filhotes da espécie hospedeira na petição de alimento;
- c) eliminar os filhotes competidores.

Os fatores que afetam a fecundidade das fêmeas parasitas vão, em grande parte, determinar o número de ovos que serão depositados e, conseqüentemente, quantos ninhos hospedeiros serão necessários. Em certas espécies como o frango de rio do gênero *Gallinula* (BRISSON, 1760) as fêmeas depositam os seus ovos em ninhos hospedeiros coespecíficos (da mesma espécie) antes de depositar os ovos em seus próprios ninhos. Nesse caso, o parasitismo não é o único meio de obter os filhotes.

Essa estratégia prevê um aumento no sucesso reprodutivo, pois a combinação das duas táticas – usar ninhos alheios e também os seus próprios ninhos – deve, em tese, aumentar o número de filhotes viáveis para a fase adulta e assim aumentar a geração de novos seres.

Essa situação colabora com a hipótese de que o parasitismo de cria é uma consequência da limitação energética das espécies parasitas. Quanto mais limitante a disposição de cuidar da criação, maior será o grau de parasitismo. Em outras palavras: maior será o número de ovos depositados em ninhos hospedeiros da própria espécie (parasitismo intraespecífico) ou de outras espécies (parasitismo interespecíficos).

Pode existir uma cooperação entre as fêmeas parasitas e seus machos para anular o comportamento defensivo da espécie parasitada. A exibição de comportamentos extravagantes como o movimento das asas e a vocalização prolongada, visam a distrair a atenção da fêmea a ser parasitada - é o mais facilmente mensurável.

Dentro de uma mesma população, as fêmeas mais jovens ou de menor porte tendem a ser alvo mais frequente de parasitos de ninhos que as fêmeas mais velhas ou maiores. A cooperação entre casais, quando em sincronia harmoniosa, evita ou reduz a ação dos parasitos de ninhos. Portanto, características biológicas da espécie hospedeira tais como idade, tamanho corporal dos indivíduos e estratégia reprodutiva do casal (monogamia), são fatores diretamente relacionados ao sucesso das espécies parasitas de cria. Além dos fatores supracitados, a habilidade de defender o ninho contra os

parasitos de crias depende das habilidades competitivas. A redução no intervalo de tempo entre a postura dos ovos da espécie hospedeira minimiza a chance de a fêmea parasita introduzir o seu ovo no ninho-alvo. A identificação do ovo do parasito pode levar a fêmea hospedeira a expressar comportamentos defensivos mais eficazes tais como a expulsão.

O parasitismo intraespecífico pode envolver espécies cujo macho é o responsável pelo cuidado da cria. Nesse caso, ele acasala com a primeira fêmea que coloca os ovos no seu ninho e, posteriormente, aceita os ovos de uma segunda fêmea em troca de acasalamento. Os ovos da segunda fêmea podem ter sido fecundados previamente por outro macho. Assim sendo, o macho que está cuidando dos ovos se torna um hospedeiro.

As espécies hospedeira podem expulsar os seus próprios ovos se julgar que os ovos da espécie parasita são mais vigorosos. Esse tipo de comportamento é mais facilmente verificável quando ocorre o parasitismo intra-específico. Assim, a espécie é favorecida como todo, uma vez que os ovos mais vigorosos serão chocados e possivelmente os filhotes mais bem-dotados serão os componentes da próxima geração.

As fêmeas hospedeiras que não aceitam os ovos podem sofrer represálias por parte da espécie parasita. Essas podem expulsar ou quebrar os ovos da espécie hospedeira ou até mesmo destruir o ninho. O comportamento de represália das fêmeas parasitas pode ser inadvertidamente confundido como predação.

As fêmeas hospedeiras podem abandonar ou destruir o ninho parasitado. Nesse caso o custo de reconstruir um novo ninho e colocar mais ovos pode ser menor do que cuidar de um ou mais *filhotes estrangeiros*. Muitas vezes essas fêmeas não conseguem se reproduzir na mesma temporada, mas agindo desta forma terão economizado energia para a próxima temporada de procriação.

Entretanto, as vantagens do parasitismo intraespecífico podem ser maiores que a ausência deste se as fêmeas hospedeiras aceitarem os filhotes introduzidos e não tiverem prejuízo no cuidado com sua prole e não for afetada ao ponto de ter sua próxima procriação afetada.

O valor adaptativo do parasitismo de cria intraespecífico tem sido alvo de calorosos debates. Esse tipo de parasitismo pode ser acidental quando os locais de nidificação são escassos. Experimentos utilizando ninhos artificiais

adjacentes para estudar a espécie *Bucephala clangula* (golden eyes – olhos dourados) revelaram que o comportamento das fêmeas é uma direta consequência da limitação de locais apropriados à nidificação.

4. MODELOS DE PARASITISMO DE CRIA

Parasitismo de cria tem sido encontrado em aves, peixes, insetos e aranhas. Em anfíbios a ocorrência desse tipo de parasitismo é questionável. Por exemplo, Reid N. Harris e colaboradores, em 1995 estudaram a salamandra da espécie *Hemidactylium scutatum*. Os autores verificaram que nesse grupo taxonômico existe uma cooperação no cuidado dos ninhos (construção e cuidado de ninhos em associação) situação que está longe de ser um comportamento de usurpar a energia de outro indivíduo para realizar a vigília e a alimentação das proles.

Existem claras diferenças entre a construção e o cuidado de ninhos associados, onde todos os membros desempenham funções específicas para o sucesso das proles e o parasitismo de cria que claramente envolve a

deserção do genitor parasito. A seguir, serão relatados vários casos de parasitismo de cria em aves, peixes e insetos.

4.1 - PARASITOS DE CRIA EM AVES

A expressão de parasitismo de cria do tipo obrigatório e interespecífico (entre espécies diferentes) ocorre em pelo menos 100 espécies de aves, respectivamente nas ordens Cuculiformes, Piciformes, Passeriformes e Anseriformes. Esse número é inexpressivo se considerarmos a quantidade de espécies de aves existentes (cerca de 10 mil) e as vantagens energéticas imbutidas nesse tipo de parasitismo.

Em espécies que são alvo de parasitismo de cuco da espécie *Clamator glandarius*, que ocorre na Europa, observou-se que as variações nas cores dos ovos foram maiores dentre posturas subsequentes do que entre os ovos da mesma postura. Essa é uma estratégia expressa pelas fêmeas das espécies hospedeiras da *Pica pica*, que reduz a ação do cuco, pois dificulta o mimetismo (cópia do padrão de cor), tendo em vista que os diferentes indivíduos de uma população estarão expressando uma variedade de cores

que dificilmente será seguida pela espécie parasita. As espécies hospedeiras que não expressam tal variação na coloração dos ovos, são mais facilmente mimetizáveis pela espécie parasitas.

Outra habilidade relevante no combate ao parasitismo de cria é a capacidade de reconhecer a sua própria cria. Tal comportamento foi descrito para as espécies de tentilhão-comum *Fringilla coelebs* (LINNAEUS, 1758), e tentilhão-montês *Fringilla montifringilla* (LINNAEUS, 1758) que engendram formas afetivas de discriminar os ovos de cuco *Cuculus eanorus* como também rejeitar os ovos de indivíduos da própria espécie. Tal capacidade de discriminação assegura uma fidelidade em relação aos próprios ovos e favorece a manutenção de estratégias reprodutivas tais como determinação de número e tamanho dos ovos por ninhadas e tempo dispendido no cuidado com a prole durante o seu desenvolvimento. Esse comportamento, reduz tanto o parasitismo intraespecífico como o interespecífico.

Experimentos realizados com o mareco de olhos dourados da espécie *Bucephala clangula* (LINNAEUS, 1758) demonstraram que as fêmeas parasita são menos cuidadosas com seus ovos, depositando pouca cobertura vegetal após a postura; comportamento este diferente daquele expreso pelas fêmeas hospedeiras que expressaram mais cuidado com os ovos postos.

Adicionalmente, as fêmeas hospedeiras permanecem por mais tempo no ninho após a postura dos ovos enquanto que as fêmeas parasitas deixam os ninhos assim que colocam seus ovos.

Parasitismo intraespecífico também é observado em gansos de espécie *Anser indicus* (LATHAM, 1790), que passam o inverno nas áreas baixas do sudeste asiático e se reproduzem nas áreas próximas a lagos e rios nos altos ao norte do Himalaia. Essa espécie tende a nidificar em colônias em pequenos sítios com ninhos espaçados em cerca de um metro uns dos outros. Geralmente, encontra-se de quatro a cinco ovos por ninho, podendo chegar a até 10 ovos. Em colônias mais adensadas é possível observar ovos espalhados fora do ninho.

Experimentos conduzidos por pesquisadores na área experimental do Instituto Max-Planck (Alemanhã), entre março e maio de 1988, foram realizados para analisar o padrão de ocupação de gansos fêmeas *Anser indicus*, em 40 ninhos artificiais (caixas) ancorados dentro de um lago. No total, eram 37 pares de gansos mais cinco machos e 17 fêmeas extras (não pareados). Todas as fêmeas estavam com mais de dois anos estando aptas a se reproduzir.

Os resultados deste estudo demonstraram que as fêmeas mais bem-dotadas (posicionadas no topo da escala artificial em relação as características comportamentais – padrão de agressão) foram mais assediadas pelas fêmeas parasitas de cria. O sucesso de incubação e nascimentos dos filhotes parasitos variou entre 5 e 6 %. Para as fêmeas possuidoras de ninhos que não foram parasitadas, o sucesso da nidificação atingiu 67% dos casos. Fêmeas parasitadas tiveram um sucesso de somente de 29%. Esse estudo demonstrou o custo do parasitismo para a espécie em questão.

3.2 PARASITISMO DE CRIA EM INSETOS

Embora o parasitismo de cria em pássaros e outras espécies seja diferente do parasitismo social expresso por insetos, ambos envolvem a dispensa do cuidado da cria e, portanto, podem ser tratados de modo comparativo.

Existem mais de 200 espécies do gênero de vespa que é denominado *Poliste*. O gênero apresenta uma distribuição cosmopolita, é mais encontrado em regiões tropicais e temperadas. Três espécies dessas vespas que

ocorrem ao longo da costa do Mar Mediterrâneo foram estudadas e os seus padrões de parasitismo social foram descritos. As espécies parasitas são *P. sulcifer*, *P. atrimandibulares* e *P. semenowi*. Cinco espécies de *Polistes* que são as hospedeiras: *P. dominutos*, *P. nimphus*, *P. gallicus*, *P. biglumis* e *P. associus*. A espécie *P. atrimandibulares* é a mais generalista quanto ao parasitismo e ataca todas as cinco espécies hospedeiras. Por outro lado, *P. sulcifer* parasita somente *P. dominutos* e *P. semenowi* parasita tanto *P. dominutos* como *P. nimphus*.

As três espécies de vespa parasitas têm características morfológicas que lhes conferem robustez e habilidades para invadir o ninho das espécies hospedeiras, sendo que *P. atrimandibulares* é menos agressiva que *P. sulcifer*, e *P. semenowi*. A relação dessas espécies com a rainha da colônia hospedeira também difere. Enquanto *P. sulcifer* expulsa ou elimina imediatamente a rainha da colônia hospedeira, as outras duas espécies de parasitas sociais convivem com a rainha por certo tempo.

A distribuição de abelhas cuco na Europa é bem conhecida. Naquele continente, 25% das espécies de abelhas são parasitas de ninho. Fêmeas de abelhas cuco européias *Sphecodes ephippius* (LINNAEUS, 1767) e *Sphecodes monilicornis* (KIRBY, 1802) depositam os seus ovos em ninhos de

outras espécies de abelhas. As larvas das abelhas cuco irão se alimentar do pólen fornecido pela espécie hospedeira ou mesmo das suas larvas. Em muitas espécies de abelha cuco, a primeira fase da larva expressa uma pinça alongada que é utilizada para destruir os ovos ou as larvas da espécie hospedeira.

A abelha da espécie *S. ephippius* parasita outras nove espécies de abelhas pertencentes aos três gêneros *Andrena*, *Halictus* e *Lasioglossum*, sendo três espécies de cada. Por outro lado, o parasitismo praticado pela abelha *S. monilicornis* se concentra no gênero *Lasioglossum* (seis das 10 espécies hospedeiras). Uma espécie do gênero *Andrena* e três do gênero *Halictus* complementam o elenco de espécies que são parasitadas por *L. monilicornis*.

Pelos menos sete tipos de comportamentos são expressos pelas espécies de abelha cuco *S. ephippius* e *S. monilicornis* para realizar a busca de ninhos e fazer a ovoposição dos ovos. Os três comportamentos mais expressos pelas duas espécies de abelhas cuco são: as espécies parasitas entram no ninho da espécie hospedeira independente da sua presença (16 casos em 19 possibilidades); a espécie hospedeira defende o ninho (seis

casos em 19 possibilidades); ocorre confronto entre as espécies (cinco casos em 19 possibilidades).

3.3 PARASITISMO DE CRIA EM PEIXE

O exemplo mais célebre de parasitismo de cria em peixes é do bagre da espécie *Synodontis multipunctatus* (BOULENGER, 1898), que através de percepção visual e química dos machos e fêmeas, consegue ovular e espermear nas proximidades da boca de diferentes espécies de ciclídeos para serem incubados por este. Os ciclídeos ovulam e espemeiam na água. Os machos de ciclídeos coletam os ovos e os encubam na boca. Nesse caso, os ciclídeos coletam os seus ovos e os ovos dos bagres. As espécies hospedeiras que mais se envolvem nessa relação são os ciclídeos *Ctenochromis horei* (GÜNTHER, 1894) e *Simochromis babaulti* (PELLEGRIN, 1927).

A espécie de bagre em questão é endêmica do lago Tanganica, localizado na África Oriental. Esse é o segundo maior lago de África, sendo

partilhado com Tanzânia, República Democrática do Congo Burundi e Zâmbia.

O mais interessante nesse tipo de parasitismo de cria é que poucos dias depois de os ovos de *S. multipunctatus* eclodirem, suas larvas se alimentam de um dos ovos da espécie hospedeira (ciclídeos). Deste modo, a forma adulta do bagre é um parasito de cria das fêmeas de ciclídeo e a forma larvar é um predador dos ovos do mesmo ciclídeo.

Embora *S. multipunctatus* seja uma espécie endêmica do lago Tanganica, em condições de laboratório essa espécie parasita ciclídeos de outras espécies oriundas de outros ambientes e até mesmo a espécie de acará *Geophagus steindachneri* (EIGENMANN e HILDERBRAND, 1922) um ciclídeo que habita ambientes lacustres e fluviais da América do Sul.

A espécie tuvira (ou peixe faca de vidro), *Eigenmannia virescens* (HAGEDORN e HEILIGENBERG, 1985) cria ao seu redor um campo elétrico de baixa intensidade. Esse campo elétrico é utilizado para obtenção de presas, defesa contra predadores, comunicação entre os indivíduos e delimitação de território e ninho. Os ninhos são formados por vegetação

flutuante e defendidos pelas fêmeas, evitando a aproximação de outras fêmeas.

Depois de um longo ritual de corte envolvendo descargas elétricas e comunicação acústica, a fêmea e o macho se alternam na ovulação e espermição. Enquanto a fêmea territorialista ovula, outras fêmeas da mesma espécie inibem o seu próprio campo elétrico, se metem na vegetação (ninho) e também liberam ovos. As fêmeas territorialistas gastam energia cuidando, defendendo uma área que está na verdade sendo compartilhada por outras. Assim, essa fêmea gasta energia que poderia ser utilizada na próxima reprodução.

Carpas da espécie *Acheilognathus tabira* (JORDAN e THOMPSON, 1914) habitam ambientes de água doce no Japão e são parasitos obrigatórios de moluscos das famílias Unionidae e Margaritiferidae. Mais especificamente, as fêmeas estendem seu longo ovipositor na cavidade do manto do mexilhão e os depósitos de seus ovos entre os filamentos branquiais. Os machos se aproximam imediatamente e espermeia na corrente que direciona os espermatozoides para dentro do molusco e assim os ovócitos são fertilizados. O tamanho dos ovos da carpa varia de acordo com o tamanho da câmara braquial da espécie de molusco coexistente. As espécies de carpa que

utilizam esta estratégia reprodutiva podem ter um hospedeiro específico ou ser generalistas e explorarem diferentes espécie de molusco para realizar a incubação dos ovos. Os ovos da carpa eclodem entre três e quatro semanas e as larvas nadam para longe do molusco hospedeiro.

Machos-satélites (menores e/ou mais jovens) podem burlar as estratégias que asseguram a paternidade fazendo se passar por fêmeas e assim atribuir ao macho que construiu o ninho a responsabilidade de cuidar de de ovos que não foram fertilizados por eles. Esse fenômeno é observado em peixes machos de espécies do gênero *Gasterosteus* (LINNAEUS, 1758). O esgana-gata macho exibe o ventre vermelho e cores azuladas, esverdeadas e prateadas no dorso durante o período reprodutivo, época que usa para sinalizar e atrair fêmeas para o ninho que construiu, e comporta-se agressivamente contra outros machos que tentam invadir e ocupar o seu território. Os machos constroem um ninho e estimulam uma ou mais fêmeas a desovar no interior destes através de "dança em zigue-zague", e, posteriormente, montam guarda cuidando dos ovos até a eclosão dos filhotes.

Apesar de o peixe engasga-gata exibir um acentuado dimorfismo sexual, os jovens não apresentam características sexuais masculinas tão exuberantes. Fazendo-se valer deste fato, os machos jovens fingem depositar

ovos em ninhos construídos por machos dominantes (geralmente mais velhos e com escamas mais coloridas no abdômen). Na verdade, os machos que fingem ser fêmeas (imitando a dança da postura de ovos) parasitam os ninhos do macho dominante, depositando mais espermatozoides nos óvulos da fêmea que acabou de depositá-los no ninho.

Em rios da região oeste do Japão, o peixe ciprinídeo *Pungtungia herzi* (HERZENSTEIN, 1892) deposita seus ovos no ninho em percas da espécie *Siniperca kawamebari* (TEMMINCK e SCHLEGEL, 1842) e desfrutam do cuidado paternal desta. A espécie parasita prefere depositar os ovos nos ninhos com maior número de ovos e nos primeiros períodos (início) do cuidado parental desempenhado pelos machos da espécie hospedeira. Os ovos da espécie parasita eclodem antes dos ovos da espécie hospedeira, estando sob os cuidados do macho de perca contra a ação de predadores, pois os machos de perca deixam o ninho assim que os ovos desaparecem.

Os machos de perca não expressão nenhuma estratégia contra os parasitos de ninho. Entretanto, as fêmeas da perca produzem menos óvulos durante o período de parasitismo e evitam ovopositar em ninhos com grande número de ovos. Estas estratégias reduzem a ação do parasitismo de ninho, uma vez que *P. herzi* prefere os ninhos com maior abundância de ovos.

As fêmeas e os machos do bagre *Bagrus meridionalis* (GÜNTHER, 1894) são um peixe que expressa cuidado biparental da prole, após depositar os ovulos e os espermatozóides em substratos no lago Malawi, localizado no Vale do Rift, na África. As fêmeas do bagre alimentam os juvenis recém-eclodidos com óvulos que não foram fertilizados enquanto que os machos coletam microinvertebrados que habitam o fundo areno, carregando-os na boca e os libera pelas branquias próximos aos filhotes, alimentando-os. Os filhotes desse bagre nadam próximos ao ventre da mãe ou próximos às branquias do pai. O bagre *Bathyclarias nyasensis* (WORTHINGTON, 1933) parasita o ninho de *Bagrus meridionalis*. Os ovos da espécie parasita eclodem antes dos ovos do hospedeiro. Os jovens recém-eclodidos se alimentam dos ovos do bagre hospedeiro, aumentando assim o seu sucesso reprodutivo.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHENBACH, A. *Coevolution in the slavemaking ant *Protomognathus americanus* and its *Temnothorax* host species: influence of parasite pressure, behavioral adaptations and patterns of gene flow*. Dissertation der Fakultät für Biologie der Ludwig-Maximilians-Universität München. 119p., 2009.

AHLUND, M. Behavioural tactics at nest visits differ between parasites and hosts in a brood-parasitic duck. *Animal Behaviour*, v. 70, p. 433-440, 2004.

AVILE´ S, J. M. Rejection of parasitic eggs in relation to egg appearance in magpies. *Animal Behaviour*, v. 67, p. 951-958, 2004.

BABA, R. Timing of spawning and host-nest choice for brood parasitism by the japanese minnow, *Pungtungia herzi*, on the japanese aucha perch, *Siniperca kawamebari*. *Ethology*, v. 98, p. 50-59, 1994.

BABA, R.; KARINO, K. Countertactics of the japanese aucha perch *Siniperca kawamebari* against brood parasitism by the japanese minnow *Pungtungia herzi*. *Journal of Ethology*, v. 16, p. 67-72. 1998.

BOGUSCH, P.; KRATOCHVÍL, L.; STRAKA, J. Generalist cuckoo bees (Hymenoptera: Apoidea: Sphecodes) are species-specialist at the individual level. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, v. 60, p. 422-429, 2006.

BOULTON, A. M.; POLIS, G. A. Brood parasitism among spiders: interactions between salticids and *Diguetia mojavea*. *Ecology*, v. 83, p. 282-287, 2002.

BROOD PARASITE. Disponível em:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Brood_parasite> Acesso em: 06 março de 2013.

GÁLVES, D. M. 2005. *Defensas y contradefensas em el parasitismo de cria en aves: reconhecimento de huevos y comportamiento petitorio*. Tese de Doutorado. Editora de La Universidad de Granada, Almería, Espanha.

GIORA, J.; FIALHO, B. C. Reproductive biology of weakly electric fish *Eigenmannia trilineata* López and Castello, 1966 (Teleostei, Sternopygidae). Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 52, p. 617-628, 2009.

HARRIS, R. N. et al. An experimental analysis of joint nesting in the salamander *Hemidactylium scutatum* (Caudata: Plethodontidae): the effects of population density. Animal Behaviour, v. 50, p.1309-1316. 1995.

HLUND, M. Behavioural tactics at nest visits differ between parasites and hosts in a brood-parasitic duck. Animal Behaviour, v. 70, 433–440, 2005.

KITAMURA, J. et al. Divergence of ovipositor length and egg shape in a brood parasitic bitterling fish through the use of different mussel hosts. *Journal of Evolutionary Biology*, v. 25, p. 566–573, 2012.

LYON, B. E.; EADIE, J. M. Family matters: kin selection and the evolution of conspecific brood parasitism. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 97, p. 12942–12944, 2000.

MOKSNES, A. Egg recognition in chaffinches and bramblings. *Animal Behaviour*, v. 44, p. 993-995, 1992.

PARASITISMO DE PUESTA. Disponível em:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Parasitismo_de_puesta> Acesso em: 06 mar.
2013

PETRIE, M.; MPRIER, A. P. Laying Eggs in Others' Nests: Intraspecific Brood Parasitism in Birds. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 6, p. 315-320, 1991.

RUXTON, G. D.; BROOM, M. 2002. Intraspecific brood parasitism can increase the number of eggs that an individual lays in its own nest. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences*, v. 269, p. 1989–1992, 2002.

SATO, T. A brood parasitic catfish of mouthbrooding cichlids fishes in lake Tanganyika. *Nature*, v. 323, p. 58-59, 1986.

STAUFFER, J. R.; LOFTUS, W. F. Brood parasitism of a bagrid catfish (*Bagrus meridionalis*) by a clariid catfish (*Bathyclarias nyasensis*) in Lake Malawi. *Copeia*, v. 2010, p. 71-74, 2010.

STACEY, P. B.; LIGON, J. D. The benefits of philopatry hypothesis for the evolution of cooperative breeding: variation in territory quality and group size effects. *American Naturalist*, v. 137, p.831-846, 1991.

STODDARD, M. C.; KILNER, R. M. The past, present and future of 'cuckoos versus reed warblers'. *Animal Behaviour*, v. 85, 693-699, 2013.

TABORSKY, M. Sneakers, satellites and helpers: parasitic and cooperative behavior in fish reproduction. *Advanced Study of Behaviour*, v. 23, p.1–100. 1994.

WEIGMANN, C.; LAMPRECHT, J. Intraspecific nest parasitism in bar-headed geese, *Anser indicus*. *Animal Behaviour*, v. 41, p. 677-688, 1991.

COMO PEIXES SOBREVIVEM ÀS ÁGUAS CONGELANTES?

Neuza Rejane Wille Lima¹

1 - Laboratório de Ecologia Animal e Vegetal
Instituto de Biologia/UFF

1- SOBREVIVÊNCIA NO GELO

Há algumas espécies de insetos do Ártico, que sobrevivem com partes dos seus corpos congelados durante 10 meses do ano em temperaturas abaixo de 50°C. Entre outros invertebrados que habitam a região entre marés

de áreas polares, como cracas e mexilhões, o corpo pode congelar e descongelar duas vezes ao dia, de acordo com a maré alta ou baixa.

Entre os vertebrados, as espécies de rãs, *Rana sylvatica*, *Hyla crucifer*, *Hyla versicolor* e *Pseudacris triseriata*, podem sobreviver com cerca de 65% de sua água corporal convertida em gelo durante semanas. A salamandra da Sibéria denominada, *Hynobius keyserlingia* é a única espécie de anfíbio hibernante da tundra que sobrevive à temperatura de -35°C . Algumas espécies de tartarugas e serpentes que habitam as regiões frias também têm seus fluidos de certas partes do corpo congelados durante o inverno. Porém por que os peixes do gelo não congelam?

2- BREVE HISTÓRIA DOS PEIXES DO GELO

Foi em 1928, na Ilha de Bouvet, uma possessão norueguesa localizada na extremidade sul do Oceano Atlântico na Antártica que é uma área considerada como sendo o local mais isolado e desabitado do planeta, que o biólogo Ditlef Rustand coletou o primeiro exemplar do peixe do gelo até então desconhecido pelos pesquisadores.

Esse peixe foi nomeado com nome vulgar “peixe crocodilo branco” por apresentar uma mandíbula pronunciada no formato que lembra o focinho de um crocodilo, além disso ele apresenta olhos grandes e partes do corpo branco em certas áreas e transparente em outras, incluindo as brânquias que são normalmente vermelhas nos demais peixes. Quando Ditlef Rustand cortou esse peixe ele descobriu que o seu sangue era transparente. O seu coração era grande apresenta uma coloração da cor do salmão. Esse peixe apresentava escamas e conseguia absorver o oxigênio através do corpo.

Atualmente, esse animal é chamado de peixe do gelo da Antártica e, juntamente, com 17 espécies distribuídas em 14 gêneros que compõem as oito famílias Channichthyidae da subordem Notothenioidei, pertencentes à a ordem Periforme.

Esses peixes são conhecidos por produzem proteínas anti-congelantes, que impedem a formação de cristais de gelo no sangue e nos seus tecidos. Sem essas proteínas os peixes congelariam uma vez que eles habitam águas marinhas com temperaturas variando entre -1 to 4°C .

Todos os peixes do gelo não possuem hemoglobina no sangue e, portanto, não possuem mecanismo efetivo de transporte de oxigênio. A ausência de células vermelhas no sangue nesses peixes é uma exceção entre os vertebrados até então conhecidos. Isto significa dizer que os peixes do gelo não possuem hemácias (eritrócitos ou ainda glóbulos vermelhos) que são as células que possuem moléculas denominadas hemoglobinas. Essas moléculas são metaloproteínas que contêm ferro que é responsável pela captura e transporte do oxigênio.

As moléculas de oxigênio presentes em altas concentrações nas águas frias são difundidas pelo plasma sanguíneo que estão baixas concentrações. Para compensar esse déficit de O_2 os peixes do gelo possuem uma maior quantidade de vasos sanguíneos, um coração com porte maior do que seria esperado e realizam trocas gasosas através das nadadeiras caudais.

As brânquias dos peixes do gelo são moles e, portanto, muito flexíveis, e esbranquiçadas.

O cenário evolutivo do planeta no período entre 55 a 34 milhões de anos atrás deve ter sido o palco da história evolutiva dos peixes do gelo. No início desse período denominado Eoceno pouco ou nenhum gelo estava

presente na terra com uma menor diferença de temperatura entre o equador dos pólos.

Na transição Eoceno-Oligoceno em 34 milhões de anos atrás o gelo começou a reaparecer nos Polos. Foi nesse período de tempo em que o manto de gelo antártico começou a sua expansão começou a se expandir rapidamente com perda da corrente de água morna durante a separação continental entre a Austrália e Antártica e formação do círculo polar do hemisfério sul. Porém somente durante os últimos 5 a 4 milhões de anos as águas passaram a ter as baixas temperaturas. Devido à influência das correntes marítimas, as zonas costeiras apresentam temperaturas mais amenas, com uma média anual de -10°C , atingindo valores entre 10°C no verão e -40°C no inverno.

3 - O QUE SÃO AS PROTEÍNAS ANTI-CONGELANTES?

As proteínas anti-congelantes ou crioprotetoras produzidas por esses peixes são glicoproteínas ou peptídeos de peso molecular de 2400–36000 que se ligam aos cristais de gelo e impedem que eles se formem.

Glicoproteínas são proteínas que têm um ou mais açúcares ligados que nada mais são que cadeias também conhecidos como glicanos, que estão ligados à cadeia de polipeptídeo (conjunto de aminoácidos) por ligação covalente (ligação química caracterizada pelo compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre átomos, causando uma atração mútua entre eles, que mantêm a molécula resultante unida).

Existem pelo menos 8 moléculas crioprotetoras que foram identificadas e quase todos os peixes antárticos possui pelo menos um tipo destas moléculas. Um **crioprotetor** é uma substância que é usada para proteger tecido biológico de danos de congelamento.

Sabe-se que espécies de peixes e também insetos, anfíbios e répteis criam crioprotectores nos seus corpos para minimizar os danos de congelamento durante os períodos frios do inverno.

Os insetos lançam mão de açúcares como crioprotectores. Os sapos do usam a glicose e as salamandras produzem o glicerol no fígado para uso como crioprotector.

Por exemplo, peixe da espécie *Pagothenia borchgrevinki* que se distribuem no Oceano Antártico são protegidos por glicoproteínas e peptídeos que abaixam o ponto de congelamento de seu sangue, abaixo do ponto de congelamento da água do mar evitando, assim, o congelamento do seu sangue. Essas proteínas são sintetizadas no fígado, secretados para o sangue e distribuídos para o corpo, onde vão evitar o congelamento pela inibição do crescimento de cristais de gelo. Esses peixes possuem gelo nos seus tecidos externos (tegumento, brânquias) enquanto os tecidos internos estão livres de gelo.

4 - CONSIDERTAÇÕES FINAIS

A história dos peixes do gelo envolve perdas, modificações e inovações genéticas que estão refletidas em suas moléculas e estruturas morfológicas que explicam como ocorreu a adaptação de um grupo de peixes a um habiente extremo para a vida de vertebrados. Porém condições limitantes estão em toda parte e nelas podem se encontrar diversas estratégias e adaptações de seres vivos para sobreviver e se reproduzir. Nos inúmeros cenários, verifica-se ambientes extremamente ácidos como nosso estômago,

extremamente quentes como os desertos e os vulcões, extremamente radiativos onde ocorre minas de urânio, extremamente anôxidos como em ambientes pantanosos e extremamente frio como nos fundos marinhos e polos onde habitam os peixes do gelo e equinodermas como a estrela do mar alaranjados e o pepinos do mar, entre outros.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burton, A. And their blood ran cold. *Frontiers in Ecology and the Environment*. v.:12,pg:368 -368, 2014.

Hans O. Pörtner, H. O., Lloyd Peck, L. & Somero, G. Thermal limits and adaptation in marine Antarctic ectotherms: an integrative view. *Philosophical Transactions of the Royal Society. B*, 362, 2233–2258, 2007

Karl-Hermann Kock. Antarctic icefishes (Channichthyidae): a unique family of fishes. A review, Part I *Polar Biology*, 28: 862–895. 2005.

Kristiansen, E., Zachariassen, K. E. The mechanism by which fish antifreeze proteins cause thermal hysteresis. *Cryobiology* 51, 262–280, 2005

Kristiansen, E. H. Ramløv, H. P., Højrup, P., Pedersen, S. A., Hagen, L., Zachariassen, K. E.. Structural characteristics of a novel antifreeze protein from the longhorn beetle *Rhagium inquisitor*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 41, 109e117, 2011.

Macqueen, D. J., De la Serrana, D. G. & Johnston, I. A. Cardiac myoglobin deficit has evolved repeatedly in teleost fishes. *Biological. Letters*, 10: 20140225, 2014.

Prisco, G., Eastman J. T., Giordano, D., Parisi. E.& Verde, C. Biogeography and adaptation of Notothenioid fish: Hemoglobin function and globin–gene evolution. *Gene* 398:143–155, 2007.

Ao buscar na internet o termo “Biologia ao Extremo” nos deparamos com dois blogs que tratam de temas considerados exóticos na área biológica como venenos e a identificação de estruturas morfológicas de características dúbias que podem confundir o observador.

Entretanto, o proposto do nosso livro é mostrar que não existe Biologia ao extremo e SIM Quase ao Extremo, pois tudo é possível no planeta em que vivemos. Nosso planeta tem 4540 milhões de anos e estima-se que ele abrigue cerca de 8,7 milhões de espécies das quais somente 1,3 milhões já foram descritas e catalogadas pelos taxonomistas.

Estima-se também que 86% de espécies que habitam as áreas continentais, montanhas, vales, florestas, savanas, rios, lagos, entre outros) e 89% de áreas marinhas ainda não forma descritas e/ou descobertas. Em que condições ambientais e as espécies vivem e sobrevivem? Que relações entre elas e com o ambiente são necessárias para sua sobrevivência. O que é padrão e o que é exceção para a vida? É dentro desse contexto que pensamos e elaboramos este livro que traz alguns poucos dos muitos aspectos que limitam e possibilitam a vida em nosso planeta nas condições atuais de clima e geomorfologia

