UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA

NATÁLIA ABDALLA MARTINS

**George Newport (1803 - 1854) e os estudos sobre reprodução animal: uma
aplicação de história da biologia em sala de aula**

São Paulo
2020

NATÁLIA ABDALLA MARTINS

George Newport (1803 - 1854) e os estudos sobre reprodução animal: uma aplicação de história da biologia em sala de aula

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-graduação)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências

Área de Concentração: Ensino de Biologia

Orientadora: Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Martins, Natália Abdalla

George Newport (1803 – 1854) e os estudos sobre reprodução animal: uma aplicação de história da biologia em sala de aula. São Paulo, 2020.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências

Orientador: Profa. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes

Área de Concentração: Ensino de Biologia

Unitermos: 1. Biologia – Estudo e Ensino; 2. Educação – Estudo e Ensino; 3. História da Ciência; 4. Reprodução Animal.

USP/IF/SBI-007/2020

Nome: MARTINS, Natália Abdalla

Título: George Newport (1803 – 1854) e os estudos sobre reprodução animal: uma aplicação de história da biologia em sala de aula.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Aprovada em:

Banca examinadora:

Prof. Dra. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dra. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a toda minha família, em especial, ao meu pai Eurico; à minha mãe, Lucilia; ao meu irmão, Pedro e ao meu companheiro, Renato. Sem a confiança, a ajuda e a compreensão dessa família incrível, essa jornada teria sido quase impossível. Agradeço, também, por poder compartilhar da alegria e do amor do Steve e da Nina.

Agradeço à prof. Dra. Maria Elice Brzezinski Prestes, que na graduação já me inspirava com seus conhecimentos sobre história da ciência e agora, como minha orientadora no Mestrado, deu todo o suporte necessário para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos meus colegas do Laboratório de História da Biologia e Ensino pelas sugestões, conselhos, companhia e amizade, principalmente nos momentos mais críticos desse percurso.

Agradeço a todos os professores que passaram pela minha vida acadêmica, contribuindo de diferentes formas para que eu adquirisse o conhecimento necessário para a realização deste trabalho.

Agradeço, também, à gestão da EMEF Prof^a. Nilce Cruz Figueiredo pela compreensão e apoio no desenvolvimento desta pesquisa e aos meus queridos alunos, que fazem eu ter certeza, todos os dias, de que escolhi a área certa de atuação.

Agradeço, enfim, aos meus queridos amigos de escola e profissão, que me acompanharam ao longo dessa trajetória, sempre acreditando em mim: Bruna, Davi, Priscila, Tati Treta e Yohanna.

RESUMO

MARTINS, Natália Abdalla. **George Newport (1803 - 1854) e os estudos sobre reprodução animal: uma aplicação de história da biologia em sala de aula.** 2020. 220 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Esta dissertação envolveu pesquisa integrada em duas áreas de conhecimento: história da ciência e em ensino de ciências. A pesquisa em história da ciência teve como objetivo discutir como as investigações do pesquisador Inglês George Newport (1803-1854) com anfíbios se inserem no contexto de investigações sobre reprodução animal que vinham sendo realizadas desde o século XVII. O estudo foi feito com base na análise diacrônica de fontes primárias de Newport e de fontes secundárias que abordaram investigações anteriores e contemporâneas, de modo a auxiliarem na compreensão do contexto científico e filosófico da época. Os resultados da pesquisa histórica foram então objeto de análise com o objetivo de oferecer uma proposta sobre como as pesquisas de Newport podem contribuir com o processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos atuais relacionados à reprodução animal, bem como com o desenvolvimento de concepções fundamentadas sobre aspectos de natureza da ciência (NdC). A coordenação entre as duas pesquisas levou à produção de uma sequência didática (SD) para alunos dos anos finais do ensino fundamental construída com abordagem do Ensino por Investigação (EI), que foi submetida a um procedimento de validação. A pesquisa histórica mostrou que George Newport foi um pesquisador bastante reconhecido em sua época por ter ajudado a elucidar questões sobre a reprodução animal investigadas nos últimos dois séculos. Newport corroborou, por meio de seus estudos, as conclusões obtidas anos antes por Jean-Louis Prévost (1790-1850) e Jean-Baptiste Dumas (1800-1884), de que os espermatozoides são a parte do sêmen que fecunda os óvulos e confirmou observações realizadas por pesquisadores contemporâneos de que os espermatozoides penetram no óvulo durante a fecundação. Apesar de não compreender exatamente os mecanismos envolvidos na fecundação e acreditar que esta ocorre pela penetração de vários espermatozoides em um óvulo, Newport propôs que a fecundação envolve tanto processos físicos, quanto químicos, o que não era comum entre os pesquisadores de sua época. Após a análise diacrônica da pesquisa de Newport, foi escolhido

trabalhar, na SD, com seus experimentos de filtração do sêmen realizados em 1851 e que, sem que Newport inicialmente soubesse, haviam sido executados em 1785, por Lazzaro Spallanzani (1729–1799), e em 1824, por Prévost e Dumas. Os objetivos da SD são os de favorecer o processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos, como óvulo, espermatozoide, sêmen e fecundação, e de aspectos de NdC, como a tentatividade, a subjetividade e o papel da criatividade na ciência. O episódio histórico investigado constitui uma contribuição original para a história da biologia, contribuindo com a compreensão do desenvolvimento dos estudos sobre reprodução animal, além de fomentar reflexões e discussões sobre como a ciência é feita. Uma aplicação exploratória da SD ofereceu evidências preliminares de seu potencial para o ensino de reprodução. A SD também serviu de exemplo concreto da contribuição que um episódio da história da ciência, a partir de uma abordagem investigativa e contextualizada, pode oferecer a alunos do ensino fundamental, justificando a inclusão de disciplina que aborde a história e filosofia da ciência nos cursos de formação de professores.

Palavras-chave: Reprodução animal. George Newport. História da ciência. Ensino de biologia. Sequência didática.

ABSTRACT

MARTINS, Natália Abdalla. **George Newport (1803 - 1854) and the studies on animal reproduction: an application of history of biology in the classroom.** 2020. 220 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

This dissertation involved integrated research in two areas of knowledge: history of science and science teaching. The research in history of science aimed to discuss how the investigations of the English researcher George Newport (1803-1854) with amphibians fit into the context of investigations on animal reproduction that had been carried out since the 17th century. The study was based on the diachronic analysis of primary sources of Newport and secondary sources that addressed previous and contemporary investigations, in order to assist in understanding the scientific and philosophical context of the time. The results of the historical research were then analyzed with the aim of offering a proposal on how Newport's research can contribute to the teaching and learning of current scientific concepts related to animal reproduction, as well as to the development of informed conceptions on nature of science. The coordination between the two surveys led to the production of a teaching-learning sequence for students of the final years of elementary school, based on the inquiry teaching approach, which was subjected to a validation procedure. The historical research has shown that George Newport was a widely recognized researcher in his day for helping to elucidate issues about animal reproduction investigated over the past two centuries. Newport corroborated, through his studies, the conclusions obtained years earlier by Jean-Louis Prévost (1790-1850) and Jean-Baptiste Dumas (1800-1884), that sperm is the part of the semen that fertilizes the eggs and confirmed observations made by contemporary researchers that sperm penetrate the egg during fertilization. Despite not understanding exactly the mechanisms involved in fertilization and believing that it occurs by the penetration of various sperm in an egg, Newport proposed that fertilization involves both physical and chemical processes, which was not common among researchers of his time. After the diachronic analysis of Newport's research, it was chosen to work, in in the teaching-learning sequence, with his semen filtration experiments carried out in 1851

and which, without Newport's initial acknowledgement, had been carried out in 1785, by Lazzaro Spallanzani (1729–1799), and in 1824, by Prévost and Dumas. The objectives of teaching-learning sequence are to favor the process of teaching and learning scientific concepts, such as egg, sperm, semen and fertilization, and aspects of nature of science, such as tentativeness, subjectivity and the role of creativity in science. The investigated historical episode constitutes an original contribution to the history of biology, contributing to the understanding of the development of studies on animal reproduction, in addition to fostering reflections and discussions on how science is done. An exploratory application of the teaching-learning sequence offered preliminary evidence of its potential for teaching reproduction. The teaching-learning sequence also served as a concrete example of the contribution that an episode of the history of science, from an investigative and contextualized approach, can offer to elementary school students, justifying the inclusion of a discipline that addresses the history and philosophy of science in teacher training courses.

Key words: Animal reproduction. George Newport. History of science. Biology teaching. Teaching-Learning Sequence.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA HISTÓRICA.....	24
2.1. A escolha do tema investigado	24
2.2. Metodologia de pesquisa e elaboração dos textos históricos	25
2.3. Levantamento e obtenção das fontes primárias e secundárias	28
3. O CONTEXTO DAS INVESTIGAÇÕES SOBRE REPRODUÇÃO ANIMAL ENTRE OS SÉCULOS XVII E XIX	32
3.1. Debate entre pré-formistas e epigenistas nos séculos XVII e XVIII	36
3.1.1. <i>A filosofia mecanicista dos séculos XVII e XVIII.....</i>	<i>36</i>
3.1.2. <i>A influência das correntes filosóficas mecanicistas nas ideias de pré- formação e epigenismo</i>	<i>38</i>
3.1.3. <i>Animalculismo</i>	<i>40</i>
3.1.4. <i>Ovismo</i>	<i>43</i>
3.1.4.1. <i>Investigações sobre a existência de germes pré-formados nos ovos das fêmeas</i>	<i>44</i>
3.1.4.2. <i>Investigações sobre a natureza dos vermes espermáticos</i>	<i>45</i>
3.1.4.3. <i>Investigações sobre o “poder fecundante” das diferentes partes do sêmen masculino</i>	<i>46</i>
3.1.5. <i>Epigenismo</i>	<i>51</i>
3.2. Estudos sobre a natureza dos espermatozoides e os mecanismos da fecundação no século XIX	55
4. GEORGE NEWPORT (1803-1854)	65
4.1. Biografia científica de George Newport	65
4.2. Artigos sobre reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios	72
4.2.1. <i>“On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (First Series)”, 1851</i>	<i>75</i>
4.2.1.1. <i>Parte Introdutória – Motivações, Objetivos e Contexto.....</i>	<i>76</i>
4.2.1.2. <i>Aspectos gerais das investigações realizadas – Objetos de estudo e apresentação dos resultados</i>	<i>79</i>
4.2.1.3. <i>Investigações sobre o ovo.....</i>	<i>81</i>
4.2.1.4. <i>Investigações sobre a agência dos espermatozoides na impregnação....</i>	<i>88</i>

4.2.1.5. Modo de ação e agência dos espermatozoides afetadas por meios químicos e mecânicos.....	96
4.2.1.6. Recaptulação e conclusão da obra.....	105
4.2.2. “On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia. (Second Series Revised.) And on the Direct Agency of the Spermatozoon”, 1853	106
4.2.2.1. Parte Introdutória	108
4.2.2.2. Aspectos gerais das investigações realizadas.....	108
4.2.2.3. Quantidade de sêmen e local de aplicação nos ovos	110
4.2.2.4. Movimento dos espermatozoides	113
4.2.2.5. Penetração do espermatozoide durante a fecundação.....	114
4.2.3. “Researches on the Impregnation of the Ovum in the Amphibia; and on the Early Stages of Development of the Embryo (Third Series)”, 1854	117
4.3. Recaptulação das investigações sobre os espermatozoides e contribuições de Newport para o conceito atual de fecundação	121
5. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DA PESQUISA PEDAGÓGICA	129
5.1. Natureza da ciência no ensino.....	129
5.2. História da ciência no ensino	134
5.3. Ensino por investigação	137
5.4. Sequências didáticas: elaboração e validação	141
6. METODOLOGIA DA PESQUISA EMPÍRICA.....	144
6.1. O recorte do episódio histórico.....	144
6.2. Potencialidades do episódio histórico para trabalhar aspectos de natureza da ciência	146
6.3. Elaboração e validação da sequência didática	149
7. O PRODUTO FINAL: A SEQUÊNCIA DIDÁTICA “INVESTIGANDO O PAPEL DOS ESPERMATOZOIDES NA REPRODUÇÃO SEXUADA ANIMAL”	153
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	198
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	202
APÊNDICES.....	211
Apêndice A – Folha de respostas dos alunos	211
Apêndice B – Materiais e procedimentos para a demonstração dos experimentos de filtração do sêmen.....	214
ANEXOS.....	216

Anexo A – Prancha de George Newport ilustrando o sistema circulatório de um escorpião	216
Anexo B – Prancha de George Newport ilustrando a anatomia interna de rãs e os diferentes estágios de desenvolvimento de seus ovos	217
Anexo C – Formulário para analisar os elementos estruturantes da sequência didática	218
Anexo D – Formulário para analisar a presença de elementos do ensino por investigação na sequência didática.....	219

1. INTRODUÇÃO

A “geração” dos animais, ou o que hoje é chamado de reprodução animal, é um tema que sempre despertou o interesse dos estudiosos dos seres vivos. Na Antiguidade, diferentes autores, como Hipócrates, Anaxágoras, Empédocles, Demócrito, Aristóteles e Galeno, realizaram observações, e até mesmo alguns experimentos simples, na tentativa de elucidar, entre outros aspectos, o papel do macho e da fêmea na reprodução e na herança entre os seres vivos (Castañeda, 1992).

Após o surgimento do microscópio e as primeiras observações de espermatozoides no sêmen, em meados do século XVII, foram feitas diversas investigações buscando elucidar a natureza e o papel das diferentes partes do sêmen masculino (“emanações” ou “vapor”, parte líquida e “animálculos”) e do “sêmen feminino”⁴ na reprodução. Associada a essa discussão nos séculos XVII e XVIII estava a dos “sistemas”, ou seja, das teorias que procuravam explicar como novos seres vivos são formados, mais especificamente, se havia um ser pré-formado nos óvulos das fêmeas (ovismo), um ser pré-formado nos animáculos (espermatozoides) dos machos (animalculismo) ou se um novo ser vivo era formado a partir da mistura da “semente” do macho com a “semente” da fêmea (epigenismo).

No século XIX, tanto a pesquisa empírica quanto a teórica alcançaram novos patamares. O desenvolvimento das lentes acromáticas levou a uma melhoria considerável nas observações e estudos histológicos aos microscópios. A teoria celular que emergiu dos estudos de Matthias Schleiden (1804-1881) e Theodor Schwann (1810-1882), levou à elucidação da natureza celular dos óvulos e espermatozoides. Com os espermatozoides sendo considerados células e as crescentes evidências experimentais de que eles teriam um papel central na reprodução, tratava-se então de compreender o modo de ação dos espermatozoides na fecundação. Nas décadas de 1840 e 1850, alguns pesquisadores, como Martin Barry (1802-1855) e George Newport (1803-1854), relataram ter observado a presença de diversos espermatozoides “entrando” em um mesmo óvulo. Foi apenas

⁴ O termo latino “sêmen”, “semence” em francês, “semente” em português, nos séculos XVII e XVIII era definida como “uma matéria preparada pela natureza [podendo ser entendida como substância, composto ou partícula] para multiplicar as espécies” (Dictionnaire universel, p. 635).

na década de 1870, com o desenvolvimento dos corantes nucleares, que foi possível observar que, na verdade, apenas um espermatozoide penetra até a parte mais interna de cada óvulo. Nos anos seguintes, com o desenvolvimento de outras áreas de estudo, como a bioquímica, é que se seguiu um detalhamento ainda maior dos mecanismos envolvidos na fecundação.

Hoje, sabe-se que a fecundação é um processo presente em todos os seres vivos que produzem gametas e que, conseqüentemente, podem se reproduzir sexuadamente, como na maior parte dos animais, plantas, algas e fungos. No caso dos animais, a fecundação é um processo complexo, que envolve diversas etapas, diferentes processos físicos e químicos e que é influenciada pelas condições prévias dos gametas, ou seja, dos óvulos e espermatozoides. Pode-se dizer, resumidamente, que a fecundação nos animais é o processo no qual um espermatozoide penetra em um óvulo (mais precisamente, um ovócito secundário), com posterior união de seus núcleos e cromossomos, levando à formação de um zigoto diploide. Dessa forma, a fecundação é considerada uma das etapas do desenvolvimento embrionário, sendo também objeto de investigação da Embriologia (Schoenwolf, 2014).

Portanto, o que começou a ser investigado por pesquisadores interessados na geração dos animais, só alcançou a compreensão atual do fenômeno, após estudos feitos em diversas subáreas das ciências biológicas, aquelas que levaram à melhoria do microscópio, ao desenvolvimento do conceito de célula e aos conhecimentos de bioquímica e genética, entre outras. Da mesma forma, a compreensão da fecundação também contribuiu com a elucidação de questões que intrigavam pesquisadores há séculos, como a semelhança entre pais e filhos e a formação de gêmeos. É por meio da fecundação que o material genético dos pais se recombina e é transmitido para a prole. Esse processo contribui com o aumento da variabilidade genética das populações e explica, em partes, as semelhanças encontradas entre pais e filhos. O entendimento de como são formados os gêmeos univitelinos e bivitelinos também depende da prévia compreensão do processo de fecundação. Mais recentemente, os conhecimentos acerca da fecundação foram utilizados para o desenvolvimento de técnicas que têm grande impacto na vida das pessoas, como as técnicas de reprodução assistida e de diferentes métodos contraceptivos.

Diante do que foi exposto até o momento, pode-se dizer que a fecundação é um conceito central na biologia, necessário para a compreensão de questões relacionadas às áreas de genética, evolução e reprodução. Pensando mais

especificamente no ensino de ciências nas escolas, compreender a fecundação se faz necessário não apenas do ponto de vista do auto-conhecimento e do conhecimento do mundo natural, como também do ponto de vista do auto-cuidado e da tomada consciente de decisões, quando consideramos, por exemplo, a prevenção de gravidez precoce e indesejada.

O documento mais recente utilizado como referência para a elaboração dos currículos da educação básica é a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2017). Este documento define as

aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE) (Brasil, 2017, p. 7).

A BNCC apresenta objetivos de aprendizagem relacionados à reprodução para alunos dos 8º e 9º anos. Um dos objetos de conhecimento proposto pela BNCC para o 8º ano são os mecanismos reprodutivos e a sexualidade, sendo que algumas das habilidades a serem desenvolvidas é “comparar diferentes processos reprodutivos em plantas e animais em relação aos mecanismos adaptativos e evolutivos” e

comparar o modo de ação e eficácia dos diversos métodos contraceptivos e justificar a necessidade de compartilhar a responsabilidade na escolha e na utilização dos métodos mais adequados à prevenção de gravidez precoce e indesejada e de Doenças Sexualmente Transmissíveis. (Brasil, 2017, p. 348-349)

Com relação ao 9º ano, a BNCC propõe, como um dos objetos de conhecimento, hereditariedade e ideias evolucionistas, e como algumas das habilidades a ser trabalhadas, “associar os gametas à transmissão das características hereditárias, estabelecendo relações entre ancestrais e descendentes” (Brasil, 2017, p. 350-351) e “discutir as ideias de Mendel sobre hereditariedade (fatores hereditários, segregação, gametas, fecundação), considerando-as para resolver problemas envolvendo a transmissão de características hereditárias em diferentes organismos” (Brasil, 2017, p. 350-351).

Antes da BNCC, os currículos da educação básica eram elaborados com base nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Os PCN para as Ciências Naturais (Brasil, 1998), apresentavam como um dos conteúdos centrais a ser trabalhado no terceiro ciclo do Ensino Fundamental (5ª e 6ª séries, hoje 6º e 7º anos) a “caracterização do ciclo menstrual e da ejaculação, associando-os à gravidez,

estabelecendo relações entre o uso de preservativos, a contracepção e a prevenção das doenças sexualmente transmissíveis, valorizando o sexo seguro” (Brasil, 1998, p. 78). Para o quarto ciclo (7ª e 8ª séries, hoje 8º e 9º anos), os PCN apontavam como um dos conteúdos a ser aprendido, o

[...] conhecimento das células sexuais, agora enfocando-se com maior ênfase o processo de fecundação (reunião de gametas para formação da célula-ovo), a gestação e os partos natural e cesáreo. A partir da formação da célula-ovo podem ser discutidos alguns fenômenos de herança biológica no ser humano, compreendendo-se as manifestações de algumas características em gerações alternadas, possibilitando também discutir, no nível dos cromossomos, a atuação dos agentes mutagênicos e os efeitos da mutação na transmissão hereditária de informações. (Brasil, 1998, p. 106)

Pode ser observado, portanto, que os conteúdos relacionados à reprodução animal a serem trabalhados nos anos finais do ensino fundamental apresentados nos PCN e na BNCC são essencialmente os mesmos, indicando uma consolidação da relevância desses saberes ao longo dos anos. No entanto, a BNCC traz esses conteúdos de modo mais abrangente, incorporados na descrição das habilidades a serem desenvolvidas e distribuídos de uma outra forma entre os anos. A fecundação e conceitos relacionados, como o de gametas, são mencionados em ambos os documentos como sendo importantes, principalmente, para a compreensão da transmissão de características dos pais para prole.

Usando a reprodução animal como tema central e, mais especificamente, o conceito de fecundação, nesta pesquisa são realizados estudos coordenados em duas áreas do conhecimento: história da ciência e ensino de ciências.

Em relação à história da ciência, este trabalho busca contribuir com a compreensão da história da reprodução animal por meio da análise contextualizada dos trabalhos de um pesquisador inglês que ajudou a elucidar o mecanismo de fecundação no século XIX, chamado George Newport (1803-1854). Newport foi mais conhecido em sua época por seus estudos sobre anatomia e fisiologia de insetos. No entanto, os poucos anos que passou estudando reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios foram suficientes para que seus estudos sobre o tema também ganhassem reconhecimento da comunidade acadêmica da época. Newport investigou diversos aspectos da reprodução dos anfíbios, muitas vezes, realizando experimentos originais, outras vezes, replicando e adaptando experimentos de pesquisadores predecessores e contemporâneos. Suas investigações sobre anfíbios foram publicadas no formato de três artigos, entre 1851 e 1854.

Algumas das conclusões a que Newport chegou são parte do conhecimento aceito atualmente sobre a reprodução sexuada animal, como:

- a) a parte do sêmen masculino responsável pela fecundação dos óvulos das fêmeas é apenas o espermatozoide;
- b) a fecundação do óvulo da fêmea ocorre pela penetração do espermatozoide dentro dele.

Esses aspectos da reprodução animal, os quais também se aplicam à reprodução humana, normalmente são trabalhados nos anos finais do Ensino Fundamental, conforme exemplificado nos trechos da BNCC e dos PCN transcritos anteriormente. Dessa forma, é possível utilizar a história da ciência - neste caso, as investigações realizadas para elucidar o processo de fecundação - no ensino de ciências.

A história da ciência pode ser usada de diversas formas em sala de aula. Nas últimas décadas, têm aumentado as propostas de que a história da ciência seja trabalhada a partir de uma abordagem investigativa e contextualizada. Por meio dessa abordagem, os alunos buscam responder uma pergunta de pesquisa por meio de práticas investigativas, percorrendo caminhos semelhantes aos de pesquisadores no passado. É por meio da investigação que ocorre a construção dos conceitos científicos, ao mesmo tempo em que são criados momentos de reflexão sobre como esses conhecimentos são avaliados e legitimados dentro da comunidade científica. Isso pode ajudar os alunos a compreender mais facilmente os conceitos e métodos, a estabelecer conexões entre diferentes tópicos e entre disciplinas científicas e não científicas e a compreender aspectos de natureza da ciência (Allchin, 2013; Martins, 1998; Matthews, 1994; McComas, 2013). Esta abordagem também favorece o desenvolvimento de habilidades de investigação e atitudes críticas, analíticas e propositivas, as quais são fundamentais para os alunos aprenderem a tomar decisões sobre assuntos de ciência de modo consciente (Sasseron, 2013; 2015).

Nesta dissertação, será dado destaque para o uso história da ciência por meio de uma abordagem investigativa e contextualizada como ferramenta para o ensino e a aprendizagem de conceitos científicos e de aspectos de natureza da ciência (NdC). Apesar das diferentes conceitualizações de NdC, neste trabalho será tomado como referência a NdC como se referindo “à epistemologia da ciência, à ciência como modo de conhecer, aos valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento” (Lederman, 2007, p. 833). No entanto, da mesma forma que não

há uma definição consensual de ciência na filosofia da ciência, também não há um consenso sobre quais aspectos de NdC devem ser trabalhados na educação básica. Nesta pesquisa, por exemplo, será feito uso de aspectos da ciência apontados por Norman Lederman (2002) e Douglas Allchin (2013). Embora a abordagem de Allchin se proponha bastante distinta e crítica da de Lederman, considera-se aqui que ambas partilham de uma mesma concepção epistêmica que é a da demarcação entre o fazer científico e outras áreas do conhecimento.

Existem diferentes formas de se trabalhar a NdC em sala de aula. Porém, uma das vantagens de se trabalhar a NdC a partir de estudos de caso históricos, é que estes possibilitam analisar aspectos que não seriam possíveis de ser estudados a partir de estudos de caso contemporâneos, como, os tipos de erro que os cientistas podem cometer, o papel do contexto cultural nas ideias científicas e a sujeição a mudanças do conhecimento científico.

Um dos motivos pelos quais tem se dado cada vez mais atenção ao ensino e aprendizagem de NdC, é a sua relação com a alfabetização científica (AAAS, 2009; Allchin, 2013; Lederman, 2007; Sasseron e Carvalho, 2008; 2011). A alfabetização científica pode ser considerada a capacidade de “tomar decisões conscientes sobre problemas de sua vida e da sociedade relacionados a conhecimentos científicos” (Sasseron, 2013, p. 45). Para Lúcia Helena Sasseron e Ana Maria Pessoa de Carvalho a alfabetização científica possui três eixos estruturantes: (1) compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; (2) compreensão da natureza das ciências e dos fatores que influenciam sua prática e (3) entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente (Sasseron e Carvalho, 2008; 2011).

O uso da história da ciência em sala de aula, o ensino e a aprendizagem de aspectos de NdC, o trabalho por meio de abordagens de ensino investigativas e a alfabetização científica como um objetivo central do ensino de ciências são elementos presentes nas propostas curriculares brasileiras há pelo menos 20 anos.

O trecho abaixo é um exemplo da presença de ideias que podem ser relacionadas à NdC e à alfabetização científica nos PCN:

Mostrar a Ciência como elaboração humana para uma compreensão do mundo é uma meta para o ensino da área na escola fundamental. Seus conceitos e procedimentos contribuem para o questionamento do que se vê e se ouve, para interpretar os fenômenos da natureza, para compreender como a sociedade nela intervém utilizando seus recursos e criando um novo meio social e tecnológico. É necessário favorecer o desenvolvimento de

postura reflexiva e investigativa, de não-aceitação, a priori, de idéias e informações, assim como a percepção dos limites das explicações, inclusive dos modelos científicos, colaborando para a construção da autonomia de pensamento e de ação. (Brasil, 1998, p. 22, 23)

O documento também traz críticas a algumas estratégias mais tradicionais de ensino que contribuem com a difusão de ideias equivocadas sobre o que é ciência:

A compreensão do que é Ciência por meio desta perspectiva enciclopédica, livresca e fragmentada não reflete sua natureza dinâmica, articulada, histórica e não neutra, conforme é colocada atualmente. Está ausente a perspectiva da Ciência como aventura do saber humano, fundada em procedimentos, necessidades e diferentes interesses e valores. (Brasil, 1998, p. 27)

Os PCN também apresentam argumentos a favor da incorporação da história da ciência em sala de aula como sendo um meio de promover a alfabetização científica, a aprendizagem de aspectos de NdC e de conhecimentos sobre um tema a partir do trabalho com problemas. O documento também aponta o conhecimento da história da ciência como sendo importante para o professor compreender as concepções dos estudantes sobre fenômenos, como indicam os trechos abaixo:

A História da Ciência tem sido útil nessa proposta de ensino, pois o conhecimento das teorias do passado pode ajudar a compreender as concepções dos estudantes do presente, além de também constituir conteúdo relevante do aprendizado. Por exemplo, ao ensinar evolução biológica é importante que o professor conheça as ideias de seus estudantes a respeito do assunto, que podem ser interpretadas como de tipo lamarckista. (Brasil, 1998, p. 21)

Neste ciclo é interessante a abordagem de aspectos da história das ciências e história das invenções tendo em perspectiva, por um lado, oferecer informações e condições de debate sobre relações entre ciência, tecnologia e sociedade e, por outro, chamar a atenção para características que constituem a natureza das ciências que os próprios alunos estão vivenciando em atividades de ensino. (*Ibidem*, p. 60)

Neste sentido, é interessante a introdução mais frequente de tópicos de História da Ciência como parte de estudos da área, como, por exemplo, as explicações de Descartes e Harvey a respeito da circulação sanguínea dentro de estudos sobre o organismo humano. Em outro exemplo de interesse para os eixos Terra e Universo e Tecnologia e Sociedade, estão as ideias de Galileu sobre o Sistema Solar que foram reforçadas por observações com o uso da luneta. (*Ibidem*, p. 88)

Em diferentes momentos do ensino e aprendizagem, os estudantes deverão trabalhar a discussão de problemas. Com este critério pretende-se avaliar se os estudantes, individualmente ou em grupo, são capazes de reconsiderar sua opinião inicial, inclusive com base na História da Ciência, avançando os conhecimentos sobre um tema em estudo. (*Ibidem*, p. 113)

Seguindo uma proposta semelhante, a BNCC deixa explícito que sua prática pedagógica está organizada a partir de práticas investigativas. O documento traz,

inclusive, orientações de sobre como esse tipo de trabalho deve ser feito e reflexões de como essa abordagem contribui com a promoção da alfabetização científica:

Para tanto, é imprescindível que eles [estudantes] sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de atividades investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações. Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas predefinidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório. Ao contrário, pressupõe organizar as situações de aprendizagem partindo de questões que sejam desafiadoras e, reconhecendo a diversidade cultural, estimulem o interesse e a curiosidade científica dos alunos e possibilitem definir problemas, levantar, analisar e representar resultados; comunicar conclusões e propor intervenções. Dessa forma, o processo investigativo deve ser entendido como elemento central na formação dos estudantes, em um sentido mais amplo, e cujo desenvolvimento deve ser atrelado a situações didáticas planejadas ao longo de toda a educação básica, de modo a possibilitar aos alunos revisar de forma reflexiva seus conhecimentos e sua compreensão acerca do mundo em que vivem. (Brasil, 2017, p. 322)

A BNCC também traz como uma das competências a serem desenvolvidas ao longo do ensino fundamental, “compreender as Ciências da Natureza como empreendimento humano, e o conhecimento científico como provisório, cultural e histórico” (Brasil, 1998, p. 324), ou seja, compreender alguns aspectos de NdC. Nesse documento também são mencionados alguns benefícios de se trabalhar com a história da ciência em sala de aula:

[...] ao salientar que a construção dos conhecimentos sobre a Terra e o céu se deu de diferentes formas em distintas culturas ao longo da história da humanidade, explora-se a riqueza envolvida nesses conhecimentos, o que permite, entre outras coisas, maior valorização de outras formas de conceber o mundo, como os conhecimentos próprios dos povos indígenas originários. (Brasil, 1998, p. 328)

Como pode ser observado pelos trechos acima, há mais de 20 anos as propostas curriculares brasileiras mencionam a importância de se trabalhar a história da ciência no ensino de ciências e defendem práticas investigativas em sala de aula para promover compreensão de aspectos de NdC e atitudes reflexivas, importantes para uma atuação consciente no mundo.

No entanto, ainda há alguns obstáculos para a efetiva implementação dessas propostas em larga escala. De modo geral, a história e filosofia da ciência é ainda rara nos cursos de formação de professores no Brasil (Martins e Brito, 2006), acarretando pouca compreensão da natureza da ciência (Lederman, 2007). Além disso, a realização, bem como preparo para o planejamento de atividades investigativas são também pouco frequentes nas licenciaturas brasileiras (Macêdo,

2015). Outros fatores que também interferem, principalmente na implementação de sequências investigativas na escola básica, são relacionados à falta de recursos infraestruturais, carga horária docente elevada, número elevado de alunos por turma e forma de organização do espaço-tempo escolar e do currículo (*Ibidem*). Enquanto os cursos de formação inicial de professores não passarem por reformas que incorporem conhecimentos metacientíficos nos currículos das licenciaturas (além dos bacharelados, devido aos benefícios que oferecem também à formação de cientistas), tais conteúdos ficam restritos ao âmbito da formação continuada, seja em cursos de extensão, seja em estudos pós-graduados de ensino de ciências – cuja maioria, no Brasil, possui linha de pesquisa em história, filosofia e sociologia da ciência.

Tanto na formação inicial, quanto na continuada, propostas, em língua portuguesa, de como a história da ciência e os aspectos de natureza da ciência podem ser trabalhados em sequências investigativas são bem-vindas para subsidiar o professor interessado na área. Daí vem a relevância da elaboração de sequências didáticas que possam servir de incentivo e exemplos a serem adaptados por esses profissionais às suas realidades de ensino.

Uma sequência didática (SD) pode ser considerada uma unidade do processo educativo, na qual um conjunto de atividades são “ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (Zabala, 1998, p. 18). Além de uma utilidade prática, as sequências didáticas também podem ser um importante instrumento de pesquisa, contribuindo com a compreensão da aprendizagem dos alunos (Méheut e Psillos, 2004).

Dessa forma, com base no que foi exposto até o momento, a presente pesquisa tem como objetivos:

- a) discutir como as pesquisas de George Newport, para elucidar o papel dos espermatozoides na reprodução e, posteriormente, o modo de ação dos espermatozoides durante a fecundação, se inserem no contexto de investigações, principalmente, desde o século XVIII, sobre reprodução animal;
- b) analisar como as pesquisas de George Newport com anfíbios podem contribuir com a aprendizagem de conceitos científicos atuais relacionados à reprodução animal e fomentar concepções fundamentadas de aspectos da natureza da ciência nos anos finais do Ensino Fundamental;

- c) elaborar e validar uma sequência didática para o ensino de reprodução nos anos finais do Ensino Fundamental que contemple os trabalhos de George Newport e contemporâneos, fazendo uso do ensino por investigação.

Para atingir os objetivos deste trabalho foi realizada pesquisa integrada em duas áreas do conhecimento: história da ciência e ensino de ciências. Para atingir o primeiro objetivo (a), foi realizada pesquisa histórica que inclui seus aspectos metodológicos e epistemológicos, bem como o desenvolvimento do estudo de caso escolhido (as pesquisas de Newport em seu contexto). Para atingir os outros objetivos (b e c) foi realizada pesquisa pedagógica, a qual envolveu revisão da literatura que analisa fundamentos de epistemologia e o estudo do uso da história da ciência no ensino, do ensino de aspectos da natureza da ciência, do ensino por investigação e da elaboração e validação de sequências didáticas.

Assim, no capítulo 2, são discutidos os aspectos gerais da pesquisa histórica, que incluem a escolha do tema investigado e a elaboração do problema de pesquisa e sua análise diacrônica, bem como a metodologia de levantamento e obtenção de fontes primárias e secundárias, de análise coordenada dessas fontes e incorporação de terminologia da epistemologia para a redação dos textos históricos presentes neste trabalho.

Nos capítulos 3 e 4 são apresentados os resultados da pesquisa histórica. O capítulo 3 refere-se ao contexto epistêmico de investigações sobre reprodução animal realizadas entre os séculos XVII e XIX, com foco nas investigações que mais influenciaram as pesquisas de George Newport. No capítulo 4 são abordadas especificamente a biografia científica de George Newport e suas investigações sobre a reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios.

No capítulo 5, são apresentados os referenciais teóricos e metodológicos da pesquisa pedagógica, referentes ao uso da história da ciência no ensino, ao ensino de natureza da ciência, ao ensino por investigação e à elaboração e validação de sequências didáticas.

No capítulo 6, é apresentada a metodologia da pesquisa empírica, ou seja, como a sequência didática foi elaborada e validada, e uma análise prognóstica da aplicação da sequência didática em sala de aula. Este capítulo também inclui uma análise do recorte do episódio histórico investigado a ser incorporado na sequência didática, bem como uma análise dos aspectos de natureza da ciência a serem trabalhados a partir dele.

No capítulo 7, é fornecida a sequência didática, acompanhada de sugestões para sua utilização em sala de aula.

Por fim, no capítulo 8, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2. ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA HISTÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os aspectos gerais da pesquisa histórica e ele está dividido em três seções. A primeira, refere-se ao percurso desenvolvido para a escolha do tema a ser investigado. Na segunda, são apresentadas a metodologia de pesquisa e as estratégias adotadas para a redação dos textos históricos. Na última seção, é explicado como foi feito o levantamento e a obtenção das fontes primárias e secundárias utilizadas.

2.1 A escolha do tema investigado

A escolha do tema investigado partiu das sugestões de Lilian Martins (2005) para o desenvolvimento de pesquisas em História da Ciência, bem como pelo programa de pesquisas desenvolvido no Laboratório de História da Biologia e Ensino (LaHBE), no qual se desenvolveu esta dissertação.

Os critérios e tomadas de posição para a escolha do tema foram os seguintes:

- a) centrar a pesquisa em um pesquisador específico, para facilitar a delimitação do assunto de pesquisa e também o levantamento de fontes primárias e secundárias;
- b) por uma questão de interesse pessoal desta pesquisadora e de sua orientadora, escolher pesquisadores que viveram antes do século XX;
- c) escolher pesquisadores que escreveram seus trabalhos em português ou em outro idioma no qual a pesquisadora possui proficiência, no caso, o inglês, para facilitar a leitura das fontes primárias e secundárias, uma vez que comumente estas últimas são mais abundantes no mesmo idioma da fonte primária;
- d) escolher um pesquisador pouco investigado, mas sobre o qual existe documentos disponíveis, principalmente *online*, uma vez que as bibliotecas brasileiras possuem acervo bastante limitado em história da ciência;
- e) escolher um pesquisador que investigou temas relacionados ao que chamamos hoje de biologia, devido à formação inicial em Ciências Biológicas da pesquisadora e de sua orientadora;
- f) devido ao interesse inicial da pesquisadora em desenvolver uma sequência didática voltada para a educação básica, especialmente no nível do Ensino Fundamental, utilizando o episódio histórico pesquisado, escolher um tema que faz parte do conteúdo ensinado nesse nível de ensino no Brasil.

Com base nos critérios acima, foi realizado um levantamento inicial de autores

e obras entre os séculos XVI e XIX, gerando uma planilha contendo os pesquisadores que escreveram seus trabalhos em inglês, os títulos de seus principais trabalhos e os principais temas investigados.

A partir da análise desse levantamento e de conversa com a orientadora, foi decidido ter como tema central da pesquisa histórica as investigações do pesquisador Inglês George Newport (1803-1854) sobre a reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios, dando um maior enfoque às investigações que o levaram às seguintes conclusões:

- a) a parte do sêmen masculino responsável pela fecundação dos óvulos das fêmeas é apenas o espermatozoide;
- b) a fecundação do óvulo da fêmea ocorre pela penetração do espermatozoide dentro dele.

Após a delimitação do tema central da pesquisa histórica e do estudo da metodologia de pesquisa e dos referenciais teóricos a serem utilizados, os quais são especificados na próxima seção, foi definido como objetivo da presente pesquisa discutir como as pesquisas de George Newport para elucidar o papel dos espermatozoides na reprodução e, posteriormente, o modo de ação dos espermatozoides durante a fecundação, se inserem no contexto de investigações, principalmente, desde o século XVIII, sobre reprodução animal;

2.2. Metodologia de pesquisa e elaboração dos textos históricos

Para a realização da pesquisa histórica foi utilizada metodologia de pesquisa em história da ciência (Kragh, 1987; Martins, 2001; Martins, 2005), que envolve a análise diacrônica de fontes primárias à luz de fontes secundárias. Segundo Martins (2005), as fontes primárias são “o material da época estudada escrito pelos pesquisadores estudados” (Martins, 2005, p. 310), e as fontes secundárias são “estudos historiográficos e obras de apoio a respeito do período e dos autores investigados” (Martins, 2005, p. 310).

Para atingir o objetivo histórico deste trabalho, foi utilizada uma abordagem conceitual ou internalista, ou seja, foram discutidos principalmente fatores de natureza científica (Martins, 2005). Quando possível e pertinente, também foram levados em consideração, mais pontualmente, alguns aspectos não-epistêmicos, ou externalistas, do contexto social, particularmente, institucional e tecnológico, das épocas abordadas.

A pesquisa histórica realizada iniciou-se com a biografia científica de George Newport, ou seja, abordando aspectos gerais da sua formação e carreira, bem como das obras que publicou, sobre as quais foram analisadas em maior detalhe as investigações que ele realizou para elucidar o papel e modo de ação dos espermatozoides na reprodução. Em paralelo, foi investigado como as pesquisas de Newport sobre esse tema se relacionam com pesquisas realizadas por seus predecessores e contemporâneos. Por fim, também foram investigados outros aspectos que tiveram impacto nessas pesquisas, como estudos em outras áreas do conhecimento e mudanças nas correntes filosóficas predominantes, as quais afetavam o modo de se fazer pesquisa e interpretar os fenômenos do mundo natural.

É relevante, também, para a pesquisa em história da ciência, como as informações obtidas durante a investigação são reconstruídas e reorganizadas em um texto histórico. Seguindo as tendências da historiografia atual (Kragh, 1987; Martins, 2001; Martins, 2005), busquei elaborar textos históricos que não tenham os problemas comuns de trabalhos em história da ciência do início e meados do século XX, que, infelizmente, ainda aparecem em obras atuais de divulgação de história da ciência.

Um exemplo desses problemas, e que é bastante comum, é o anacronismo, ou seja, a interpretação do passado com os “olhos” do presente, desconsiderando o contexto da época. Dentre os efeitos indesejados do anacronismo está a criação do retrato de alguns indivíduos como “gênios” e de outros, como “imbecis” ou “ingênuos”. Da análise anacrônica da história da ciência deriva também a busca de “precursores” ou “pais” de um determinado conhecimento e até mesmo de áreas inteiras da ciência, obscurecendo o fazer coletivo da ciência, imerso num contexto histórico particular, com seus próprios matizes social, político e econômico.

Um tipo particular de anacronismo que também deve ser evitado é aquele que foi denominado “*whig*” pelo historiador inglês Hebert Butterfield, em 1931, e que passou a ser incorporado nas discussões historiográficas nos anos 1960 e 1970. A história *whig* se caracteriza, em termos gerais, pela elaboração de uma história linear para a qual são selecionados apenas eventos, saberes e estudos do passado que glorificam o saber do presente. Para isso, são colocados numa sequência progressiva desde o passado chegando, necessariamente, no conhecimento que temos atualmente (Prestes, 2010). Isso significa, ao mesmo tempo, que a história da ciência *whig* ou *whigista* implica na omissão deliberada de informações relevantes

para a compreensão da história sem informar o leitor. O principal efeito indesejado de uma história *whig* está em ignorar toda a complexidade histórica, da qual fazem parte percursos de idas e vindas, becos sem saída, controvérsias abandonadas e explicações que hoje são consideradas erradas ou não-científicas, mas que faziam sentido na época em que foram propostas e, não raramente, levaram a conhecimentos hoje aceitos⁵ (Allchin, 2004; Martins, 2010).

É importante ressaltar, no entanto, que uma história linear não é sinônimo de uma história cronológica, embora possa ser feita segundo o eixo do tempo. Uma história linear é aquela que seleciona exclusivamente conhecimentos aceitos hoje ao mesmo tempo em que omite o que foi descartado pela ciência atual. Uma história cronológica é aquela em que conhecimentos aceitos e não mais aceitos são integrados segundo a passagem natural do tempo, procurando, com o maior esforço possível, abordar o maior número de eventos que oferecem o quadro da época e evitar qualquer tipo de omissão. A abordagem cronológica foi escolhida neste trabalho por suas qualidades didáticas, como, por exemplo, dar a conhecer ao leitor as pesquisas anteriores a Newport, facilitando a compreensão das motivações do pesquisador Inglês para fazer suas pesquisas, da relevância de suas investigações e das referências que ele faz em seu trabalho.

Segundo Douglas Allchin (2004), toda história da ciência carrega concepções da natureza da ciência. Portanto, ao se contar uma história da ciência *whig*, não se está distorcendo apenas a história, mas também a forma como o conhecimento científico foi construído. Allchin utiliza o termo “pseudohistória” para se referir a essa história que “transmite ideias falsas sobre o processo histórico da ciência e a natureza do conhecimento científico, mesmo se baseada em fatos reconhecidos” (Allchin, 2004, p. 186). Contar pseudohistórias se torna particularmente preocupante quando a história da ciência é utilizada no ensino, como é o objetivo do presente trabalho.

Dessa forma, além de seguir a metodologia de pesquisa mencionada, a redação dos textos históricos foi feita de modo a evitar os vícios de uma pseudohistória. Para isso, foram adotadas algumas estratégias, como:

⁵ Como um exemplo, pode-se citar a concepção de Mathias Schleiden sobre a divisão celular em plantas, que levou Theodor Schwann a compará-la com a divisão celular em animais e elaborar uma teoria celular dos seres vivos – a interpretação de Schleiden sobre o mecanismo da divisão foi, contudo, logo após a publicação de Schwann, criticada e foi suplantada pelo mecanismo hoje aceito (Prestes, 1997).

- a) fazer uma história contextual, buscando estabelecer relações entre os diferentes elementos pesquisados, analisando-os de acordo com os conhecimentos do período histórico retratado;
- b) retratar a complexidade da história investigada, sem omitir, deliberadamente, informações relevantes para a compreensão do episódio histórico;
- c) não fazer juízo de valor com base no conhecimento do presente, mas avaliar as obras segundo as ferramentas conceituais e metodológicas da própria época;
- d) manter, sempre que possível, os termos originais utilizados na época retratada, esclarecendo seu significado e estabelecendo correspondências com os termos utilizados atualmente para que o texto seja compreensível para os leitores;
- e) transcrever trechos das fontes primárias analisadas, traduzindo-os, quando relevante para compreender o trabalho original.

2.3. Levantamento e obtenção das fontes primárias e secundárias

O primeiro material consultado foi o verbete de George Newport no *Complete Dictionary of Scientific Biography* (Clarke, 2008), de onde foram obtidas informações biográficas sobre o pesquisador, além de uma lista de suas principais obras (fontes primárias⁶) e nove fontes secundárias, todas escritas entre 1844 e 1939⁷.

Para a obtenção das fontes primárias citadas por Clarke (2008) e de outras adicionais, foi realizada uma busca no website *Archive*⁸ em maio de 2017 com os seguintes filtros na pesquisa avançada: “qualquer campo: Amphibia”, “campo personalizado: George Newport”, “intervalo de data: 1 de janeiro de 1830 a 1 de janeiro de 1860”. A palavra “Amphibia” foi escolhida para selecionar apenas os trabalhos de Newport referentes a esse grupo de animais. O intervalo de tempo

⁶ No *Dictionary* são mencionadas diversas fontes primárias de Newport e seus locais de publicação. As fontes mencionadas incluem alguns de seus principais trabalhos sobre artrópodes e seus três artigos sobre anfíbios, os quais são analisados nesta dissertação (Newport, 1851a; Newport, 1853; Newport; Ellis, 1854)

⁷ Das nove fontes secundárias mencionadas no *Dictionary*, a única que não foi usada nesta pesquisa, porque não foi encontrada nas bases de dados disponíveis é: NEWPORT, G. **Dictionary of National Biography**, v. 14, p. 357–358, 1844. As outras fontes foram utilizadas ao longo do trabalho e podem ser encontradas nas referências bibliográficas. São elas: Cole (1930), *Gentleman's Magazine* (1854), Meyer (1939), Plarr et al (1930), *Proceedings of the Linnean Society of London* (1855), *Proceedings of the Royal Society of London* (1856), *The Lancet* (1855), *The Medical Times and Gazette* (1854).

⁸ Endereço eletrônico: <https://archive.org/>

escolhido começa poucos anos antes de Newport mostrar interesse em estudar anfíbios, de acordo com a biografia científica consultada, e termina em 1860 para incluir eventuais artigos publicados após sua morte. Dessa busca, foram obtidos oito documentos⁹ diretamente relacionados a George Newport e suas pesquisas com anfíbios e que, portanto, foram consultados para este trabalho. Esses documentos são compostos pelos três artigos escritos por Newport sobre reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios e publicados nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (Newport, 1851a; Newport, 1853; Newport e Ellis, 1854), os quais são analisados em mais detalhes neste trabalho; pelos resumos desses trabalhos¹⁰ e uma comunicação oral em sessão da *Royal Society* (Newport, 1851b); e por uma carta escrita por Newport a Thomas Bell (1792-1880) (Newport, 1852).

Com o objetivo de obter fontes secundárias mais recentes do que as citadas em Clarke (2008) sobre os estudos de George Newport com anfíbios, foram feitas pesquisas, também em maio de 2017 e em dezembro de 2019, utilizando seu nome na plataforma da *Isis Current Bibliography* (mantida pela *History of Science Society*), na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia) e no Banco de Teses e Dissertações da CAPES (CAPES). No entanto, não foram obtidos resultados em nenhuma dessas pesquisas. Em seguida, foi feita uma busca no *Google Scholar* com os seguintes filtros: “frase exata: George Newport”; “com no mínimo: reproduction reprodução amphibia anfíbios”; “data: 1855-2017”. Foram obtidos 74 resultados, nenhum deles em português. A partir da leitura do título e do resumo de cada trabalho, foram identificados cinco que poderiam ser utilizados na presente pesquisa, por mencionar

⁹ Essa mesma pesquisa foi refeita em dezembro de 2019. Não foram obtidos novos documentos.

¹⁰ Os *Proceedings of the Royal Society of London* publicavam resumos dos artigos saídos nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Foram encontrados resumos dos três artigos de Newport referentes à sua pesquisa com anfíbios. Todos esses documentos foram consultados, mas não foram incluídos no texto da presente pesquisa. São eles:

ELLIS, G. V. Researches on the Impregnation of the Ovum in the Amphibia; and on the Early Stages of Development of the Embryo. (Third series.) From the Ms. papers of the late George Newport, F. R. S., F. L. S. &c. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 7, p. 104-106, 1854. Disponível em: <<http://rspl.royalsocietypublishing.org/content/7/104.full.pdf+html>>. Acesso em: dez. 2019.

NEWPORT, G. On the impregnation of the ovum in the amphibia. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 5, p. 971-975, 1851. Disponível em: <<http://rspl.royalsocietypublishing.org/content/5/971.full.pdf+html>>. Acesso em: dez. 2019.

NEWPORT, G. On the impregnation of the ovum in the amphibian (Second series revised), and on the direct agency of the spermatozoon. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 6, p. 214-217, 1852. Disponível em: <<http://rspl.royalsocietypublishing.org/content/6/214.full.pdf+html>>. Acesso em: dez. 2019.

as pesquisas de Newport em mais detalhes ou por trazer informações importantes sobre seus predecessores e contemporâneos. Essa mesma pesquisa foi refeita em dezembro de 2019, mudando apenas o intervalo da data para “1855-2019”. Dessa vez, foram obtidos 90 resultados, sendo quatro em português. Apenas um desses artigos¹², de autoria desta pesquisadora em conjunto com Maria Elice B. Prestes, refere-se a Newport com mais detalhes¹³. Dos outros artigos, obtidos em inglês, foram identificados três novos artigos, que foram consultados.

Finalmente, foi feito um levantamento na base de dados da Biblioteca da Universidade de Chicago, em junho de 2018, sendo obtidas, pela orientadora, mais oito fontes secundárias que mencionam George Newport e pesquisas que influenciaram seu trabalho. A partir da leitura dos trabalhos obtidos e de discussões com a orientadora e com os colegas do grupo de pesquisa nos seminários mensais do LaHBE, foram obtidas outras fontes secundárias de história da biologia que foram consultadas e, quando relevantes, incorporadas à presente pesquisa.

Não faz parte do objetivo deste trabalho discutir as fontes utilizadas. No entanto, considero importante comentar a respeito de três fontes secundárias que foram bastante importantes para a pesquisa sobre o contexto das investigações sobre reprodução animal entre os séculos XVII e XIX: Cole (1930), Farley (1936) e Meyer (1939). Como pode ser observado, esses trabalhos foram publicados há mais de 80 anos, o que significa que eles fazem parte de uma tradição historiográfica que possui alguns problemas do ponto de vista da historiografia atual, como anacronismos. No entanto, essas obras trazem um resumo de séculos de investigações sobre reprodução, permitindo uma visão mais ampla sobre o tema, algo que não é fácil de encontrar em trabalhos mais recentes em história da ciência. Além disso, as informações mais objetivas retratadas nessas obras, como os experimentos realizados e as diferentes ideias existentes a respeito da geração dos seres vivos, estão de acordo com fontes primárias e secundárias mais recentes, utilizadas neste trabalho. Dessa forma, a leitura crítica de tais obras permitiu a seleção de informações relevantes para compor a pesquisa sobre o contexto das

¹² MARTINS, N. A.; PRESTES, M. E. B. A contribuição de George Newport (1803-1854) para a elucidação do papel dos componentes do sêmen masculino na reprodução animal. *Khronos*, n. 5, p. 58-72, 2018.

¹³ Referente aos outros artigos encontrados, um se referia a um outro George Newport e dois apenas mencionavam o nome de Newport, como sendo um dos pesquisadores que investigou a reprodução animal, sem trazer maiores informações sobre seu trabalho.

investigações em reprodução animal entre os séculos XVII e XIX, a qual também recebeu contribuições da leitura de fontes secundárias mais recentes para tratar de pontos mais específicos desse contexto.

3. CONTEXTO DAS INVESTIGAÇÕES SOBRE REPRODUÇÃO ANIMAL ENTRE OS SÉCULOS XVII E XIX

A reprodução dos seres vivos e, mais especificamente, a reprodução animal, é um tema que fascina estudiosos há muitos séculos. Investigações acerca do papel do macho e da fêmea no processo reprodutivo foram realizadas desde a Antiguidade.

Aristóteles (384 - 322 a.C.), por exemplo, já se questionava sobre a natureza e os papéis do sêmen masculino¹⁴ e feminino¹⁵ na geração sexual de alguns animais (Castañeda, 1995). Sem paralelo em praticamente toda a história dos estudos dos seres vivos, Aristóteles oferece uma definição de vida, uma clara distinção do organismo vivo de todos os outros corpos da natureza: a presença de *alma* ou *psyche*, no grego. Este termo não deve ser confundido, no entanto, com o sentido religioso cristão, de uma alma imortal que só os seres humanos possuem. Para Aristóteles a alma não tem conotação sobrenatural. É um princípio básico da própria natureza, um poder que produz as diferentes atividades dos seres vivos, e estes diferem entre si porque possuem diferentes tipos de alma, segundo uma escala de perfeição. Assim, a mais simples, a alma nutritiva, está presente nas plantas e nos animais, incluindo o ser humano, dotando-lhes da capacidade de se nutrir, crescer e reproduzir. As plantas possuem apenas alma nutritiva. Por sua vez, os animais, próximo grupo na escala dos seres, dotados de sensações e movimento, possuem também a alma sensitiva. O ser humano, animal racional, único dotado da capacidade de raciocinar, de pensar logicamente, possui junto às almas nutritiva e sensitiva, a alma intelectiva. Apenas nesse caso, da razão humana, Aristóteles associa questões religiosas e metafísicas, afirmando-a como a parte divina dos homens e que vem de “fora” quando uma criança é gerada (Martins, 2012).

Aristóteles estudou os animais empiricamente, por meio de numerosas observações e experiências, adotando uma metodologia comparativa. Concebeu, a partir daí, agrupamentos distintos dos animais, seguindo critérios diversos. Quanto às formas em que eram gerados, considerou os animais como sendo vivíparos (cujas

¹⁴ Atualmente, a palavra “sêmen” e o termo “fluido seminal”, se referem à mistura liberada por machos de muitas espécies de animais que é composta pelos espermatozoides e por uma parte líquida. É importante mencionar, no entanto, que a presença de espermatozoides no sêmen só foi identificada no século XVII, de modo que o uso dessas palavras por pesquisadores em períodos anteriores tinham um sentido diferente do atual.

¹⁵ Neste caso, “sêmen feminino” refere-se ao sangue menstrual, que recebia esse nome por se acreditar que ele era equivalente ao sêmen masculino (Castañeda, 1995). No século XVIII, esse termo era usado por alguns pesquisadores para se referir a um composto semelhante ao sêmen do macho que seria presente nas fêmeas (Cole, 1930).

crias já nascem semelhantes aos pais) ou ovíparos (cujas crias nascem de ovos). Ele sabia que em alguns animais ovíparos, como as galinhas, as fêmeas podem produzir ovos sem a contribuição do macho, mas que esses ovos só se desenvolvem em um novo organismo se fecundados¹⁶ pelo sêmen de um macho. Como a quantidade de sêmen é muito pequena, ele não contribuiria com a parte material do novo ser vivo, o que caberia à fêmea, mas sim com a forma do novo ser. Essa capacidade de fecundação do sêmen, segundo Aristóteles, seria possibilitada pelo calor vital, gerado pelo *pneuma* (alento inato) que está dentro do sêmen em forma de espuma (Martins e Martins, 2007).

Nos séculos posteriores, pesquisadores como Cláudio Galeno (131-201), Paracelso (1493-1541), Girolamo Fabrizio (também conhecido como Fabricius ab Aquapendente) (1533-1619) e William Harvey (1578-1657) investigaram a reprodução tanto em animais ovíparos quanto em vivíparos. Suas investigações envolveram questões como: a presença de sêmen nas fêmeas, o papel do útero e dos ovários na reprodução, o local de produção do sêmen dos machos, o papel do sêmen dos machos na reprodução, o modo de ação do sêmen e comparações entre as estruturas e mecanismos de reprodução nos animais ovíparos e vivíparos (Meyer, 1939).

Fabricius e Harvey, por exemplo, acreditavam no poder fertilizante dos “vapores” do sêmen, ideia semelhante à de Aristóteles, pois eles não encontraram traços de sêmen masculino nos óvulos ou no útero de fêmeas ovíparas e vivíparas após a cópula. Swammerdam (1637-1680) e Graaf (1641-1673), utilizaram o termo “*aura seminalis*” para se referir a esse “vapor” do sêmen que, ao se misturar com a “semente”¹⁷ feminina, formaria o feto¹⁸ (Sandler, 1973).

No entanto, as discussões sobre reprodução animal ganharam força nos séculos XVII e XVIII, quando importantes observações e experimentos foram feitos, incluindo a observação, por meio de microscópios, de pequenos “animálculos” (espermatozoides) se movendo no sêmen masculino de diversos animais. A partir de

¹⁶ As palavras “fecundação” e “fertilização” foram usadas ao longo da história para se referir a diferentes processos que seriam responsáveis pela formação ou desenvolvimento de um novo ser. Foi só a partir do século XIX que essas palavras passaram a ser usadas com um sentido mais semelhante ao atual, para se referir ao processo no qual ocorre a penetração de um espermatozoide dentro de um óvulo.

¹⁷ Retomando a nota presente na introdução, a palavra “semente” refere-se à substância, composto ou partícula que seria responsável pela geração de um novo ser.

¹⁸ A conclusão de que os vapores do sêmen não são capazes de fecundar os óvulos só foi estabelecida em meados do século XVIII, conforme será explicado adiante.

então, novas questões passaram a ser discutidas, como a natureza desses animálculos e os papéis específicos dos óvulos, dos animálculos e do líquido seminal na geração de novos indivíduos. Algumas dessas questões só foram esclarecidas no século XIX, ao mesmo tempo em que outras questões mais específicas, referentes, por exemplo, ao modo de ação dos espermatozoides durante a fecundação, estavam surgindo.

A seguir, serão discutidas algumas investigações feitas ao longo dos séculos XVII, XVIII e XIX que, direta ou indiretamente, influenciaram as pesquisas de George Newport. O objetivo não é apresentar uma revisão sobre o tema, já que serão abrangidos três séculos de investigações, mas mostrar a complexa diversidade de teorias que existiram acerca da geração nos animais e alguns fatores que as influenciaram. É dado destaque especial para as investigações realizadas pelo italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799), pelo suíço Jean-Louis Prévost (1790-1850) e pelo francês Jean-Baptiste Dumas (1800–1884), devido à grande relação de suas pesquisas com os trabalhos de George Newport. As principais ideias expostas ao longo deste capítulo estão sumarizadas na figura 1.

Figura 1. Linha do tempo representando o contexto de investigações sobre reprodução animal realizadas entre os séculos XVII e XIX.

A linha do tempo (seta em vermelho) se inicia no final do século XVI e termina em meados do século XIX, com as investigações de George Newport e contemporâneos. Nas setas cinzas (abaixo da linha do tempo) estão indicados alguns aspectos da reprodução animal investigados no período. A parte contínua da seta indica o período no qual as investigações eram mais intensas, sendo que a maioria delas se iniciaram anos antes (linha tracejada) e continuaram a ser realizadas anos depois (ponta da seta). Na linha da epigênese há um trecho mais claro, representando um período no qual ela não tinha tanta força. Próximos à linha do tempo, escritos em fundo cinza, estão alguns eventos que ocorreram em outras áreas de investigação, mas que impactaram diretamente as pesquisas sobre reprodução animal. Por fim, acima da linha do tempo, estão escritos, de acordo com a época em que viveram, os nomes e datas de nascimento e morte de alguns pesquisadores que investigaram as questões presentes nas setas em cinza. As palavras em azul estão relacionadas ao ovismo; as palavras em roxo, relacionadas ao animalculismo; as palavras em verde, relacionadas à epigênese; e as palavras em rosa, à Teoria Celular.

3.1. Debate entre pré-formistas e epigenistas nos séculos XVII e XVIII

Nos séculos XVII e XVIII, as investigações sobre a reprodução animal estimularam grandes discussões sobre o papel do sêmen masculino e do ovo¹⁹ na reprodução. De um lado, havia os que defendiam o pré-formismo, de outro, os que defendiam a epigênese²⁰.

Segundo os pré-formistas, os embriões ou “germes” estão formados antes da fecundação. Para os ovistas, os germes estariam dentro do ovo (óvulo) das fêmeas, enquanto que para os animalculistas, os germes estariam dentro dos animálculos (espermatozoides) dos machos. Já os defensores da epigênese não acreditavam na existência de embriões pré-formados e defendiam que um novo indivíduo se desenvolve a partir de uma matéria homogênea, formada pela mistura das “sementes”²¹ masculina e feminina (Castañeda, 1995).

Essas duas teorias para explicar a geração dos animais tinham origem em ideias que surgiram na Antiguidade. Aristóteles, por exemplo, defendeu ideias epigênicas, enquanto Hipócrates (460 – 370 a.C.) e Anaxágoras (500 - 428 a.C.), ideias relacionadas à pré-formação²² (Ramos, 2004).

Os argumentos utilizados em defesa tanto da epigênese quanto da pré-formação baseavam-se em resultados experimentais, como também em pressuposições filosóficas e religiosas, conforme será abordado a seguir.

3.1.1. A filosofia mecanicista dos séculos XVII e XVIII

As teorias sobre a geração dos seres vivos não foram influenciadas apenas por estudos nessa área específica. Elas sempre fizeram parte de modelos mais

¹⁹ Em inglês, a palavra “egg” (ovo) pode ser usada para se referir tanto à estrutura que atualmente chamamos de “ovo” quanto à estrutura que hoje chamamos de “óvulo” ou “ovócito secundário” (Elinson, 1997). O uso da mesma palavra para duas estruturas diferentes tem sua origem nos estudos comparativos dessas estruturas em animais ovíparos e vivíparos: acreditava-se que os ovócitos eram como ovos de galinha, mas sem a casca (Farley, 1936). Desde o início do século XVIII, no entanto, surgem outras palavras em inglês que podem ser usadas para se referir especificamente ao óvulo, como “ovum”, no singular, e “ova”, no plural (*Online Etymology Dictionary*), apesar de a palavra “egg” continuar a ser usada até os dias de hoje. Portanto, ao longo deste trabalho, a palavra “ovo” poderá ser usada para se referir aos óvulos nas descrições das investigações realizadas até o século XIX.

²⁰ As ideias de pré-formação e epigênese foram propostas tanto para a reprodução dos animais quanto para a reprodução das plantas (Cole, 1930; Farley, 1936). Neste trabalho, me restringirei a discutir essas teorias apenas do ponto de vista da reprodução animal.

²¹ A “semente masculina” a que eles se referiam era o fluido seminal, mas na época ainda não se sabia se o papel fecundante era dos “animálculos” (espermatozoides) do sêmen, da sua parte líquida ou ainda dos “vapores” que eliminavam (*aura seminalis*).

²² Não se pode dizer, no entanto, que as ideias epigênicas e de pré-formação na Antiguidade são idênticas às dos séculos XVII e XVIII. Na verdade, mesmo a pré-formação e o epigenismo da modernidade podiam ser explicados de diferentes formas, conforme será exemplificado adiante.

amplos que visavam explicar toda a organização e funcionamento dos seres vivos, e até mesmo do universo, o que inclui a sociedade humana.

A Europa, nos séculos XVII e XVIII, foi marcada pelo Iluminismo, movimento intelectual e filosófico que valorizava a razão como caminho para se obter conhecimento. Essa ideia se estendeu e impactou diversas áreas, inclusive a que chamamos, desde o século XIX, de científica. No início desse período, no século XVII, ocorreu o que é chamado por alguns filósofos da ciência, de revolução científica, que envolveu o nome de pesquisadores como Galileo Galilei (1564–1642), Johannes Kepler (1571–1630), René Descartes (1596–1650) e Isaac Newton (1642–1727) (Hankins, 2010).

Uma das características das ciências do XVII, que permaneceu no Iluminismo e até os dias atuais, é a filosofia mecanicista. No lugar do cosmos do pensamento grego antigo, finito, perfeito e sem início ou fim, elabora-se a noção de universo infinito dos modernos. Em lugar das causas de Aristóteles e de sua versão acomodada à teologia cristã pelos padres da Igreja, notadamente Tomás de Aquino (1225-1274), os fenômenos da natureza são explicados por leis. A filosofia mecanicista explica o mundo apenas em termos de movimento e rearranjo das partes da matéria. Porém, dentro dessa corrente filosófica havia divergências com relação às causas dos movimentos e das mudanças. Seriam as causas forças externas, forças internas, ou não haveria força nenhuma gerando os movimentos? A seguir são apresentadas as vertentes da filosofia mecanicista que mais influenciaram as pesquisas sobre a geração dos animais (Hankins, 2010)²³.

Segundo os proponentes cartesianos da filosofia mecanicista, os mundos físico e biológico deveriam ser explicados apenas por meio de matéria inerte e seu movimento, sendo excluídas quaisquer explicações que envolvessem forças vitais e diretivas. Segundo Descartes, Deus criou o universo, que funciona por meio de um mecanismo perfeito, análogo às máquinas, dispensando qualquer tipo de intervenção para funcionar. Para explicar o funcionamento do universo sem intervenção,

²³ Não é objetivo do presente trabalho analisar, em detalhes, a influência das diferentes correntes filosóficas nas teorias sobre a geração dos animais. Por isso, foi utilizado como referência principal para esta parte da pesquisa o livro *Science and the Enlightenment*, de Thomas Hankins, publicado em 2010, o qual fornece uma visão mais ampla sobre o tema, atentando aos objetivos desta pesquisa. No entanto, para obter mais informações sobre as ideias de Descartes e sobre como as ideias de pré-formação e epigênese estavam atreladas ao mecanicismo, é sugerido consultar a obra *The Restless Clock: a history of the Centuries-Long Argument over What Makes Living Things Tick*, de autoria de Jessica Riskin, publicada em 2016.

Descartes propôs que todos os objetos naturais são formados por partículas inertes de matéria em movimento, e quando duas partículas entram em contato direto uma com a outra, esse movimento é transmitido entre elas. Dentro dessa proposta, o corpo dos seres vivos funciona de modo análogo às máquinas (Hankins, 2010).

Nicolas Malebranche (1638-1715), assim como Descartes, nega a existência de forças, porém, ao contrário de Descartes, negava que um corpo pudesse afetar outro. Para Malebranche, qualquer mudança no movimento dos corpos seria causada por Deus. Já Isaac Newton reconhecia a existência de forças, em sua maioria de origem externa, apesar de admitir não saber a natureza delas. Para Newton, a matéria seria formada de partículas inertes cujo movimento é controlado por forças de atração ou repulsão. Gottfried Leibniz (1646-1716), por outro lado, defendia que as forças atuantes eram internas à matéria. Para ele, a matéria era uma forma de manifestação das substâncias metafísicas que formam o universo e que são a fonte de todo o poder e movimento que é observado (Hankins, 2010).

O cartesianismo conseguia explicar alguns fenômenos vitais, como crescimento e nutrição, e por isso, predominou ao longo do século XVII. No entanto, ele perdeu força na primeira metade do século XVIII, quando ficou cada vez mais evidente que estudar os seres vivos apenas com base em uma análise mecânica era ineficaz para explicar processos mais complexos, como a reprodução e a regeneração de partes do corpo (Farley, 1936; Hankins, 2010). Outra razão para a perda de força do cartesianismo foi que, apesar de não negar a existência de Deus, ele negava a atuação dele em operações diárias do universo (Hankins, 2010), o que foi considerado como uma ameaça, um primeiro passo para a eliminação de Deus das explicações de fenômenos naturais (Ramos, 2004).

Dessa forma, pelo menos no que se refere às pesquisas sobre reprodução animal no final do século XVII e início do século XVIII, elas foram bastante influenciadas pelas ideias de Malebranche, de Newton (principalmente na França) e de Leibniz (na Alemanha) (Hankins, 2010).

3.1.2. A influência das correntes filosóficas mecanicistas nas ideias de pré-formação e epigenismo

René Descartes propôs uma explicação epigenista para a geração dos seres vivos dentro de sua filosofia mecanicista. Segundo Descartes, os seres vivos seriam gerados a partir da mistura das “sementes” do macho e da fêmea, o que levaria à

formação de partículas. O calor do coração daria o princípio de movimento a essas partículas que, ao se aproximarem e afastarem reciprocamente levariam à formação dos órgãos. No entanto, Descartes não desenvolve muito essa ideia, a qual também foi bastante criticada (Prestes, 2003).

No final do século XVII, surgem reações ao modelo de Descartes e é nesse contexto que Malebranche propõe seu modelo de pré-formação, na década de 1670. Ele critica o mecanicismo cartesiano reconhecendo que a mecânica seria suficiente para explicar o desenvolvimento do embrião, mas não a sua formação. Para ele, Deus produziu, no momento da criação, todos os indivíduos de todas as espécies na forma de pequenos germes encaixados uns nos outros (*emboîtement* ou embutimento) dentro dos ovos das fêmeas (Prestes, 2003; Ramos, 2003). Outra ideia defendida na época era a de que os germes criados por Deus estariam espalhados pela natureza (panspermia) (Prestes, 2003).

A partir de então, começa a se fortalecer o ovismo, ou seja, a ideia de que dentro dos ovos (óvulos) das fêmeas há um germe pré-formado do embrião cujo desenvolvimento é estimulado pelo macho (Farley, 1936). As observações dos folículos ovarianos por Régnier de Graaf, a descrição do desenvolvimento embrionário no ovo de galinha por Albrecht von Haller (1708-1777) e a descrição, por Charles Bonnet (1720-1793), em 1745, de um modo de reprodução que posteriormente foi chamado de “partenogênese” são alguns resultados experimentais que foram usados em defesa do ovismo (Prestes, 2003) e que serão melhor explorados adiante.

Com a invenção do microscópio, provavelmente na década de 1590 (Moore, 1986), foi possível observar diversas “partículas” se mexendo no sêmen de diferentes animais. Registros históricos indicam que as primeiras observações dessas “partículas” são do final da década de 1670. À princípio, elas receberam, de Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), o nome de “animálculos”, passando a ser chamadas de “espermatozoides” apenas no século XIX. A descoberta de animálculos no sêmen trouxe novos elementos para a discussão da geração dos organismos. Agora, era importante saber o que, de fato, eram esses animálculos e se eles tinham algum papel na reprodução. Alguns pesquisadores, como Leeuwenhoek e Nicolas Hartsoeker (1656-1725) passaram a defender um outro tipo de pré-formação, afirmando que o germe pré-formado do embrião estaria nos animálculos do macho (Castañeda, 1995) e o papel da fêmea seria de apenas receber e nutrir esse ser pré-

formado (Farley, 1936). Esse outro tipo de pré-formação foi chamado de animalculismo.

Ao mesmo tempo em que o ovismo e o animalculismo se fortaleciam na virada do século XVII para o século XVIII, uma nova versão do epigenismo surgia, agora baseada nas ideias das forças de Newton. Entre seus principais defensores estavam Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), Carl von Linné (1707-1778), Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) e John Turberville Needham (1713-1781) (Farley, 1936; Prestes, 2003). Esses pesquisadores, diferentemente de Descartes, assumiam a existência de “forças ativas” na natureza que seriam as responsáveis por comandar os processos de desenvolvimento dos seres vivos (Prestes, 2003). Na Alemanha, predominavam as ideias filosóficas de Leibniz, alteradas e interpretadas por Christian Wolff (1679-1754). Caspar Wolff (1734-1794) baseou-se nessa corrente filosófica para explicar sua proposta de epigenismo. Segundo Caspar Wolff, o embrião era criado por uma “força essencial”, inerente à matéria viva e os órgãos eram formados de modo sucessivo, um indicativo da ausência de pré-formação (Hankins, 2010).

Ao contrário das ideias defendidas pelo ovismo e pelo epigenismo, que continuaram a ser investigadas até meados do século XIX, o animalculismo perdeu força ainda no século XVIII. Uma das razões para tal era o reconhecimento, na época, de Deus como criador dos seres vivos, que não faria nada sem propósito. O animalculismo, a partir dessa perspectiva, representava um grande desperdício, já que apenas uma pequena parte dos supostos embriões pré-formados encontraria um ovo para se desenvolver (Farley, 1936).

Nas próximas seções são apresentados em mais detalhes outros argumentos utilizados a favor do animalculismo, ovismo e epigenismo.

3.1.3. Animalculismo

As primeiras descrições dos espermatozoides que se tem registro foram feitas por Anton van Leeuwenhoek, em novembro de 1677 (Farley, 1936; Prestes, 2003). Leeuwenhoek observou o sêmen de diversos animais, como homem, coelho, cão, carneiro e galo e fez desenhos detalhados das “partículas” que viu se movendo (figura 2). Essas partículas eram muito parecidas com os “infusórios”²⁴, que já eram

²⁴ Os infusórios eram organismos microscópicos que apareciam em infusões, ou seja, culturas. Hoje, esses organismos são reconhecidos como sendo unicelulares (Prestes, 2003), em sua maioria, protozoários.

conhecidos por pesquisadores da época. Devido a essa semelhança, Leeuwenhoek os chamou de “animálculos”, que significa “pequenos animais”. Outro nome comum para se referir aos espermatozoides naquela época era “vermes espermáticos”. Em 1678, Nicolas Hartsoeker, observando o sêmen de homem e cão, e Jan Swammerdam (1637-1680), observando o sêmen de rato e cão confirmaram as observações de Leeuwenhoek (Prestes, 2003).

Figura 2. Desenhos feitos por Leeuwenhoek das partículas em movimento observadas no sêmen de coelho (1-4) e cachorro (5-8).

Fonte: Imagem retirada de: <https://commons.wikimedia.org/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

A presença generalizada de animálculos em diversas espécies de animais foi um fator importante para que Leeuwenhoek e Hartsoeker atribuíssem a eles um papel central na reprodução que, neste caso, envolvia a presença de germes pré-formados do embrião dentro deles. Hartsoeker propôs e representou por meio de um desenho, que dentro do animálculo haveria uma miniatura de um adulto completamente formada e enrolada, a qual ele chamou de homúnculo (figura 3). Dentro desse animálculo também haveria uma infinidade de outros animálculos pré-formados, ou seja, ele defendia a pré-formação por embutimento. Ele esclarece, no entanto, que o homúnculo é o que poderia ser visto se a pele do animálculo fosse removida. É importante mencionar que nem todos os animalculistas defendiam a existência de um organismo completo em miniatura, conforme proposto pela imagem do homúnculo. Leeuwenhoek, inclusive, criticou essa proposta de Hartsoeker (Farley, 1936).

Figura 3. Desenho do homúnculo, feito por Hartsoeker para ilustrar a presença de um ser humano pré-formado nos animálculos.

Fonte: Imagem retirada de: <https://commons.wikimedia.org/>.
Acesso em: 10 jun. 2019.

Na proposta animalculista, a contribuição das fêmeas estava restrita a receber o ser pré-formado e nutri-lo. Ao contrário de Harvey e Graaf, Leeuwenhoek relatou ter observado animálculos no útero de cadelas depois do coito e concluiu que é o útero o destino final do sêmen masculino (Cole, 1930). Os animais híbridos, como a mula, que nascem do cruzamento de espécies diferentes e são inférteis, sempre despertaram o interesse dos pesquisadores dedicados aos estudos da reprodução animal. Para Leeuwenhoek, esses animais não se assemelham exclusivamente nem à sua mãe, nem a seu pai porque o animálculo, ao entrar no útero da fêmea, não recebia o sustento exato dela (Prestes, 2003).

No caso dos animais ovíparos, Leeuwenhoek propôs, assim como George Garden (1649-1733) e Hartsoeker, que para a formação de um novo ser, seria necessário que um animálculo chegasse até um ponto específico do vitelo do ovo, que, de acordo com Garden, seria o centro da cicatrícula (disco germinativo), no qual dificilmente cabe mais de um animálculo. Isso explicaria a necessidade de mais animálculos no sêmen masculino do que ovos nas fêmeas, pois a chance de um deles encontrar o ponto exato do ovo para fecundar seria muito baixa. Hartsoeker também propôs a existência de uma abertura no ovo por onde o animálculo entraria e que se fecharia logo em seguida, impedindo a entrada de mais de um animálculo no ovo. Se dois animálculos entrassem no ovo seria produzido um monstro (Cole, 1930). Essa ideia recebeu críticas, por exemplo, de Antonio Vallisnieri (1661-1730), que afirmou que ninguém tinha visto um animálculo dentro do ovo ou um poro pelo qual o espermatozoide poderia passar e que, se houvesse algum poro, o vitelo sairia

para fora do ovo. Vallisnieri defendia que a função dos animálculos era prevenir a coagulação do sêmen, por meio de seu movimento (Meyer, 1939).

Em seus estudos dissecando animais e examinando suas gônadas, Leeuwenhoek concluiu que os animálculos se originam nos testículos dos machos e são compostos a partir de todas as partes do corpo (Cole, 1930). Quando à origem dos animálculos, Leeuwenhoek negava que eles seriam produto de putrefação, como defendiam alguns pesquisadores, ou que eram formados a partir de geração espontânea. Para ele, os animálculos provavelmente se originavam nos testículos a partir de ovos ou grãos (Farley, 1936; Ramos, 2004). Já Hartsoeker acreditava que os animálculos nascem por geração espontânea ou pelo amolecimento de corpúsculos oriundos do ar e dos alimentos, que passam ao sangue e do qual os animálculos são separados nos testículos (Prestes, 2003).

3.1.4. Ovismo

As semelhanças entre as estruturas reprodutivas de fêmeas ovíparas e vivíparas nem sempre foram compreendidas, devido, principalmente, a dificuldades de natureza prática, como a observação detalhada dos óvulos e ovários. No entanto, os séculos XVII e XVIII foram marcados por uma série de estudos que começaram elucidar tais semelhanças.

Nicolaus Steno (1638-1686), em 1667, afirmou que os “testículos” das fêmeas mamíferas não eram análogos aos testículos dos machos, como se pensava até então, mas sim aos ovários (termo cunhado por ele) das fêmeas ovíparas, pois elas também produzem “ovos”. Na mesma época, Régnier de Graaf, observou “óvulos” nos ovários de mamíferos, aves e peixes, que variavam em tamanho dependendo da espécie. Em 1672, de Graaf relatou que, em seus estudos com coelhos, identificou a presença de folículos no ovário das fêmeas (folículos de Graaf) e que o número de folículos vazios no ovário, de um modo geral, correspondia à quantidade de embriões encontrados no útero. Com isso, acreditou que os ovos no útero eram parte do folículo que tinha se destacado do ovário. Portanto, de Graaf concluiu que os ovos dos mamíferos se originam no ovário e desenvolvem no útero (Cole, 1930).

Hoje sabe-se que de Graaf não observou o óvulo (ovócito) dos mamíferos, pois ele não os observou no oviduto. Este só foi observado por Karl Ernst von Baer (1792-1876) em 1827. No entanto, as observações de Graaf, de Steno e de outros pesquisadores ajudaram a fornecer indícios da presença universal de ovos em

fêmeas ovíparas e vivíparas, o que foi considerado, por diversos pesquisadores, uma evidência de que os ovos seriam a principal unidade reprodutiva (Cole, 1930).

Os pesquisadores ovistas defendiam que dentro dos ovos das fêmeas havia germes pré-formados dos embriões que se desenvolveriam após o contato com os vapores emanados do sêmen ou com a parte líquida do sêmen dos machos. De modo geral, os ovistas negavam que os animálculos, ou vermes espermáticos, teriam algum papel na reprodução.

Do ponto de vista experimental, a teoria ovista, foi elaborada com base em: “evidências” da existência de germes pré-formados nos ovos, estudos sobre a natureza dos vermes espermáticos e estudos sobre o “poder fecundante” das diferentes partes do sêmen masculino. A seguir, são apresentadas algumas das investigações relacionadas a cada um desses aspectos, dando destaque especial para os trabalhos de Lazzaro Spallanzani, que teve grande impacto não só nas pesquisas realizadas em sua época, como também no século XIX, foco da presente pesquisa.

3.1.4.1. Investigações sobre a existência de germes pré-formados nos ovos das fêmeas

Outras evidências a favor do ovismo foram obtidas por meio do estudo do desenvolvimento embrionário de alguns animais. Albrecht von Haller (1708-1777), em diferentes momentos de sua vida, defendeu o animalculismo, o epigenismo e, por fim, o ovismo. A partir de suas observações do desenvolvimento embrionário de galinhas, Haller afirmou que a gema do ovo é uma continuação da pele e do intestino do feto e concluiu que essas três estruturas tinham que ser formadas ao mesmo tempo. Portanto, como a gema é formada antes da cópula, as outras duas estruturas também deveriam ser formadas nesse momento. Dessa forma, o feto estaria pré-formado na galinha desde o começo de sua vida, uma ideia tipicamente ovista (Prestes, 2003).

Lazzaro Spallanzani, outro grande defensor da teoria ovista, também encontrou indícios a favor do ovismo em observações do desenvolvimento embrionário. Ao observar ovos de rãs se desenvolvendo em girinos, Spallanzani não observou mudança aparente no ovo antes ou imediatamente depois da fertilização, o que foi interpretado por ele como sendo um indício de que já havia um embrião lá pré-formado. Além disso, Spallanzani observou que os corpúsculos dentro do ovo não se rompem ou abrem para o nascimento do girino, mas apenas crescem em

volume e massa, o que o levou a concluir que, na verdade, o ovo é o próprio girino concentrado e condensado, que se desenvolve mediante a fecundação²⁵ (Prestes, 2003).

Por fim, a descrição, por Charles Bonnet, em 1745, de um modo de reprodução em pulgões no qual um ser vivo se desenvolve a partir de um ovócito não fecundado também foi considerado por alguns pesquisadores uma evidência de que havia um embrião pré-formado no ovo. Esse modo de reprodução posteriormente foi chamado de “partenogênese” (Berçot, 2018).

3.1.4.2. *Investigações sobre a natureza dos vermes espermáticos*

A maioria dos ovistas assumia que os animálculos eram parasitas acidentais dos testículos e, por isso, não teriam papel na reprodução (Farley, 1936). Outros, acreditavam que os animálculos eram fruto da imaginação ou ilusões criadas pelo microscópio²⁶ (Sandler, 1973).

Spallanzani, assim como a maioria dos ovistas, acreditava que os animálculos eram parasitas e fez uma série de observações e experimentos para mostrar sua animalidade. Com esses experimentos, Spallanzani queria não só elucidar a natureza dos animálculos, como também refutar a teoria das moléculas orgânicas de Buffon porque, para ele, elas retomavam a ideia de geração espontânea, que já havia sido refutada no século anterior. Buffon, assim como outros epigenistas, defendia que os animálculos eram partículas orgânicas, ideia que será melhor explorada na próxima seção (Prestes, 2003; Sandler, 1973).

Para mostrar a animalidade dos vermes espermáticos, Spallanzani decidiu compará-los a outros organismos microscópios já conhecidos, os infusórios. Porém, a natureza dos infusórios também não era consenso, de modo que Spallanzani também buscou mostrar sua animalidade, comparando-os a outros animais mais conhecidos. Spallanzani preparou algumas infusões usando semente de plantas e observou algumas características dos infusórios que lá apareceram, como o formato, movimento (incluindo a velocidade e direção), anatomia dos flagelos, ingestão de partículas (indicando que eles se alimentavam) e os vários modos de multiplicação (divisão transversa e longitudinal e brotamento). Spallanzani também observou a

²⁵ Isso explica por que, em seus textos, Spallanzani utiliza a palavra “girino” (em inglês, “*tadpole*”) para se referir aos óvulos das fêmeas.

²⁶ Até meados do século XIX, os microscópios produziam aberrações cromáticas, o que foi parcialmente corrigido com a criação das lentes acromáticas na década de 1820 (Farley, 1936), conforme será discutido adiante.

reação dos infusórios quando expostos a “odores” (como fumaça de tabaco e de enxofre) e líquidos (como água salgada, vinagre e tinta), que, conhecidamente, eram fatais para insetos, e viu que essas substâncias causavam a morte dos infusórios (Sandler, 1973).

Com essas observações, Spallanzani concluiu que os infusórios não eram meras partículas orgânicas, mas verdadeiros animais. O próximo passo foi analisar os mesmos aspectos nos animálculos do sêmen e comparar os resultados. Devido à grande semelhança entre as características encontradas, com exceção da reprodução (Spallanzani não conseguiu observar os animálculos se reproduzindo), ele concluiu que os animálculos do sêmen são animais, conforme havia sido afirmado por Leeuwenhoek anos antes (Sandler, 1973). No entanto, algumas diferenças foram observadas entre os animálculos das influências e os animálculos do sêmen, como o tipo de movimento, a resistência a temperaturas quentes e frias e o formato do “corpo”. Spallanzani, concluiu, então que, apesar de ambos serem animais verdadeiros, eles pertenceriam a grupos diferentes (Prestes, 2003).

Outras evidências apontadas por Spallanzani de que os animálculos do sêmen não eram meras partículas orgânicas foram que os animálculos se movimentam de modo muito diferente das partículas inertes e que os animálculos não eram formados a partir da decomposição do sêmen, como sugerido por Buffon. Essa última afirmação foi feita após Spallanzani observar animálculos em sêmen recém-retirado de animais e dentro dos vasos deferentes de salamandras, que são transparentes (Sandler, 1973).

Spallanzani também propôs uma explicação para o constante aparecimento de animálculos nos machos. O pesquisador sugeriu que no sêmen haveria “germes” desses animálculos, os quais entravam no óvulo da fêmea durante a fecundação, sendo passados para o futuro embrião. Esses germes ficariam inativos até a maturação do sêmen, momento no qual eles seriam ativados e aumentariam em quantidade (Sandler, 1973).

3.1.4.3. Investigações sobre o “poder fecundante” das diferentes partes do sêmen masculino

Como a maioria dos ovistas considerava os animálculos parasitas acidentais do sêmen, eles não atribuíam aos animálculos nenhum papel na fecundação. Por isso, a maioria dos ovistas defendia que era a parte líquida do sêmen dos machos a responsável por estimular o ovo da fêmea com o germe pré-formado a se

desenvolver, mas sem contribuir com a formação material do novo indivíduo (Farley, 1936). Contudo, diante de algumas observações, como a presença de características dos pais na prole, alguns ovistas sentiram a necessidade de considerar a existência de alguma contribuição material do sêmen masculino ao novo indivíduo, mesmo que essa contribuição fosse menor do que a da fêmea. Charles Bonnet, por exemplo, afirmou que moléculas correspondentes às partes do macho estariam no líquido seminal, o qual as transmitiria ao germe pré-formado no ovo (Prestes, 2003).

Apesar da crença geral de que era a parte líquida do sêmen que estimulava os ovos, ainda havia dúvidas se os ovos não poderiam ser fecundados pelos vapores emanados do sêmen, ideia que tinha sido formulada na Antiguidade. Alguns pesquisadores acreditavam que estes vapores eram partículas odoríferas do sêmen, outros, sua parte mais atenuada, ou ainda, um espírito muito sutil (Meyer, 1939). Spallanzani, como experimentador contumaz que era, investigou essas questões nas décadas de 1760 e 1780, em anfíbios²⁷.

Para investigar se os vapores do sêmen tinham a capacidade de fecundar ovos, Spallanzani realizou alguns experimentos, como o seguinte. Ele colocou 11 gramas de sêmen em um relógio de vidro e fixou 26 ovos em um outro relógio de vidro, menor do que o anterior, usando glúten. O relógio menor foi invertido em cima do relógio maior de modo que houvesse uma distância muito pequena entre os ovos e o sêmen. Depois de 5 horas observando, Spallanzani viu que os ovos tinham recebido os vapores do sêmen. Os ovos foram colocados na água, mas não se desenvolveram em girinos. Spallanzani repetiu esse mesmo experimento depois, modificando um aspecto: metade dos ovos que receberam os vapores foram colocados na água e a outra metade recebeu também um pouco de sêmen e, em seguida, também foram colocados na água. Apenas os ovos que entraram em contato físico com o sêmen se desenvolveram em girinos. Dessa forma, Spallanzani concluiu que a *aura seminalis*, ou os vapores do sêmen, não é capaz de fecundar os ovos e que era necessário um contato entre o sêmen e os ovos para que estes se

²⁷ Em seus experimentos com anfíbios, Spallanzani estuda cinco espécies, às quais ele se refere por seus nomes vulgares: rã verde, rã arborícola, sapo, sapo fétido e salamandra aquática. Spallanzani recorrentemente recusava o sistema de classificação lineana e raramente adotava a nomenclatura binomial. No entanto, apresentava descrições detalhadas dos organismos utilizados, sendo possível, hoje, identificar as espécies utilizadas com considerável grau de certeza (Prestes, 2003).

desenvolvessem em novos indivíduos²⁸ (Sandler, 1973).

Depois de investigar a questão da *aura seminalis*, Spallanzani também investigou a parte líquida do sêmen e seu poder de fecundação. Um dos experimentos que Spallanzani fez, e que também foi realizado posteriormente, de modo bastante semelhante por Prévost e Dumas e por George Newport no século XIX, envolvia a filtração do sêmen²⁹. Spallanzani diluiu sêmen de rãs macho e o passou por diversos papéis-filtro sobrepostos³⁰. Ele percebeu que, quanto mais papéis-filtro eram utilizados, menor era a capacidade do sêmen filtrado de fecundar os ovos. Ele observou que o número de nascimentos caía proporcionalmente à utilização de dois, três, quatro ou cinco filtros. E quando o sêmen passava por seis ou sete filtros e era colocado em contato com ovos, nenhum ovo se desenvolvia em girino (Janczur, 2016). Spallanzani também observou que, ao colocar o papel contendo o resíduo do sêmen recém-passado em contato com ovos, estes se desenvolviam em girinos e concluiu que “isso prova que a filtração remove da água espermática seu poder fertilizante na medida em que o líquido seminal que estava contido nela ficou no papel filtro, de modo que foi possível extraí-lo dos papéis” (Spallanzani, 1785 *apud* Sandler, 1973, p. 216). Em outras palavras, o sêmen filtrado perdia seu poder de fecundar os ovos porque o poder fertilizante, que estaria presente na parte líquida do sêmen, ficava retido nos filtros.

As conclusões de Spallanzani a partir dos resultados de seus experimentos de filtração trouxeram muitas repercussões históricas. Hoje, olhando os resultados deste experimento, parece óbvio que a razão pela qual o sêmen filtrado não tinha o poder de fecundar os óvulos era porque os espermatozoides tinham ficado retidos no filtro. Por isso, muitos historiadores da ciência e biólogos atribuíram à forte crença na teoria ovista o fato de Spallanzani não ter concluído que os espermatozoides eram os

²⁸ Outros pesquisadores que investigaram essa mesma questão, repetindo o experimento de Spallanzani, mas com variações, chegando à mesma conclusão, foram Prévost e Dumas, em 1824 (Janczur, 2016).

²⁹ Foi muito difícil encontrar trabalhos que detalham esse experimento. Entre os trabalhos encontrados, os que mencionam esse experimento em mais detalhes são o de Janczur (2016) e o de Sandler (1973). Sandler, em seu artigo, escreve em uma nota de rodapé sobre a dificuldade em encontrar informações sobre esse experimento e os materiais utilizados. A autora menciona que as publicações mais recentes dos trabalhos sobre a vida e obra de Spallanzani, incluindo as em italiano, não mencionam esse experimento, e que parece que as discussões sobre ele têm sido feitas principalmente por pesquisadores franceses e ingleses. Uma possível explicação para a falta de informações sobre esse experimento é que ele foi publicado apenas em 1785, no adendo da tradução para o francês da obra *Dissertations Relative to the Natural History of Plants and Animals*, originalmente publicada em 1780.

³⁰ Segundo Cole (1930), o material desses filtros era papel absorvente de algodão.

agentes da fecundação após a realização desses experimentos de filtração (Sandler, 1973). No entanto, Sandler (1973) defende que a conclusão a que Spallanzani chegou estava de acordo com outros resultados experimentais que ele tinha obtido anteriormente. Em pelo menos outras três situações Spallanzani tinha conseguido fecundar ovos com sêmen que [aparentava] estar sem espermatozoides, levando-o a acreditar que os animálculos realmente não tinham nenhum papel na reprodução (Cole, 1930; Sandler, 1973):

- a) em duas situações, Spallanzani obteve sêmen sem animálculos, e testou se esses líquidos eram capazes de fecundar os óvulos das fêmeas. Como resultado, os óvulos se desenvolveram em girinos;
- b) em uma outra situação, Spallanzani diluiu sêmen com urina ou vinagre e observou que isso “matou” os animálculos. Quando ele colocou esse sêmen com animálculos “mortos” em contato com ovos, os ovos se desenvolveram em girinos;
- c) em uma outra situação, Spallanzani colocou uma gota de sêmen em uma lâmina e o observou no microscópio. Conforme o sêmen foi evaporando, os animálculos migraram para a região central da gota e, com a ponta de uma agulha, ele pegou gotas do líquido sem animálculos e colocou em contato com os ovos de rãs, os quais se desenvolveram girinos.

Hoje, sabendo da necessidade de espermatozoides para a fecundação de óvulos, há duas explicações possíveis para os resultados obtidos por Spallanzani. A primeira, é que o líquido utilizado por ele não estava totalmente ausente de espermatozoides. Mesmo tendo analisado esses líquidos no microscópio, ele pode não ter observado algum espermatozoide. Outra possível explicação seria que os óvulos se desenvolveram por meio de partenogênese (Sandler, 1973). Alguns trabalhos, como o de Shaver (1953) e de Balinsky (1950 apud Sandler, 1973), mencionam que os ovos de rãs podem se desenvolver em girinos por meio da partenogênese caso o ovo seja manipulado e perfurado com uma pequena agulha de vidro contaminada com sangue ou elementos celulares, possibilitando a entrada de material celular em seu citoplasma, o que desencadearia seu desenvolvimento. Como Spallanzani manipulava os ovos utilizando agulhas, é possível que ele tenha desencadeado o desenvolvimento deles por meio da partenogênese. Spallanzani sabia da existência da partenogênese em outros animais, pois ele mantinha contato com Charles Bonnet, que investigou esse fenômeno e observou sua ocorrência em

afídeos. Em carta para Spallanzani (1778), Bonnet sugere que ele tente induzir o desenvolvimento dos ovos de anfíbios por meio da aplicação de eletricidade, conforme havia sido feito, com sucesso, por outro pesquisador (Mr. Achard) em ovos de galinha. Spallanzani fez essa tentativa, mas não obteve sucesso. No entanto, não era conhecida, na época, a possibilidade de desencadear o desenvolvimento de ovos pela manipulação com agulhas (Sandler, 1973).

O experimento de filtração do sêmen foi realizado por Spallanzani em 1784 e publicado em 1785. Já os três experimentos descritos acima, foram publicados no volume II da *Dissertations Relative to the Natural History of Plants and Animals*, em 1780. Portanto, quando Spallanzani realizou o experimento de filtração, ele já tinha chegado à conclusão de que sêmen sem animálculos era capaz de fecundar os óvulos. Isso levanta a possibilidade de Spallanzani ter realizado os experimentos de filtração apenas para confirmar suas conclusões, obtidas anos antes (Sandler, 1973).

Também é relevante mencionar outros experimentos realizados por Spallanzani relacionados à reprodução animal. Antes de fazer investigações sobre o sêmen, Spallanzani já tinha investigado a possibilidade de a fecundação ocorrer fora do corpo da fêmea. Essa dúvida existia porque em alguns casos, como nas rãs, não era possível observar a liberação de sêmen dos machos durante a cópula. Spallanzani conheceu o trabalho do professor chamado Federico Menzio (1724), que propôs uma explicação para o modo de reprodução das rãs: quando o macho “abraça” a fêmea durante a cópula, ele libera a “semente” pela protuberância do dedo, a qual atravessa o tórax da fêmea e entra no útero, onde impregna os ovos. Swammerdam, em 1752, estudando a rã vermelha, e Roesel, em 1758, estudando a rã verde, descreveram que, conforme a fêmea libera seus ovos, o macho libera líquido seminal em cima deles. Porém, esses experimentos não foram suficientes para eliminar todas as dúvidas sobre esse processo (Sandler, 1973).

Spallanzani fez, então, alguns experimentos que ajudaram a esclarecer essa questão. Primeiro, deixou fêmeas copularem com machos e observou que os ovos que elas liberaram se desenvolveram normalmente. Depois, essas mesmas fêmeas foram dissecadas e foram obtidos ovos do ovário, oviduto e útero. Esses ovos foram colocados em potes com água, mas eles apodreceram e não se desenvolveram. Spallanzani interpretou esses resultados como sendo um indício de que a fecundação ocorre apenas fora do corpo.

Tentando observar a liberação de sêmen no ambiente externo, Spallanzani,

em um outro experimento, deixou rãs acasalarem em um pote sem água e conseguiu ver o sêmen (líquido límpido) sendo liberado pelo macho ao mesmo tempo em que as fêmeas iam liberando os ovos. Quando esses ovos foram, depois, colocados na água, eles se desenvolveram em girinos.

Outro experimento realizado por Spallanzani, que também evidenciou a presença de fecundação externa nas rãs envolveu vestir as rãs macho com calças de tafetá antes do acasalamento e observar se, após a cópula, eram formados girinos. Os machos e as fêmeas envolvidos no experimento se comportaram normalmente, mas os óvulos liberados pelas fêmeas não se desenvolveram em girinos. Por outro lado, foram observadas gotas de sêmen dentro dos calções. Então, Spallanzani banhou alguns ovos nesse sêmen e esses ovos se desenvolveram em girinos³¹ (Prestes, 2003; Sandler, 1973).

O conjunto desses três últimos experimentos para investigar a ocorrência de fecundação externa contribuiu para a conclusão de que o contato entre os ovos das fêmeas e o líquido seminal dos machos era essencial para a fecundação, mesmo no caso desses animais, que não apresentam uma cópula verdadeira³² (Prestes, 2003). No último experimento descrito, ao banhar ovos no sêmen retido no calção Spallanzani está realizando uma fecundação artificial. Ele foi um dos primeiros pesquisadores que se tem registro a desenvolver tal técnica. Depois desse experimento, ele aperfeiçoou o modo de fertilizar os ovos artificialmente, utilizando pinceis, agulhas ou alfinetes para aplicar sêmen nos ovos (Sandler, 1973).

3.1.5. Epigenismo

Conforme mencionado anteriormente, em contraposição aos pré-formistas havia os epigenistas. Esses pesquisadores defendiam que um novo indivíduo se desenvolve a partir de uma matéria homogênea, formada pela mistura das “sementes” masculina e feminina (Castañeda, 1995). Os epigenistas não reconheciam nem os ovos das fêmeas, nem os animálculos dos machos como sendo as unidades reprodutivas. Serão discutidas aqui as ideias de três pesquisadores:

³¹ Réaumur e Jean Antoine Nollet (1700-1770) já haviam tentado realizar esses experimentos em 1740. No entanto, eles não tiveram sucesso, porque as calças ficavam muito largas ou ficavam presas por suspensórios, o que desencorajava os machos de copular com as fêmeas (Sandler, 1973). Nollet comunicou suas tentativas a Spallanzani por meio de uma carta e foi assim que Spallanzani teve a ideia de realizar esse experimento (Prestes, 2003).

³² O termo “cópula verdadeira” era usado para se referir aos casos em que ocorria fecundação interna. Quando ocorria fecundação externa, como no caso dos anfíbios estudados por Spallanzani, falava-se que não ocorria uma verdadeira cópula (Prestes, 2003).

Buffon, Maupertuis e Needham.

As ideias de Buffon acerca da reprodução estavam diretamente associadas à sua teoria de moléculas orgânicas. Para Buffon, todos os animais e plantas eram formados de partículas orgânicas vivas. Essas moléculas seriam idênticas e existiriam em número fixo, não podendo ser destruídas, mas apenas rearranjadas. A decomposição de plantas e animais faria com que suas moléculas orgânicas não sofressem mais a influência do *moule intérieur* (molde interior, ligado à força gravitacional) responsável por sua organização em tecidos e que pudessem ser passadas para outros corpos por meio da alimentação (Farley, 1936; Sandler, 1973). Ao entrar no corpo pela alimentação, essas moléculas orgânicas seriam integradas aos vários órgãos por meio da ação de uma “força penetrante” (Ramos, 2004).

No caso de organismos crescidos e desenvolvidos, as moléculas orgânicas excedentes de todas as partes do corpo migrariam para os “testículos” dos machos e fêmeas, onde ficariam armazenadas para posterior formação do líquido seminal. No macho, as partículas orgânicas levariam à formação dos animálculos, que seriam, portanto, moléculas orgânicas vivas ou um arranjo inicial dessas moléculas (Sandler, 1973). Nas fêmeas ovíparas, as moléculas ficariam guardadas na cicatrícula do ovo e nas vivíparas, na cavidade dos folículos (folículos de Graaf), locais onde estaria o sêmen feminino, elemento necessário para a fecundação³³ (Cole, 1930). Ou seja, o líquido seminal do macho e da fêmea teriam todas as partículas necessárias para formar um novo organismo. No entanto, um embrião só poderia se desenvolver a partir da união das partículas do macho com as da fêmea, por meio de uma “força ativa” (Cole, 1930; Sandler, 1973).

Buffon usou o mesmo princípio de moléculas orgânicas para explicar a reprodução assexuada dos pólipos, largamente estudada por Trembley³⁴. Se um fragmento desses organismos pode gerar um outro organismo é porque nele há um “germe” (formado de moléculas orgânicas) do organismo inteiro (Ramos, 2004).

Portanto, para Buffon, a unidade reprodutiva dos animais eram as partículas orgânicas presentes no sêmen tanto de machos quanto de fêmeas, que seriam as

³³ Buffon negava a existência de ovos nas fêmeas mamíferas. Para ele, corpos glandulares vistos nos mamíferos eram estruturas com uma abertura pela qual escorre um líquido, que foi coletado e analisado no microscópio, revelando a presença de corpos com cauda se movendo, semelhantes aos observados no líquido seminal dos machos. Essa observação foi confirmada por Needham (Prestes, 2003)

³⁴ Os trabalhos de Trembley mostraram que os pólipos podem se multiplicar por brotos e são capazes de se regenerar completamente após serem seccionados (Berçot, 2018).

mesmas partículas que formam o corpo desses animais. Buffon formulou sua teoria baseado em algumas observações, como as seguintes. Ele criou infusões colocando pedaços de material testicular em vasos com água fechados com uma rolha e as deixou em repouso por três ou quatro dias antes de analisá-las. No entanto, alguns materiais analisado tinham sido preparados há pelo menos duas semanas. Buffon observou, nessas infusões, o crescimento de estruturas microscópicas que pareciam pequenos animais e observou as mudanças que aconteciam com tais estruturas, como modificações no formato e perda da cauda. As observações de Buffon o levavam a crer que essas estruturas não eram verdadeiros animais e concluiu que as partes presentes nos líquidos seminais do macho e da fêmea são as mesmas presentes na carne desses animais (Ramos, 2004).

Spallanzani, refazendo os experimentos de Buffon, concluiu que este não estudou os animálculos do sêmen, mas sim, animais infusórios que surgiam no sêmen decorrentes da decomposição de matéria orgânica, já que Buffon deixou esse material em repouso durante muito tempo antes de fazer suas observações (Sandler, 1973). As mudanças que os supostos animálculos sofriam, eram, na verdade, o surgimento de vários microrganismos contaminando a água (Farley, 1936).

Maupertuis conhecia a teoria de Buffon e considerou os resultados experimentais obtidos por ele como sendo “provas” de sua própria teoria (Ramos, 2004). Maupertuis defendia que o epigenismo explicava melhor fenômenos de geração, tais como a semelhança dos filhos com o pai e com a mãe simultaneamente, as características de animais híbridos e a geração de “monstros”³⁵ (Ramos, 2005).

Maupertuis explicou a geração da seguinte forma: em cada um dos fluidos seminais teria partes gerativas pré-formadas oriundas de todos os órgãos dos pais. Cada parte estaria pré-determinada a formar, no embrião, o órgão do qual se originou (e.g. coração, cabeça, braços, pernas). Ao misturar os fluidos seminais do macho e da fêmea e, portanto, as partes gerativas pré-formadas de cada um, estas se atrairiam mutuamente a partir de forças especiais, levando à formação do embrião. Quanto mais semelhantes forem as partes, ou seja, quanto mais próximas elas forem estar umas das outras no embrião, maior é a força de atração entre elas (Farley,

³⁵ No século XVIII, usava-se o termo “monstro” para se referir a organismos com “alguma alteração congênica mais marcante” (Ramos, 2005, p. 87), como dedos a mais ou a menos, despigmentação total ou parcial da pele e desorganização de embriões natimortos (como a presença de duas cabeças) (Ramos, 2005).

1936; Ramos 2005). Posteriormente, Maupertuis buscou unir a ideia das forças postuladas em sua teoria com as de Buffon, substituindo as forças de atração das partículas gerativas pelas propriedades psíquicas de desejo, aversão e memória, que determinariam a ordenação dos corpos e garantiria a preservação das espécies e semelhança dos filhos aos pais³⁶ (Ramos, 2004).

Needham acompanhou muitas das observações de Buffon, além de ter feito suas próprias observações com infusões de sementes. Dessa forma, a explicação de Needham para a geração é bastante semelhante à de Buffon (Prestes, 2003). No entanto, Needham abandona a ideia de Buffon de que os seres microscópicos eram apenas partes orgânicas e passa a defender que eles são organismos verdadeiros que nascem da decomposição de animais e vegetais por meio de uma “força vegetativa” presente em “todo ponto microscópico de matéria e todo filamento visível” (Prestes, 2003, p. 162). Needham chamou esse processo de formação de seres vivos de “vegetação”, uma alternativa tanto ao pré-formismo quanto ao materialismo do qual era acusado por defender ideias epigênicas³⁷ (Prestes, 2003).

É nesse contexto que Needham realiza seu famoso experimento usando caldo de carne de carneiro, planejando mostrar uma geração por meio das “forças vegetativas” a partir da decomposição de matéria nas infusões. No entanto, esse experimento lhe rendeu críticas de pesquisadores como Bonnet e Spallanzani, pois foi visto como uma tentativa de retomar a ideia da geração espontânea, o que Needham negou, justificando que a “vegetação” era um processo regular, prescrito por Deus e operado por leis epigenéticas (Prestes, 2003).

Como pôde ser observado até momento, nos séculos XVII e XVIII foram feitas diversas investigações relacionadas à pré-formação e epigênese, à natureza dos animálculos e às estruturas do macho e da fêmea envolvidas na reprodução. Algumas das questões investigadas foram resolvidas, enquanto outras permaneceram em aberto por pelo menos mais meio século. A existência de germes pré-formados nos animálculos já não era mais aceita no final do século XVIII, principalmente por questões filosóficas e falta de evidências experimentais. A fecundação de ovos por vapores emanados do sêmen (*aura seminalis*) também já tinha sido descartada por muitos pesquisadores, apesar de ela ainda ser mencionada

³⁶ Ramos (2003) traz mais detalhes sobre as propriedades psíquicas propostas por Maupertuis, que não serão exploradas aqui por fugirem do escopo deste trabalho.

³⁷ Needham era um religioso fervoroso e buscou afastar a imagem de ser materialista (Prestes, 2003)

e investigada no século XIX. A maioria dos pesquisadores, sejam eles ovistas ou epigenistas, também negavam a participação dos animálculos na geração de novos organismos. De modo geral, acreditava-se que novos organismos eram gerados pela mistura do líquido seminal do macho com ovos das fêmeas contendo embriões pré-formados ou pela mistura dos líquidos seminais do macho e da fêmea. No entanto, ainda estava longe de haver um consenso entre os pesquisadores sobre a natureza, origem e papel dos animálculos na reprodução. Portanto, o século XIX se inicia com diversas questões ainda não resolvidas.

3.2. Estudos sobre a natureza dos espermatozoides e os mecanismos da fecundação no século XIX

No início do século XIX, muitos pesquisadores ainda consideravam os animálculos parasitas dos testículos dos machos, o que tinha implicações diretas no papel atribuído aos espermatozoides na reprodução. Conforme mencionado anteriormente, os ovistas do século XVIII, propunham que esses animálculos seriam formados a partir de ovos, assim como outros parasitas. Já os epigenistas alemães, propunham que os animálculos seriam formados por meio de geração espontânea³⁸ nos testículos dos machos, assim como diversos vermes parasitas (Entozoa) que eram encontrados no intestino. Dessa forma, Von Baer, em 1827, deu aos animálculos o nome “espermatozoa” (ou espermatozoides), que significa “animais do sêmen”. Os espermatozoides ainda foram classificados por Georges Curvier (1769-1832), em 1817, no gênero das cercárias³⁹ e, por Richard Owen (1804-1892), em 1835, como pertencentes ao grupo dos “Entozoa” (Clarke, 2006).

Contudo, a animalidade dos espermatozoides não era tida como certa por alguns pesquisadores. Para Rudolph Wagner (1805-1864), por exemplo, que publicou artigos sobre o assunto em 1837 e 1842, não era possível afirmar que os espermatozoides eram animais porque não havia nada conclusivo sobre a organização interna deles, apesar de seu movimento independente e modo de desenvolvimento semelhante aos dos animais. Considerando a possível animalidade dos espermatozoides, Wagner buscou explicar a fecundação por meio do contato do ovo com o sêmen, como um todo. Já outros pesquisadores, como os alemães Gustav Valentin (1810-1883) e Friedrich Gerber (1823-1891), alegavam ter visto órgãos,

³⁸ Os pesquisadores franceses já não aceitavam muito bem a geração espontânea desde o século XVII. No entanto, essa teoria ainda encontrava adeptos na Alemanha no século XIX (Farley, 1936).

³⁹ Hoje, as cercárias são reconhecidas como sendo o estágio larval do parasita Trematódeo.

como boca, ânus e órgãos sexuais dentro dos espermatozoides, o que ajudou a fortalecer a ideia de que eles eram verdadeiros animais (Farley, 1936).

Na década de 1830, com o acúmulo de evidências da presença universal dos espermatozoides em animais machos, tornou-se cada vez mais aceita a possibilidade de eles terem um papel importante na fecundação. Por isso, alguns pesquisadores começaram a aceitar essa possibilidade ao mesmo tempo em que os consideravam parasitas. Nesse caso, a importância dos espermatozoides não seria contribuindo de forma material na formação do novo ser, mas, sim, ajudando a manter a integridade e capacidade de fecundação do fluido seminal como um todo, por exemplo, ao auxiliar, com seus movimentos, a mistura de elementos químicos fundamentais para a fecundação (Farley, 1936).

No entanto, dois pesquisadores que desenvolveram suas pesquisa em Genebra, tinham propostas bem diferentes das mais comumente aceitas na época. Apesar de não saberem exatamente a natureza dos animálculos, Jean-Louis Prévost e Jean-Baptiste Dumas, defenderam, em um artigo publicado em 1821, que os animálculos seriam produtos de secreção produzidos nos testículos, e não parasitas (Farley, 1936). Posteriormente, em trabalhos publicados em 1824, esses pesquisadores propuseram que os animálculos tem um papel central na reprodução, contribuindo materialmente com a formação do novo indivíduo por meio da penetração nos óvulos durante a fecundação, sendo que apenas um animálculo seria necessário para a formação de um embrião.

As ideias de Prévost e Dumas não foram bem aceitas na época. Eles não apresentaram evidências experimentais suficientes para convencer outros pesquisadores a abandonar a ideia de que os animálculos eram parasitas. Além disso, a proposta de que os animálculos contribuem materialmente para a formação dos novos indivíduos foi vista como uma retomada do já esquecido animalculismo. Outra razão para os pesquisadores serem associados ao animalculismo era a explicação de Dumas⁴⁰ para o mecanismo da fecundação. Segundo o pesquisador, a partir da observação do desenvolvimento do embrião, era possível dizer que o animálculo é o rudimento do sistema nervoso e a membrana na qual ele se implanta após penetrar no ovo forma todos os outros órgãos do embrião. Apesar da visão

⁴⁰ Apesar de Prévost e Dumas desenvolverem muitas pesquisas e publicarem muitos artigos juntos, os dois pesquisadores diferiam em suas explicações sobre o mecanismo da fecundação, as quais foram publicadas separadamente, por Prévost, em 1825 e, por Dumas, em 1827 (Farley, 1936)

animalculista de Dumas, Prévost tinha uma visão essencialmente epigenista da fecundação. Ele defendia que o embrião se formava como um resultado de sucessivas ações que têm início com a ação do animálculo no blastodisco do ovo, sendo que nem o animálculo, e nem o blastodisco, formariam uma parte desse novo ser vivo (Farley, 1936).

Embora rejeitados no momento em que foram publicados, os trabalhos de Prévost e Dumas foram eventualmente reconhecidos e tiveram grande impacto nos estudos realizados por George Newport na década de 1850, conforme será visto no próximo capítulo. Por isso, nas próximas páginas serão abordadas algumas das investigações realizadas por esses pesquisadores, em especial aquelas que, de alguma forma, estão relacionadas aos trabalhos de Spallanzani (abordado nas seções anteriores) e Newport.

Prévost e Dumas, ao estudarem o sêmen de machos de várias espécies de vertebrados e invertebrados, notaram a presença de animálculos no sêmen de animais em idade reprodutiva e a ausência deles em animais imaturos e velhos. Eles também sabiam da ausência de animálculos na mula, que é um animal estéril. Por isso, concluíram que há uma relação íntima entre a presença de animálculos em um organismo sua capacidade de se reproduzir (Farley, 1936).

Prévost e Dumas publicaram dois artigos em 1824 nos *Annales des Sciences Naturelles*⁴¹ de Paris, pelos quais receberam o Prêmio Montyon, da Academia de Ciências de Paris. Nesses artigos, eles estudam diversos aspectos da reprodução animal dos batráquios (anuros)⁴². No primeiro deles, intitulado “Deuxième Mémoire sur la génération. Rapport de l’oeuf avec la liqueur fécondante. Phénomènes appréciables résultant de leur action mutuelle. Développement de l’oeuf des Batraciens”, são abordados estudos sobre a duração e efeito da temperatura na cópula das rãs, condições da fecundação e mudanças nos ovos depois da fecundação. No segundo artigo, “Deuxième Mémoire sur la génération. Rapport de l’oeuf avec la liqueur fécondante. Phénomènes appréciables résultant de leur action mutuelle. Développement de l’oeuf des Batraciens (suite)”, Prévost e Dumas investigam diferentes fatores que afetam a fecundidade dos ovos das fêmeas, como

⁴¹ Os *Annales* foram fundados em 1824 por Dumas e mais dois colegas: Jean Victor Audouin (1797-1841) e Adolphe Brongniart (1801-1876) (Farley, 1936).

⁴² Janczur (2016) menciona que, anteriormente, Prévost e Dumas tinham tentado investigar o fenômeno da fecundação em mamífero e aves, mas sem sucesso.

o tempo de permanência na água, tempo fora do útero e presença das camadas de muco que são adicionadas quando os ovos chegam no útero. Nesse artigo, os pesquisadores também descrevem dois experimentos bastante parecidos com os realizados por Spallanzani, no século anterior (Janczur, 2016).

Um desses experimentos tinha como objetivo investigar se os vapores do sêmen tinham o poder de fecundar os ovos. Prévost e Dumas repetiram, com modificações, alguns experimentos de Spallanzani⁴³, chegando à mesma conclusão que este pesquisador, de que é necessário que haja contato material entre os ovos e o sêmen para que a fecundação ocorra (Prévost e Dumas, *apud* Janczur, 2016). O outro experimento foi o de filtração do sêmen, que eles fizeram antes de tomar conhecimento de que Spallanzani tinha feito algo muito semelhante no século anterior⁴⁴.

Para entender as motivações de Prévost e Dumas para realizar o experimento de filtração do sêmen, é importante conhecer algumas investigações que eles realizaram anteriormente (Janczur, 2016). Com o objetivo de determinar a duração do poder fecundante do sêmen, os pesquisadores obtiveram sêmen de testículos e vesículas seminais e o dividiram em cinco partes iguais. Cada uma dessas partes foi colocada em contato com 15 ovos após passadas 0, 12, 18, 24 e 36 horas (série coordenada de experimentos com uma variável). Até 18 horas depois de obtido, o sêmen possuía muitos animálculos em movimento. Após 24 horas, o sêmen já não possuía tantos animálculos em movimento. E, após 36 horas, não havia animálculos se movendo no sêmen. Quanto mais tempo havia passado entre a obtenção do sêmen e sua aplicação nos ovos, menor era a quantidade de ovos que se desenvolvia em girinos, sendo que o sêmen obtido 36 horas antes não fecundou nenhum ovo.

Segundo os próprios pesquisadores, esses resultados podiam ser explicados de diferentes maneiras. Uma delas era a de que animálculos em movimento são necessários para que ocorra a fecundação. Outra possibilidade, segundo os autores, era que o tempo transcorrido, além de “matar” os animálculos também provocava a decomposição de qualquer outro princípio fecundante que eventualmente existisse no sêmen. Para descartar esta segunda possibilidade, os autores buscaram imaginar

⁴³ A descrição mais detalhada desse experimento pode ser encontrada em Janczur (2016).

⁴⁴ Prévost e Dumas comentam que “Ele [Spallanzani] a [experiência] colocou em sua obra como uma nota de pouca importância, o que nos impediu de reparar nela anteriormente. Se nós a tivéssemos conhecido, ela nos teria poupado muitos testes inúteis” (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016, p. 13)

procedimentos experimentais que levassem à interrupção do movimento dos animálculos, sem alterar a natureza do líquido, como por exemplo, por meio da filtração do sêmen (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016).

O experimento de filtração do sêmen realizado por Prévost e Dumas foi repetido duas vezes. Nesse experimento, 100g de sêmen, obtido de 12 testículos e 12 vesículas seminais, foram passados por cinco filtros encaixados uns nos outros⁴⁵, os quais haviam sido previamente lavados com água destilada durante vários dias. As primeiras porções que passaram pelo filtro foram filtradas novamente. Depois de uma hora, foram obtidos 10g de líquido filtrado, que foi depositado em um vaso limpo. Esse filtrado foi analisado em busca de animálculos, mas nenhum foi encontrado. Em seguida, esse filtrado foi colocado em contato com 15 ovos, os quais “estragaram” ao final de alguns dias. O líquido que sobrou no filtro foi despejado sobre uma massa com centenas de outros ovos, que foram fecundados (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016).

Prévost e Dumas reconhecem que eles obtiveram os mesmos resultados de Spallanzani nos experimentos de filtração do sêmen e comentam:

A experiência de Spallanzani é muito importante, no sentido de ter apontado que a diminuição de nascimentos aumentava com o número de filtros empregados e que, no final, ela se tornaria totalmente nula, enquanto o líquido retirado dos papéis conservasse as propriedades fecundantes. Esses dados preciosos se relacionam com aqueles que já vimos do número decrescente dos animálculos sob as mesmas circunstâncias, e não podem mais deixar dúvida sobre seu papel ativo no ato da geração (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016, p. 13)

O trecho acima mostra que, para Prévost e Dumas, a combinação dos resultados de Spallanzani com os deles não deixa dúvidas de que os animálculos são a parte do sêmen com a capacidade fecundante, apesar de Spallanzani não ter atribuído a capacidade fecundante do sêmen aos animálculos. Nas palavras de Prévost e Dumas, tendo “constatado, de maneira bem satisfatória, a necessidade dos animálculos no que se refere às fecundações artificiais” (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016, p. 13), o próximo passo seria o de investigar o modo de ação dos

⁴⁵ Os autores comentam que, o líquido que passa por apenas um filtro contém muitos animálculos em movimento. Já o líquido que passa por quatro filtros não possui animálculos. Por isso, eles optaram por usar cinco filtros encaixados. Os autores também comentam que tentaram fazer a filtração por diferentes métodos, como usando uma camada de vidro muito fina (o que não deu certo) e assentando um depósito espesso de sílico recém-precipitado em um filtro, o que não chegou a ser testado porque tiveram a ideia de multiplicar os filtros para obter o resultado desejado (Janczur, 2016). No entanto, não foram encontradas informações sobre o tipo de filtro utilizado.

animálculos.

Prévost e Dumas investigaram, por exemplo, quantos ovos poderiam ser fecundados com uma certa quantidade conhecida de animálculos. Para responder essa questão, eles diluíram sêmen obtido de vesículas seminais e passaram a mistura por uma gaze, para eliminar resíduos. Uma gota desse sêmen diluído foi, então, colocada em um micrômetro dividido em quadrados e a quantidade de animálculos ativos em cada quadrado foi contada. Depois, esse sêmen foi misturado com água e a mistura foi separada em frações. Desse modo, eles puderam estimar quantos animálculos haveria em uma certa quantidade de sêmen diluído. Diferentes quantidades desse sêmen foram colocadas em contato com ovos e um dos resultados que eles obtiveram foi o seguinte: 225 animálculos fecundaram 61 ovos, de um total de 380. Nas outras vezes que esse experimento foi realizado, a proporção de ovos fecundados foi menor. Nos experimentos também foram usadas diferentes quantidades de água para diluir o sêmen, o que não pareceu afetar os resultados (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016).

Em um outro experimento, para investigar a possibilidade dos animálculos penetrarem nos óvulos, Prévost e Dumas colocaram ovos de rã em uma mistura de sangue com água. A camada de muco envolvendo o óvulo ficou vermelha e mais espessa, e com isso, os pesquisadores concluíram que esse muco era capaz de absorver água e partículas sólidas de tamanho limitado. Prévost e Dumas também relataram, em um outro momento, terem observado animálculos no muco do óvulo e concluíram que animálculos também eram capazes de penetrar os envelopes e entrar em contato íntimo com o ovo (Farley, 1936).

Poucos anos depois da publicação dos artigos de Prévost e Dumas, começaram a ocorrer mudanças importantes nas pesquisas sobre reprodução animal, impulsionadas por estudos em outras subáreas do que hoje chamamos de ciências biológicas e também por melhorias nos microscópios. O desenvolvimento das lentes acromáticas, na década de 1820, reduziram as aberrações cromáticas presentes nos microscópios anteriores, que dificultavam a análise dos materiais. Foi utilizando lentes acromáticas, por exemplo, que von Baer conseguiu, em 1827, observar os óvulos das fêmeas mamíferas dentro do oviduto e estabelecer sua origem dentro dos folículos de Graaf (Jensen e Prestes, 2011). Jan Purkinje (1787-1869), também utilizando as lentes acromáticas, conseguiu observar uma estrutura que chamou de vesícula germinativa, que seria o local do ovo onde estaria o germe

do pintinho a se desenvolver⁴⁶ (Farley, 1936).

No final da década de 1830 e início da década de 1840, mais pesquisadores, como Gottfried Treviranus (1776-1837) e Felix Dujardin (1801-1860), passaram a sugerir que os espermatozoides não eram parasitas. Dujardin propôs que eles seriam um “produto, uma derivação da camada interna dos túbulos seminíferos; não uma secreção, mas um produto progressivamente formado, um produto conservando uma forma de vitalidade necessária para contribuir com a formação do embrião.” (Dujardin, 1837 apud Farley, 1936). Albert von Kölliker (1817-1905), em 1841, ao estudar a histologia dos testículos de invertebrados, observou que algumas de suas células eram convertidas em espermatozoides, um indício de que estes seriam células móveis (Moore, 1987). Ele ainda afirmou que os espermatozoides não possuem organização animal e não se propagam. Para ele, os espermatozoides são partes organizadas do fluido seminal, assim como os corpúsculos do sangue e os ovos (Farley, 1936).

Essas observações estavam ocorrendo concomitantemente com o desenvolvimento da teoria celular, por Matthias Schleiden (1804-1881) e Theodor Schwann (1810-1882), entre 1838 e 1842, a qual ajudou a esclarecer a natureza dos espermatozoides⁴⁷. De acordo com a formulação desses autores, todos os tecidos, em plantas ou animais, se originam apenas de células. Dessa forma, Schwann afirmou que o ovo descrito por von Baer provavelmente era uma célula e que a vesícula germinativa descrita por Johannes Purkinje (1787-1869) era seu núcleo (Farley, 1936).

O desenvolvimento da teoria celular juntamente com a queda da popularidade da teoria da geração espontânea, decorrente das pesquisas que também vinham sendo realizadas acerca dessa questão, contribuíram com o fim da crença de que os espermatozoides eram parasitas. Os espermatozoides passaram a ser considerados um resultado da divisão ou propagação celular que ocorre nos testículos (Farley, 1936). Havendo, agora, uma outra explicação para a natureza dos espermatozoides, tornou-se mais plausível atribuir a eles um papel central na fecundação. Desse modo, muitas pesquisas realizadas entre os anos de 1840 e 1860 tiveram como objetivo

⁴⁶ Até então, não havia sido estabelecido no ovo o local de onde o embrião se desenvolve e a parte do ovo destinada a servir de alimento ao embrião (Farley, 1936).

⁴⁷ É importante ressaltar, no entanto, que estudos de estruturas conhecidas hoje como células já vinham sendo feitos há muitos anos e que houve muitas pesquisas anteriores buscando um elemento comum a todos os seres vivos (Moore, 1987; Prestes, 1997).

desvendar o modo de ação dos espermatozoides na fecundação. É importante mencionar, aqui, que no século XIX, houve grande influência dos conhecimentos químicos nas ideias referentes à geração dos seres vivos, em contraposição à influência das ideias da física nos séculos XVII e XVIII. Essa maior influência da química foi decorrente de seu fortalecimento enquanto uma área de pesquisa independente e de mudanças no modo de se fazer pesquisa nessa área no século XVIII (Hankins, 2010). Na Alemanha, as pesquisas sobre a geração dos animais já eram influenciadas pelos conhecimentos da química desde o século XVIII. Lá, o epigenismo tinha se fortalecido no final do século, mas, diferentemente do que ocorreu na França, onde os mecanismos eram explicados pela filosofia mecanicista de Newton, a mistura dos fluidos do macho e da fêmea era explicada em termos químicos (Farley, 1936).

No final da década de 1840, era grande a adesão dos pesquisadores à ideia de que os espermatozoides eram os constituintes elementares da organização animal e os agentes diretos da fecundação, atuando pelo contato com o óvulo. Até a década de 1850, a maioria dos pesquisadores considerava que os espermatozoides atuavam por meio de contato com óvulo, sem contribuir materialmente com a formação do embrião. Entretanto, alguns pesquisadores afirmavam ter visto a entrada de espermatozoides no óvulo⁴⁸. A seguir, são apresentados alguns exemplos das propostas para o modo de atuação dos espermatozoides durante a fecundação.

Von Kölliker propôs que o ovo e o espermatozoide seriam substâncias antagônicas, que, ao encostarem uma na outra, imediatamente fazem com que um deles cresça em uma terceira substância, diferente das duas anteriores. Dessa forma, os espermatozoides, que possuem vitalidade, ao encostar nos ovos, que possuem vida latente, os estimularia a formar um novo indivíduo (Farley, 1936).

Theodor Ludwig Bischoff (1807-1882), estudando o desenvolvimento do óvulos de coelhos, propôs que a fecundação ocorria por uma interação química entre o óvulo e o sêmen, de modo que um influenciaria materialmente o outro. Bischoff, no

⁴⁸ As declarações de observações de espermatozoides dentro do ovo devem ser analisadas com cautela. Apesar das lentes acromáticas terem permitido melhor visualização do ovo e dos espermatozoides, o ato da penetração dos espermatozoides dentro do ovo não podia ser observado diretamente usando as técnicas disponíveis durante a maior parte do século XIX. Para observar a penetração do núcleo dessas células seria necessário usar corantes nucleares, os quais só foram desenvolvidos na década de 1870. Até meados do século XIX o que poderia ser observado ocasionalmente, em alguns animais, era o espermatozoide dentro da membrana que circunda o ovo, mas que devido à sobreposição com outras partes do ovo poderia dar a impressão de que estava dentro dele (Farley, 1936).

entanto, negava que essa influência resultasse na penetração do espermatozoide no óvulo, apesar de não negar a possibilidade de entrada da parte líquida do sêmen. Reconhecendo a grande quantidade de evidências que sugeriam uma relação entre a presença de espermatozoides e a capacidade fecundante do sêmen, Bischoff atribuiu aos espermatozoides o papel de manter o sêmen em movimento, o que seria importante para manter sua capacidade de fecundação (Farley, 1936).

Na década de 1840, a Inglaterra começou a se destacar nas pesquisas sobre reprodução animal que envolviam microscópios. Martin Barry (1802-1855), assim como Bischoff, também investigou ovos e espermatozoides de coelhos (Farley, 1936). No entanto, em um trabalho publicado em 1840, Barry afirmou ter visto uma fissura no ovo pela qual provavelmente os espermatozoides entrariam até chegar na vesícula germinativa (Cole, 1930). Poucos anos depois, em 1843, Barry afirmou ter visto espermatozoides dentro da membrana do ovo e que suas observações teriam sido confirmadas por colegas, como os professores Owen, Sharpey e Grainger (Barry, 1843).

Bischoff, em meados da década de 1840, ainda não estava satisfeito com as explicações propostas na época para o fenômeno da fecundação. Para ele, as explicações fornecidas não eram causais, mas sim afirmações das condições necessárias para a fecundação. Ele, inclusive, criticou os trabalhos de Barry e não aceitava que houvesse penetração dos espermatozoides nos óvulos. Buscando explicar a fecundação, Bischoff encontrou na teoria da “excitação da ação química através de mero contato”⁴⁹, de seu colega Justus von Liebig (1803-1873) uma alternativa (Farley, 1936). Na época, essa teoria era usada para explicar diversos fenômenos, como a fermentação, a produção de doenças contagiosas e crescimentos benignos e malignos. Segundo Bischoff, na fecundação o espermatozoide transmitiria para o óvulo o movimento molecular contido dentro dele (que é percebido pelo movimento da cauda), o qual direcionaria e regularia a movimentação interna dos elementos do vitelo do ovo, resultando na formação de um embrião. Desse modo, o sêmen operaria pelo contato, através de um poder catalítico (Farley, 1936). Por algum tempo, Bischoff negou a entrada do

⁴⁹ Segundo essa teoria, há alguns tipos especiais de transformações químicas que ocorrem da seguinte forma: uma perturbação, como o calor ou contato com outra substância, faz com que haja um distúrbio no equilíbrio atômico de um composto. Esse distúrbio é caracterizado pela movimentação dos átomos, que se rearranjam na formação de um novo composto (Farley, 1936).

espermatozoide no óvulo. No entanto, ele afirmou em um de seus artigos, em 1847, que se houvesse a dissolução dos espermatozoides e a entrada de suas moléculas pela membrana do vitelo, o mesmo efeito seria promovido. Dessa forma, Bischoff passa a assumir a possibilidade da entrada do espermatozoide (ou de seus constituintes) no óvulo, mas continuou negando que os espermatozoides tivessem qualquer papel material na formação de novos seres. Os ovos teriam todas as partes necessárias para formar o novo indivíduo (Farley, 1936).

Jean Louis Quatrefages (1810-1892), Rudolf Leuckart (1822-1898) e Wagner (mostrando uma mudança de opinião após alguns anos), são outros pesquisadores que defendiam que os ovos se desenvolviam a partir do contato com os espermatozoides (Farley, 1936; Cole, 1930).

Portanto, ao final de 1840 e início de 1850, já havia indícios de que a fecundação era realizada pelos espermatozoides, mas o modo pelo qual isso ocorreria ainda não estava claro. No início da década de 1850, foi a vez de George Newport expor suas contribuições a essas questões tão discutidas. Conforme será visto no próximo capítulo, à princípio, Newport também não acreditava que os espermatozoides penetrassem nos óvulos, pois não conseguiu obter indícios à favor disso experimentalmente. Porém, ao mudar os instrumentos utilizados na observação microscópica da interação dos óvulos com os espermatozoides, mudou de opinião e propôs um novo mecanismo para explicar a fecundação.

4. GEORGE NEWPORT (1803-1854)

Neste capítulo serão apresentados, primeiro, a biografia científica de George Newport e, em seguida, um resumo das suas três obras sobre anfíbios com foco nos experimentos que realizou para responder as seguintes questões:

- a) Qual parte do sêmen é responsável pela fecundação dos óvulos?
- b) Como os espermatozoides realizam a fecundação dos óvulos?

4.1. Biografia Científica de George Newport

George Newport nasceu em 4 de julho de 1803⁵⁰ na cidade de Cantuária (*Canterbury*), no condado de Kent, no sudeste da Inglaterra. Foi o primeiro de quatro filhos de Sarah Gillham (1778-1859) e William Newport (1777-1843) (Coggon, 2004). Desde jovem demonstrou grande interesse em leitura, desenho e estudo de insetos, o que influenciou fortemente os trabalhos que desenvolveu posteriormente (Proc. R. Soc. Lond., 1856).

Após cursar a educação primária, aos 14 anos tornou-se aprendiz no negócio de seu pai, que era um fabricante de rodas. Diante de dificuldades financeiras, permaneceu nesse trabalho por um longo período, até junho de 1826 (Coggon, 2004).

Em 1825, foi fundada a *Canterbury Philosophical and Literary Institution*⁵¹ e Newport passou a frequentar sua biblioteca, estudar suas coleções de história natural e de antiguidades e assistir a palestras lá oferecidas. Newport também fez um curso de mecânica e passou a lecionar sobre o assunto (Clarke, 2008). No mesmo ano (1825), tornou-se membro da *Canterbury Philosophical Society* (Proc. Linn. Soc. Lond., 1855). No ano seguinte foi inaugurado o novo prédio da Sociedade, e Newport foi eleito curador do museu dessa instituição (Proc. Linn. Soc. Lond., 1855; *The Medical Times and Gazette*, 1854) recebendo um pequeno salário. Passou também a ministrar palestras e fazer demonstrações de entomologia (Proc. R. Soc. Lond., 1856). Newport contribuiu com as coleções do museu ao doar muitos espécimes dos insetos coletados ao longo de sua vida⁵² (Clarke, 2008).

⁵⁰ Data de nascimento segundo Clarke (2008), *Proc. R. Soc. Lond.* (1856), *The Lancet* (1855) e Plarr (1930). A data de nascimento de George Newport mencionada nos *Proc. Linn. Soc. Lond.* (1855) é 14 de fevereiro de 1803 e em Coggon (2004) é 4 de fevereiro de 1803.

⁵¹ Mais informações sobre a Instituição podem ser encontradas em: Historic Canterbury. Disponível em: <<http://www.machadoink.com/The%20Museum%20and%20Free%20Library.htm>>. Acesso em: jan. 2018.

⁵² Listas de algumas das palestras ministradas por Newport e de alguns dos espécimes doados por ele podem ser encontradas em *Canterbury Philosophical and Literary Institution* (1827).

Durante seu trabalho no museu, Newport conheceu William Henry Weekes (1790- 1850), um cirurgião que na época residia na cidade de Sandwich, localizada no mesmo condado de Kent. Em 1828, Newport se mudou para Sandwich e tornou-se aprendiz do cirurgião. Devido a um acordo estabelecido entre Newport e Weekes, Newport não recebeu remuneração durante esse período e precisou da ajuda financeira de amigos que permaneceram na Cantuária, os quais receberam de volta os valores emprestados nos anos seguintes (Proc. R. Soc. Lond., 1856).

Após quatro anos trabalhando com Weekes, Newport foi para Londres para dar continuidade a seus estudos médicos e se matriculou na *University of London* (hoje *University College of London*) em janeiro de 1832 (Plarr, 1930). Devido a sua situação financeira, Newport, por intermédio do médico e fisiologista Inglês Marshall Hall (1790-1857), que o ajudou material e financeiramente, solicitou apoio de seus professores para que pudesse cursar suas aulas. Entre esses professores estava Robert Edmond Grant (1793-1874), um conhecido zoólogo com quem Charles Darwin (1809-1882) conviveu nos dois anos que passou na Universidade de Edimburgo, entre 1825 e 1827⁵³ (Cortez, 2018). Newport foi aluno aplicado nas aulas de Anatomia Comparada ministradas por Grant (Coggon, 2004).

Em 1835, Newport tornou-se licenciado pela *Society of Apothecaries of London* e membro do *Royal College of Surgeons of Engand*, na época, “a combinação usual de diplomas para a prática médica” (Clarke, 2008). A partir de abril do mesmo ano, Newport passou a ocupar o posto de cirurgião (*house-surgeon*) na *Chichester Infirmary* (hoje *St. Richards Hospital*), na cidade de Chichester, no sudeste da Inglaterra, pela influência do Dr. Forbes (depois *Sir John*), que na época era um dos Médicos do Hospital (Proc. Linn. Soc. Lond., 1855; The Medical Times and Gazette, 1854). Newport ocupou esse posto até janeiro de 1837 (Plarr, 1930), o que melhorou sua condição financeira (Proc. R. Soc. Lond., 1856).

Ao sair da Chichester, Newport retornou para Londres, onde clinicou junto com um jovem cirurgião com quem havia trabalhado anteriormente⁵⁴. Essa parceria durou bastante tempo, mas não trouxe grandes resultados financeiros (Proc. R. Soc. Lond., 1856).

⁵³ Nesse período, Grant, um lamarckista convicto na transformação das espécies, discutiu essas ideias com o jovem Darwin que chegou em Edimburgo com 16 anos de idade, para cursar Medicina (Cortez, 2018).

⁵⁴ Não fica claro, na fonte consultada, quem seria esse cirurgião.

Paralelamente ao trabalho com seu pai e à dedicação para a formação e prática médica, Newport continuou dedicando-se às atividades pelas quais tinha mais interesse, principalmente, a observação e investigação de insetos. Essas investigações resultaram em diversos artigos sobre fisiologia e anatomia de insetos e de outros animais articulados, que foram publicados nas décadas de 1830 e 1840 em importantes periódicos, como *Philosophical Transactions of the Royal Society*, *Transactions of the Entomological Society* e *Transactions of the Linnean Society* (Proc. R. Soc. Lond., 1856).

Em meados da década de 1840, após alguns anos estudando a reprodução e desenvolvimento de artrópodes, George Newport passou a investigar a reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios pois, segundo ele, “Os *Amphibia*, de todos os animais vertebrados, possibilitam para nós os meios mais fáceis de investigar o difícil assunto da Impregnação por meio de experimentos reais”⁵⁵ (Newport, 1851a, p. 169).

Em 1847, Newport foi premiado com uma pensão da lista civil⁵⁶ de 100 libras por ano por sua grande dedicação à ciência e por suas contribuições à história natural, o que possibilitou que se dedicasse exclusivamente a pesquisas nessa área, o que fez até sua morte (Clarke, 2008).

Newport publicou um total de 46 trabalhos, que foram produzidos em um período de 25 anos⁵⁷ (Coggon, 2004). Algumas de suas obras relacionadas a animais invertebrados que podem ser destacadas são:

- a) “On the Nervous System of the *Sphinx ligustri*, Linn., and on the Changes Which It Undergoes during a Part of the Metamorphoses of the Insect” (1832), que foi sua primeira contribuição à *Philosophical Transactions*, e a continuação desse artigo: “On the Nervous System of *Sphinx Ligustri* (Part 2) during the later stages of its Pupa and its Imago State; and on the means by which its development is effected”, publicado em 1834, os quais lhe renderam

⁵⁵ A palavra “impregnação” refere-se ao fenômeno hoje denominado de fecundação ou fertilização.

⁵⁶ A lista civil é uma lista de indivíduos do Reino Unido que recebem uma pensão do governo “por seus serviços pessoais à Coroa, ou pela execução de deveres para o público, ou por suas descobertas úteis em ciência e realizações na literatura e nas artes”, de acordo com o *Civil List Act*, de 1837 (CIVIL LIST. Wikipedia. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Civil_list>. Acesso em: jan. 2018).

⁵⁷ Na leitura de obituários da sessão da *Royal Society* de 30 de novembro de 1854, sete meses após o falecimento de Newport, é lida uma notícia biográfica sobre ele contendo essa lista de seus trabalhos. O texto, publicado como parte da ata dessa sessão encontra-se em Proc. R. Soc. Lond. (1856, p. 281-283).

uma *Royal Medal*⁵⁸ em 1836;

- b) “Observations on the Anatomy, Habits, and Economy of *Athalia centrifoliae*, the Saw-fly of the Turnip, and on the Means Adopted for the Prevention of Its Ravages” (1838), proposto em conjunto com a *Entomological Society of London* e a *Agricultural Association of Saffron Walden*, pelo qual ganhou uma premiação;
- c) “The Bakerian Lecture - On the Organs of Reproduction, and the Development of the Myriapoda – First Series” (1841);
- d) *Catalogue of the Myriapoda in the collection of the British Museum* (1856), uma publicação póstuma.

Entre suas contribuições aos estudos de animais invertebrados, Newport descreveu a parte central do sistema nervoso dos *Articulata* e sua função, ajudou a construir o conceito de “atos reflexos” (*reflex action*), mostrou correspondência em função entre a parte central do sistema nervoso dos invertebrados e dos vertebrados e explicou o processo de crescimento dos miriápodes (Proc. R. Soc. Lond., 1856).

Entre 1851 e 1854, Newport publicou três artigos nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* com os resultados de suas pesquisas com anfíbios, os quais serão analisados neste trabalho:

- a) “On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (First Series)” (1851), pelo qual ganhou uma medalha da *Royal Society*;
- b) “On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia. (Second Series, Revised.) And on the Direct Agency of the Spermatozoon” (1853);
- c) “Researches on the Impregnation of the Ovum in the Amphibia and on the Early Stages of Development of the Embryo” (1854).

O último artigo teve material selecionado e coletado por George Viner Ellis (1812- 1900), professor de anatomia na *University College* de Londres, devido ao falecimento de Newport antes da conclusão da obra (Clarke, 2008).

George Newport foi eleito, em 1843, membro da *Royal College of Surgeons of*

⁵⁸ As *Royal Medals* são um dos prêmios concedidos pela *Royal Society*. Elas foram criadas pelo Rei George IV em 1825. Entre 1826 e 1964 duas medalhas eram atribuídas por ano, uma para contribuições às ciências físicas e outra, para contribuições às ciências biológicas. A partir de 1965 uma terceira medalha passou a ser atribuída para contribuições às ciências aplicadas (Royal Medals. Disponível em: <<https://royalsociety.org/grants-schemes-awards/awards/royal-medal/>>. Acesso em: 22 mar. 2018).

England, da qual ele foi um dos 300 membros originais. Também foi presidente da *Entomological Society* em 1844 e 1845 e membro da *Royal Society*, eleito em 1846, da qual mais tarde fez parte do Conselho. Também tornou-se membro da *Linnean Society* em 1847 e foi membro de outras sociedades estrangeiras de história natural (*Gentleman's Magazine*, 1854).

Ao que parece, Newport nunca se casou. Ele morreu em 7 de abril de 1854, em sua residência na Rua Cambridge em *Hyde Park*, Londres (Plarr, 1930) após complicações do que foi considerado um resfriado, contraído durante uma coleta de animais para seus estudos de fisiologia no *Shepherd's Bush*, no oeste de Londres (*The Medical Times and Gazette*, 1854). Ele foi enterrado no cemitério *Kensal Green*, onde um monumento de granito foi levantado em sua memória. Em seu epitáfio está escrito que “Este monumento foi erguido pelos membros da *Royal e Linnaean Societies*, para celebrar sua tristeza pela perda de um colega muito estimado, e para testemunhar sua consciência dos grandes serviços prestados por ele [Newport] à ciência” (*The Lancet*, 1855, p. 554).

Sua morte foi noticiada em diferentes jornais da época, como *The Medical Times and Gazette*, *The Lancet* e *Gentleman's Magazine* e nos boletins e periódicos de alguma sociedades da qual fez parte, como a *Linnean Society* e a *Royal Society*. Além de relatar alguns dados de sua biografia, esses *éloges* eram laudatórios, não apenas de suas habilidades como observador, mas também de sua personalidade, como mostram os dois trechos à seguir:

Sr. Newport foi dotado com aptidão singular para a busca que ele escolheu. Sua bem conhecida habilidade manual em pesquisas anatômicas minuciosas, e sua engenhosidade em inovar e destreza em realizar experimentos deu a ele grandes vantagens práticas; e essas qualidades foram combinadas com paciência e precisão na observação, e fidelidade em registrar o que ele via, separado do que ele pensava. Ele tinha um temperamento nervoso, o qual, como de costume, foi associado com atividade mental. No Sr. Newport isso ocorria pela inabalável perseverança de propósito e incansável poder de concentração. O mais fiel observador da natureza, o Sr. Newport não era menos leal enquanto pessoa. Ele foi merecidamente amado por aqueles que o conheciam melhor, foi o mais amável com aqueles que fizeram justiça a ele e cheio de gratidão àqueles que o tinham ajudado em suas lutas iniciais (*Proc. R. Soc. Lond.*, 1856, p. 284, 285).

Ele foi considerado por todos os homens da ciência um dos mais fieis observadores e como o mais cauteloso no desenho de suas inferências. Sua reputação foi tão grande entre os naturalistas e fisiologistas do Continente como em seu próprio país. Ele foi, na vida privada, um homem da mais rigorosa probidade e reputação, e tão rigidamente honesto em lidar com o mundo quanto em suas investigações científicas. Pode-se dizer que ele foi um mártir à ciência, já que a febre com a qual ele morreu originou com um resfriado severo contraído nas

terras pantanosas próximas ao *Sheperd's Bush* enquanto buscava seu suprimento anual de animais vivos para suas investigações fisiológicas (The Medical Times and Gazette, 1854, p. 393).

Por outro lado, mais do que meros *éloges* póstumos são encontrados no obituário lido pelo secretário da *Linnean Society* em reunião de 24 de maio de 1854, comemorativa do aniversário de nascimento de Lineu e da reeleição de Thomas Bell (1792-1880) como seu presidente. Nesse obituário, Newport também é elogiado por suas qualidades de observação, dissecação e desenho e pela relevância de seus trabalhos. Dois exemplos de suas habilidades relativas ao desenho podem ser encontrados nos Anexos A e B deste trabalho.

Em suas pesquisas, ele era peculiarmente notável pela sagacidade com a qual planejava seu curso de observações, a extrema organização e engenhosidade de suas invenções, sua hábil manipulação, a minúcia de suas dissecações e uma destreza em desenhar com a mão direita ou com a esquerda, o que lhe deu grande vantagem em delineamentos microscópicos. Como observador, é surpreendente o quanto ele realizou em seu início de carreira, com meios ópticos de um tipo muito imperfeito, e quão pouco ele encontrou para corrigir nessas observações quando fornecido com os melhores instrumentos modernos. Com estes, no entanto, ele foi capaz de ampliar o campo de suas observações e fazer grandes avanços para a solução de vários problemas de alto interesse fisiológico, mais especialmente em relação à reprodução de partes perdidas e a impregnação e desenvolvimento do óvulo em animais vertebrados (Bennet, 1854, p. 310).

Não preciso anunciar suas inúmeras e valiosas publicações; elas são conhecidas por todos vocês e por todos os fisiologistas da Europa. Suas descobertas na minúscula anatomia dos insetos e na fisiologia da geração como observada nos anfíbios são de primeira importância e são reconhecidas como tais onde quer que esses assuntos sejam conhecidos e investigados (Bell, 1854, p. 297-298).

Uma outra evidência de suas habilidades em dissecação pode ser encontrada em duas cartas que Charles Darwin (1809-1882) escreveu para Newport. A primeira dessas cartas foi enviada em julho de 1851 e nela, Darwin pediu emprestado para Newport uma de suas tesouras antigas “*afiadas por você e adaptadas para as melhores dissecações*” (Darwin, 1851b, grifo do autor). Na carta, pode-se entender que Darwin já tinha conhecido Newport pessoalmente em uma situação anterior e tinha observado como ele fazia suas dissecações. A segunda carta foi enviada por Darwin junto com a devolução das tesouras, agradecendo o empréstimo (Darwin, 1851a)⁵⁹.

⁵⁹ Em uma nota no website do *Darwin's Project*, de onde foram obtidas as cartas, é mencionado que não há registro da visita de Darwin a Newport. Também não foram encontradas cartas escritas por Newport a Darwin.

Em outro trecho da notícia dada pelo falecimento de Newport por Thomas Bell, presidente da *Linnean Society*, talvez mais à vontade por ter conhecido Newport pessoalmente, não omitiu traços críticos da personalidade do colega, como se pode ler aqui:

Eu o conhecia desde o começo de sua carreira. Foi durante o tempo em que estive dando aulas de Anatomia Comparada no *Guy's Hospital* que conheci Newport, na casa de um amigo em comum, e que alguns de seus primeiros artigos sobre anatomia de insetos foram mostrados para mim. Naquele momento, eu já fiquei encantado com a sua precisão, a elaborada minúcia dos detalhes, bem como a beleza das ilustrações com as quais eles estavam acompanhados. [...] Eu tive desde então uma comunicação muito frequente com ele e, ultimamente, alguns de seus trabalhos mais importantes passaram por minhas mãos, como secretário da *Royal Society*; e também tive a oportunidade de testemunhar muitos de seus experimentos. Senhores, foi dito que seu temperamento era peculiar, e até mesmo que ele era pouco justo em reconhecer os méritos daqueles que trabalharam no mesmo campo que ele. Eu não posso hesitar em negar em termos gerais a última acusação, e modificar a primeira pela certeza de que foi em grande parte por não conhecerem ele completamente, e permitindo e cedendo às suas peculiaridades, que ele tantas vezes entrou em penosa colisão com seus colegas naturalistas. Muitas vezes tive ocasião de discordar dele: eu nunca hesitei em dizer-lhe com franqueza quais eu considerava que eram suas faltas e em apontar erros e sugerir alterações em seus trabalhos. Não direi que ele sempre seguiu o conselho oferecido, embora tenha feito isso até mesmo contra sua opinião; mas ele sempre recebeu a sugestão da maneira mais amigável, e eu nunca tive qualquer desentendimento com ele. Ele amava e seguia a ciência por sua própria causa; e se ocasionalmente ele parecia um pouco tenaz em suas opiniões e excessivamente ansioso por sua própria fama, certamente isso era perdoável em alguém que desistiu de tudo pela busca do conhecimento, privando-se sem um murmúrio até mesmo dos confortos mais comuns, para que pudesse dedicar-se inteiramente ao único objeto nobre de sua vida. Ele trabalhou pelo conhecimento e talvez pela fama; mas ele nunca prostituiu a ciência para sair lucrando, nem combinou motivos ignóbeis a suas buscas. Eu ansiava poder contar tudo isso de alguém que eu realmente estimei e cuja perda, de um profundo e ardente investigador da natureza, eu lamento profundamente. (Bell, 1854, p. 298-299).

Como mencionado por Bell, o temperamento de Newport foi criticado por alguns de seus contemporâneos. De fato, há registro de confrontos de Newport nos periódicos da época. Em 1836, Newport havia recebido uma medalha da *Royal Society* por uma série de trabalhos sobre o sistema nervoso dos animais articulados. No entanto, Grant, com o apoio de Marshal Hall, acusaram Newport de ter plagiado as ideias que Grant apresentou em uma de sessão em 1832, sobre a função motora dos nervos abdominais nos animais articulados (Desmond, 1989, p. 232). Newport se defendeu das acusações apresentando diversos argumentos técnicos das investigações, como as datas dos estudos em questão, os nomes utilizados para se

referir às estruturas e as diferentes funções atribuídas às estruturas nervosas por cada um dos pesquisadores (The Lancet, 1838). O confronto entre os pesquisadores ocorreu entre 1836 e 1838 nas páginas do *The Lancet*.

Como pode ser observado, a trajetória de Newport foi marcada por muitas dificuldades financeiras, que impossibilitaram, durante algum tempo, sua dedicação exclusiva a pesquisar o que mais gostava, a entomologia. George Newport não é um pesquisador muito conhecido atualmente. No entanto, como relatado acima, ele foi bastante reconhecido pelos trabalhos que realizou, dentro e fora da Inglaterra, e conseguiu ocupar um lugar de destaque no meio acadêmico, fazendo parte de importantes sociedades relacionadas ao estudo da história natural.

Com base nesta pesquisa, é possível atribuir a posição de destaque de Newport a quatro fatores principais. O primeiro, foi sua persistência em estudar os assuntos que mais lhe interessavam, desde jovem, mesmo quando suas condições financeiras eram mais desfavoráveis. O segundo, foi o fato de ter nascido na Inglaterra, país de destaque nas investigações em história natural no século XIX, e sua proximidade física a importantes instituições acadêmicas, as quais passou a frequentar desde jovem. Estar em ambientes acadêmicos possibilitou a Newport conhecer pesquisadores consagrados, com os quais estabeleceu relações. O terceiro fator, que está relacionado ao anterior, foi a sua capacidade em estabelecer boas relações interpessoais ao longo da vida. Apesar dos atritos que teve com alguns pesquisadores e de algumas críticas feitas ao seu temperamento, Newport recebeu ajuda de amigos e de professores durante momentos de dificuldade financeira, o que possibilitou que continuasse seus estudos. Por fim, valem destaque suas habilidades de pesquisador, as quais incluíam habilidades manuais (principalmente com relação à dissecação e ao desenho) e à precisão de suas observações e registros, que possibilitaram a produção de trabalhos metodologicamente sólidos.

4.2. Artigos sobre reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios

Newport investigou diversos aspectos da reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios, os quais foram publicados em três artigos, entre 1851 e 1854. Devido à grande diversidade de aspectos investigados, não é possível apresentar todos aqui com o mesmo grau de detalhamento. Dessa forma, com base nos objetivos históricos e pedagógicos desta dissertação, será dado destaque às investigações referentes ao papel dos espermatozoides na fecundação e seu modo

de ação. Em linguagem de ensino por investigação, serão analisadas as concepções teóricas e as práticas científicas que Newport mobilizou para responder duas questões principais: Qual o papel dos espermatozoides na fecundação? De que modo os espermatozoides atuam na fecundação?

Antes de apresentar uma análise de cada um dos três artigos publicados, são apresentados, nos quadros 1, 2 e 3 a seguir, um resumo das principais características (quadro 1), aspectos investigados (quadro 2) e conclusões (quadro 3) de cada obra.

Quadro 1. Características gerais dos três artigos de George Newport sobre reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios - Autoria, local e ano de publicação e número de páginas.

Título dos artigos	Autoria, local e ano de publicação e número de páginas
On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (First Series)	<ul style="list-style-type: none"> • George Newport; • Volume 141 das <i>Philosophical Transactions of the Royal Society of London</i>; • 1851; • 76 p.
On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (Second Series Revised) and On the Direct Agency of the Spermatozoon.	<ul style="list-style-type: none"> • George Newport; • Volume 143 das <i>Philosophical Transactions of the Royal Society of London</i>; • 1853; • 58 p.
Researches on the Impregnation of the Ovum in the Amphibia; and on the Early Stages of Development of the Embryo (Third Series)	<ul style="list-style-type: none"> • George Newport e George Viner Ellis; • Volume 144 das <i>Philosophical Transactions of the Royal Society of London</i>; • 1854; • 16 p.

Quadro 2. Principais seções e temas investigados em cada um dos artigos de George Newport sobre reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios

Artigo	Principais seções e temas investigados
First Series	<ul style="list-style-type: none"> • Mudanças no óvulo dentro do corpo - óvulo ovariano, vesícula germinal, estrutura da vesícula germinal, tempo de desaparecimento da vesícula, modo de desaparecimento da vesícula, trânsito do óvulo, passagem para o oviduto; • Mudanças depois da desova e impregnação - primeiro período de desenvolvimento, mudanças imediatamente antes da segmentação ou clivagem do vitelo, mudanças no óvulo impregnado e não impregnado comparadas; • Suscetibilidade do óvulo - duração da suscetibilidade, influência da temperatura, influência da aeração; • A agência dos espermatozoides na impregnação - experimentos de filtração; • Natureza da agência dos espermatozoides - duração do poder motriz nos espermatozoides, endosmose dos envelopes durante a impregnação, experimentos com carmim; • Agência dos espermatozoides afetados por meios químicos - solução de potassa cáustica, nitrato de potássio, ácido acético diluído, goma arábica; • Agência dos espermatozoides afetada por meios mecânicos - experimentos com goma arábica e amido.

Second Series Revised	<ul style="list-style-type: none"> • A vitalidade do espermatozoide e óvulo comparadas; • Evolução da vitalidade no espermatozoide e no óvulo; • Sobre o óvulo; • Endosmose do ovo em relação à sua vitalidade; • Quantidade de espermatozoides essencial à fecundação; • Testes de fecundação; • Fecundação parcial ou incompleta; • Deficiência da influência fecundatória - aplicação do fluido com ponta de alfinete, aplicação do fluido com cabeça de alfinete; • Porção do vitelo mais suscetível à fecundação; • Excesso de influência fecundatória; • Deficiência e excesso de influência fecundatória comparadas; • O movimento do espermatozoide em relação à sua função; • Penetração do espermatozoide ao efetuar a fecundação - modo de penetração pelo espermatozoide, narcotização do espermatozoide; • Natureza da influência do espermatozoide - imersão dos óvulos em soluções de potássio e soda.
Third Series	<ul style="list-style-type: none"> • Modo de procedimento (para a observação da penetração dos espermatozoides nos óvulos); • Penetração do espermatozoide no vitelo; • Sobre os corpos esféricos que aparecem no vitelo depois da fecundação; • Sobre a produção do corpo e da cabeça do embrião a partir de partes definidas do vitelo; • Sobre a correspondência da fenda primária do vitelo com o eixo do futuro embrião; • Sobre o poder do espermatozoide em influenciar na impregnação artificial a direção da primeira fenda do vitelo.

Quadro 3. Principais conclusões apresentadas em cada um dos artigos de George Newport sobre reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios

Artigo	Algumas conclusões
First Series	<ul style="list-style-type: none"> • a vesícula germinal dos óvulos desaparece um pouco antes deles entrarem no oviduto por meio do desenvolvimento das células em seu interior; • o envelope gelatinoso dos óvulos é necessário para que eles sejam suscetíveis à fecundação; • o envelope dos óvulos embebe água e expande por um processo chamado de “endosmose”, principalmente na primeira meia hora. A expansão do envelope dos óvulos dificulta sua impregnação; • a suscetibilidade e desenvolvimento dos óvulos são afetados pela temperatura do meio; • óvulos impregnados e não impregnados passam pelas mesmas modificações nos primeiros minutos fora do corpo da fêmea; • a segmentação só ocorre nos ovos que foram impregnados. A segmentação imperfeita do vitelo, a qual não resulta em um embrião, é um indício de impregnação parcial; • a impregnação parcial ocorre quando quantidades muito pequenas de fluido seminal são usadas, quando o fluido seminal fica em contato com o ovo por um curto período de tempo, quando o espermatozoide está com pouca vitalidade ou quando o ovo não está muito suscetível; • fluido seminal sem espermatozoides não gera a impregnação de óvulos; • os espermatozoides são única a parte do fluido seminal responsável por impregnar os óvulos; • a duração do poder fecundante do fluido seminal está relacionada a fatores como o grau de maturação do fluido seminal obtido, há quanto tempo o fluido foi obtido antes de ser empregado e à temperatura do ambiente; • apenas grãos extremamente pequenos de matéria sólida podem entrar nos envelopes do óvulo durante a endosmose; • não há evidências de existência de uma fissura ou orifício nos envelopes dos óvulos

	<p>por onde os espermatozoides poderiam entrar;</p> <ul style="list-style-type: none"> • a impregnação parece ser o resultado de dois fenômenos. O primeiro, seria o contato do espermatozoide em movimento com o ovo, que provocaria as primeiras segmentações do vitelo, provavelmente por um poder catalítico. O segundo, seria a difluência das substâncias que formam o espermatozoide e endosmose destas para dentro do vitelo, o que seria necessário para que haja impregnação completa e a transmissão de características do pai para a prole.
Second Series	<ul style="list-style-type: none"> • a maturação dos óvulos e dos espermatozoides é finalizada aproximadamente ao mesmo tempo nos machos e nas fêmeas, depois do início do acasalamento; • os óvulos ficam suscetíveis por mais tempo fora do corpo do que os espermatozoides; • quantidades extremamente pequenas de espermatozoides (menos do que 12) são capazes de fecundar os óvulos. Porém, quando grandes quantidades de espermatozoides são fornecidas aos óvulos, maiores são as chances de eles se desenvolverem em embriões; • sêmen puro não é capaz de fecundar os óvulos por prejudicar a aeração dos óvulos; • os espermatozoides possuem uma força própria, que é visualizada por seus movimentos; • para que ocorra a fecundação, é necessário que os espermatozoides estejam em movimento e com seu corpo direcionado para o vitelo, ou em ângulos um pouco inclinados; • a fecundação ocorre por meio da penetração de mais de um espermatozoide até o vitelo; • durante a penetração nos óvulos, os espermatozoides perfuram a substância dos envelopes; • durante a endosmose, ocorre diminuição da resistência dos envelopes aos espermatozoides, facilitando sua penetração; • as mudanças que ocorrem dentro dos óvulos depois da fecundação são devido à transmissão para dentro deles do movimento do espermatozoide; • após a penetração dos espermatozoides, deve haver algum tipo de fusão de suas substâncias com as substâncias do óvulo para que seja formado o corpo organizado do embrião e para que as características do pai sejam passadas para a prole; • há uma maior suscetibilidade da parte escura do vitelo de ser fecundada; • espermatozoides expostos ao vapor do clorofórmio perdem seus movimento e não fecundam óvulos. Passado certo tempo do efeito do clorofórmio, eles voltam a se movimentar e são capazes de promover a fecundação.
Third Series	<ul style="list-style-type: none"> • durante a fecundação dos óvulos, os espermatozoides penetram até o vitelo; • com base nas primeiras clivagens do vitelo, é possível afirmar qual parte do vitelo dará origem à cabeça do embrião e qual dará origem ao corpo e à cauda; • existe uma relação entre o primeiro plano de clivagem do ovo e o plano médio do corpo do embrião; • parece haver uma relação entre o ponto de aplicação do sêmen no óvulo com o plano de clivagem do ovo e o local onde a cabeça do embrião é formada, quando o sêmen é aplicado na parte mais escura do vitelo.

4.2.1. “On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (First Series)”, 1851

O primeiro artigo de George Newport sobre suas investigações com anfíbios chama-se “On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (First Series)”. Ele foi apresentado em sessão da *Royal Society* em 20 de junho de 1850 e publicado no volume 141 das *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* em 1851. Esse artigo contém 76 páginas e está dividido em sete seções, além de uma parte

introdutória e da recapitulação e conclusão. É ao longo das sete seções do trabalho que Newport apresenta as metodologias utilizadas e os resultados encontrados. Essas sete seções podem ser reagrupadas em três de acordo com a temática estudada. Na primeira parte (seções 1, 2 e 3), são apresentados os seus estudos relacionados ao ovo. Na segunda parte (seção 4), Newport descreve os seus experimentos com fluido seminal filtrado para determinar a ação dos espermatozoides na impregnação. Na terceira e última parte (seções 5, 6 e 7), são mencionados seus estudos relacionados aos espermatozoides, o que inclui uma discussão sobre a natureza da agência⁶⁰ dos espermatozoides, ou seja, de seu papel ativo na fecundação, e dos efeitos de meios químicos e mecânicos sobre eles. Ao longo do artigo é apresentada apenas uma prancha com ilustrações (Anexo B). Essa prancha é, na verdade, a única ilustração apresentada por Newport ao longo dos três artigos analisados. Devido aos objetivos pedagógicos desta pesquisa, será dada mais ênfase aos experimentos descritos na segunda e terceira partes do artigo.

4.2.1.1. Parte Introdutória – Motivações, Objetivos e Contexto

Newport inicia a parte introdutória expondo suas motivações para realizar pesquisas com anfíbios. Ele explica que o artigo em questão faz parte de uma série de investigações sobre o desenvolvimento do embrião que começaram com o artigo que escreveu sobre o desenvolvimento dos Miriápodes (Newport, 1841) e que voltaria a estudar os invertebrados em um futuro próximo. Segundo Newport, a mudança de objeto de estudo, de invertebrados para anfíbios, ocorreu porque

Os Amphibia, de todos os animais vertebrados, possibilitam para nós os meios mais fáceis de investigar o difícil assunto da Impregnação por meio de experimentos reais, e é apenas, talvez, pela combinação de experimentos com observações cuidadosas das condições físicas que afetam o desenvolvimento do germe e comparação destes com os fatos da história natural e instintos da espécie, que poderemos esperar, por fim, obter uma melhor compreensão sobre este que é um dos segredos mais escondidos da Natureza (Newport, 1851a, p. 169).

Em seguida, Newport apresenta seus objetivos como sendo:

⁶⁰ Interessante notar o uso do termo “agência” por Newport. O termo pode ser entendido, segundo Jessica Riskin, como “uma capacidade intrínseca de agir no mundo, de fazer coisas de um modo que não é nem predeterminado, nem ao acaso. O seu oposto é a passividade” (Riskin, 2016, p. 3). Ao longo da história das ciências, desde a Antiguidade, pode-se localizar diversas iniciativas para banir a agência da ciência, assim como diversas formas de agência atribuída às coisas naturais: “forças vivas, capacidades sensitivas, fluidos vitais e tendências de auto-organização. [...] Em cada um desses casos, uma força ostensiva ou uma tendência ou uma capacidade se origina *dentro* da forma natural em questão” (Riskin, 2016, p. 3).

“[...] mostrar a condição do óvulo nos Amphibia ao longo de suas primeiras mudanças e também antes e imediatamente depois da impregnação, e detalhar experimentos feitos com a intenção de aprender por quais meios a sua fecundação é realizada” (Newport, 1851a, p. 169).

Adiante, Newport especifica melhor esses objetivos:

Eu proponho *primeiro* mostrar o momento e o modo de desaparecimento da vesícula germinal e a condição do óvulo na rã e no tritão, imediatamente antes e depois da impregnação, e me empenhar em fornecer provas a partir de experimentos reais de que os espermatozoides sozinhos, em todos os casos de comunhão dos sexos, são os únicos agentes da impregnação do óvulo; e além disso, que a impregnação não pode ser realizada pelo líquido seminal [*liquor seminis*]; e em seguida examinar de que modo a agência [*agency*] dos espermatozoides é influenciada, impedida ou exercida (Newport, 1851a, p. 172).

Ainda na introdução, Newport faz uma revisão, ao longo de três páginas, das investigações sobre a “impregnação do ovo” que vinham sendo realizadas por outros pesquisadores desde o século XVII, principalmente a respeito dos espermatozoides e do papel destes na fecundação dos ovos. Entre os pesquisadores mencionados e que são citados novamente em outros trechos do artigo, estão Leeuwenhoek, Swammerdam, Spallanzani, Prévost, Dumas, Barry, Wagner, Siebold (1736–1807), von Kolliker, Treviranus (1776-1837) e Bischoff⁶¹.

Ao mencionar as investigações realizadas por tais pesquisadores, Newport preocupa-se em apontar quais afirmações já tinham se mostrado incorretas, como a afirmação de Leeuwenhoek de que os animálculos se tornam o futuro embrião. Newport também compara os resultados de seus experimentos com os resultados obtidos anteriormente por esses pesquisadores. Por exemplo, ele menciona que Prévost e Dumas acreditavam que os espermatozoides penetravam dentro do óvulo e que se tornavam parte do futuro embrião por metamorfose, e que Dr. Barry viu o espermatozoide dentro do ovo, afirmações que Newport não conseguiu confirmar com suas observações. Outro exemplo é quando Newport menciona que suas investigações o levam a concordar com a opinião da maioria dos observadores que, assim como Kolliker, acreditam que os espermatozoides não são organismos vivos independentes, mas partes constituintes elementares do corpo do macho.

Juntamente com a revisão do que já havia sido pesquisado, Newport elenca

⁶¹ Outros nomes mencionados nessa parte do trabalho são: Ham, Dr. Parsons, Ledermüller, Dr. Hill, Needham, Buffon, Daubenton, Sir Everard Home, Bonnet, Gleichen, Leuckardt, Dr. Drake, Robert Brown, Müller, H. Goodsir, Dr. Kirkes e Valentine. A menção a diferentes pesquisadores é comum ao longo dos três artigos de Newport. Junto com a menção do nome do pesquisador, às vezes também é citado o trabalho onde o pesquisador apresentou suas investigações.

alguns aspectos a respeito dos espermatozoides que ainda não haviam sido esclarecidos e que, portanto, precisavam continuar a ser investigados, justificando, assim, seus objetivos neste artigo. Segundo Newport,

Embora grande atenção tenha sido dada pelos fisiologistas durante os últimos 30 anos a quase todos os pontos de questionamento conectados com a produção e composição física do fluido seminal dos animais, e sua relação com a fecundação do óvulo, permanecemos até o presente momento sem nenhuma prova reconhecida, nem da participação que os diferentes constituintes desse fluido têm na impregnação, nem do modo pelo qual ele realiza a impregnação (Newport, 1851a, p. 169)

Além disso, Newport afirma que a relação entre os espermatozoides e a porção fluida do sêmen ainda não estava completamente esclarecida e que

[...] por mais forte que seja a presunção a favor da agência dos espermatozoides nessas instâncias em que um *liquor seminis* não foi observado⁶², isso não proporciona motivo suficiente para desacreditar de que os espermatozoides não estão dissolvidos no fluido no momento da fecundação; ou que naqueles animais nos quais o *liquor seminis* ocorre em abundância, não é isso que impregna o ovo (NEWPORT, 1851a, p. 172)

Então, Newport conclui que:

A pergunta então, na medida em que se relaciona a uma *prova*, tanto da agência direta dos espermatozoides, quanto da ineficiência do *liquor seminis* na impregnação, permanece aberta, assim como aquela que envolve o conhecimento de como a impregnação é realizada (NEWPORT, 1851a, p. 172).

A menção ao trabalho de outros pesquisadores e a comparação de suas pesquisas com outras realizadas anteriormente, tanto no início do artigo quanto ao longo deste, assim como a clareza com a qual Newport justifica sua pesquisa e expõe seus objetivos ilustram sua metodologia de trabalho. Partiu, conforme regra metodológica seguida hoje, da leitura de grande número de obras sobre o assunto que queria tratar, como nos mostra o amplo conhecimento que ele expôs das pesquisas que tinham sido realizadas anteriormente. Da discussão desses trabalhos antecessores, ele sabia de que formas poderia contribuir com as pesquisas relacionadas à reprodução e desenvolvimento embrionário animal.

Conforme indicado nos trechos acima transcritos, uma de suas maiores preocupações era obter “provas”, ou como se diz hoje por meio de um termo

⁶² Newport aqui se refere a estudos de outros pesquisadores, como Wagner, nos quais foram observados que o sêmen de alguns invertebrados quase não possuem líquido seminal, sendo constituído quase completamente por espermatozoides (Newport, 1851a, p. 171-172).

epistemológico mais exato, obter evidências por meio de experimentos que ajudassem tanto a fundamentar algumas afirmações que eram feitas na época, quanto a esclarecer aspectos ainda obscuros sobre a reprodução animal. Uma das possíveis razões pelas quais ele menciona essa preocupação diversas vezes é que alguns aspectos da reprodução animal já estavam sendo investigados empiricamente há muitos anos e mesmo assim, ainda permaneciam sem resolução.

4.2.1.2. Aspectos gerais das investigações realizadas – Objetos de estudo e apresentação dos resultados

Newport especifica, no início da seção 1, as espécies de anfíbios que ele utilizou em seu trabalho: entre os anuros, a rã *Rana temporaria* e o sapo *Bufo vulgaris* e entre os urodelos, os tritões aquáticos *Triton palustris*, *Lissotriton punctatus* e *Lissotriton palmipes*. Essa preocupação em mencionar as espécies utilizadas é importante, já que, segundo o próprio autor “[...] nosso modo de comparar e testar a precisão de todas as observações em história natural e dos resultados experimentais em fisiologia depende principalmente da identificação correta dos objetos examinados [...]” (Newport, 1851a, p. 172). Segundo Newport, nem Spallanzani, nem Prévost e Dumas especificaram as espécies que examinaram. Spallanzani apenas mencionou o nome popular⁶³ e Prévost e Dumas apresentaram uma descrição dos animais. E como Newport queria comparar os resultados de seus experimentos com os desses pesquisadores, essa era uma informação importante de ser obtida.

Grande parte das investigações realizadas por Newport envolvia experimentos de impregnação artificial, por isso, ele explica os modos de obtenção de ovos não impregnados das fêmeas e de sêmen dos machos para esses experimentos. Os ovos não impregnados foram obtidos pela “[...] total remoção da influência da sensação, e do poder de tensão dos músculos pela divisão da medula espinhal através da medula oblongata” (Newport, 1851a, p. 188). Newport dá um exemplo mais detalhado de como fez isso com uma fêmea:

A tentativa foi feita com uma rã fêmea que estava acasalando por vários dias, e, pelas aparências, teria depositado seus óvulos naturalmente no curso de poucas horas. A medula espinhal foi dividida o mais rapidamente possível com um forte par de tesouras imediatamente atrás

⁶³ Spallanzani adquiriu fama em vida e é tratado na história da biologia como expoente da adoção e desenvolvimento do método experimental com seres vivos. Assim, o fato de só mencionar os nomes populares das espécies de anfíbio em que investigou a reprodução tem que ser contextualizada em função de dois aspectos principais: 1) a existência de um número irrisório de espécies diferentes de rãs, sapos e salamandras no clima temperado da Itália e 2) a aversão de Spallanzani pelo trabalho dos que ele chamava “meros nomencladores”, como Linné, ocupados em nomear espécies – apenas em obra tardia, sobre a reprodução em plantas, adotou a nomenclatura lineana (Prestes, 2003).

do cérebro, e esse órgão também foi destruído, de modo que toda a consciência foi aniquilada. A tentativa foi bem sucedida. Os músculos, privados de poder voluntário, instantaneamente ficaram relaxados e permitiram que os óvulos passassem, pela gentil compressão do corpo, através da passagem natural sem contato com o sangue do animal, em maior ou menor número livremente e, portanto, proporcionou meios fáceis de experimento (Newport, 1851a, p. 188)

Com relação à obtenção do fluido seminal dos machos, Newport afirma que ele se serviu de um hábito da rã macho:

Quando a rã macho, como o tritão, é segurada na mão ou levemente comprimida na época de acasalamento, uma quantidade de fluido é imediatamente passada. Este consiste principalmente de fluido seminal misturado com água [...]. Ele abunda com espermatozoides em seu estado mais ativo e, portanto, é adequado para experimento. Era requerido, portanto, apenas segurar os membros do animal e comprimí-lo levemente, para obter o fluido sem grande injúria (Newport, 1851a, p. 189).

Newport afirma que esse foi o modo de obtenção do fluido seminal⁶⁴ em todas as situações nas quais ele era necessário e que parte do fluido obtido sempre era examinado no microscópio antes de ser usado nos experimentos, para verificar suas características. Segundo Newport, durante a época de acasalamento, nunca houve ausência de espermatozoides no líquido seminal obtido, já no final dessa época, menos espermatozoides eram encontrados⁶⁵. Antes de usar o fluido seminal nos experimentos de impregnação artificial, este era sempre diluído em água, pois, conforme é relatado em seu próximo artigo, o uso de sêmen puro não é eficaz para realizar a impregnação (Newport, 1853).

⁶⁴ Newport compara muitos de seus experimentos com os experimentos realizados por Spallanzani. Por isso, Newport contrapõe seu modo de obtenção de óvulos não impregnados e de fluido seminal com o modo de obtenção utilizado por Spallanzani, já que diferenças nesses procedimentos podem ajudar a explicar alguns resultados divergentes nos experimentos. Segundo Newport, Spallanzani obteve óvulos não impregnados de rãs pela dissecação do corpo da fêmea e remoção dos óvulos dos ovidutos distendidos. Newport faz duas críticas a esse modo de obtenção. A primeira, é que, durante a retirada dos óvulos, estes podem entrar em contato com o sangue do animal, proveniente dos vasos cortados. A segunda crítica é que os óvulos obtidos diretamente do oviduto podem não estar maduros o suficiente para a realização dos experimentos (Newport, 1851a, p. 188). Newport também critica Spallanzani por ter obtido fluido seminal de rãs pela viviseção das vesículas seminais, porque nesse modo de obtenção há muita perda de fluido, algo relatado pelo próprio Spallanzani, o que dificulta os experimentos (Newport, 1851a, p. 189). A obtenção de sêmen diretamente dos testículos também não é recomendada, porque nos testículos há muitas células imaturas misturadas com espermatozoides maduros, porém, essas informações não eram conhecidas pelos pesquisadores na época em Spallanzani fez seus estudos (Newport, 1851a, p. 225).

⁶⁵ Newport usou essas observações para levantar uma possível explicação para Spallanzani não ter encontrado espermatozoides no sêmen de sapos em duas situações e ter conseguido fecundar óvulos com esse sêmen. O sêmen obtido por Spallanzani provavelmente tinha poucos espermatozoides (devido ao período da época do acasalamento), os quais não foram percebidos na análise no microscópio. A fecundação de óvulos a partir desse sêmen teria sido promovida, então, pelos espermatozoides não vistos, e não pela parte líquida, como concluído por Spallanzani.

Os experimentos realizados foram organizados em 19 conjuntos (“sets”), nomeados de A a S, seguindo as letras do alfabeto. Os experimentos foram realizados em março de 1849 e em março e abril de 1850, coincidindo com a época de reprodução dos anfíbios que Newport utilizava nos experimentos. É importante mencionar que, apesar dos temas serem apresentados em uma ordem que permite a reorganização da obra em três partes, conforme mencionado anteriormente, os experimentos não foram realizados na ordem descrita.

Newport escreve isso explicitamente ao dizer que

[...] embora a data de realização dos vários experimentos detalhados neste artigo estejam registradas, tem sido necessário, por razões que serão óbvias, ignorar a ordem cronológica na qual os vários conjuntos foram feitos, e detalhá-los considerando o assunto ao qual eles mais especificamente se referem (Newport, 1851a, p. 193-194).

4.2.1.3. Investigações sobre o ovo

Newport inicia a primeira parte do artigo mencionando que, devido à grande quantidade de estudos que já haviam sido feitos pelos “melhores observadores”⁶⁶, detalhar o desenvolvimento do óvulo dos *Amphibia* poderia parecer inútil. Porém, ainda havia aspectos sobre os quais esses pesquisadores não concordavam, mas que eram importantes para a compreensão da fisiologia de todo o grupo dos vertebrados.

Primeiro, Newport descreve o comportamento de uma fêmea de *Rana temporaria* ao longo de um ano. Essa fêmea ficou confinada em um quarto para que pudesse ser analisada e, durante a descrição de seu comportamento, também são dadas informações detalhadas da temperatura do quarto e da água onde ela ficou. Newport diz que fez os mesmos estudos com sapos e as observações foram similares. Foi a partir dessas observações que Newport começou a estudar as mudanças pelas quais os óvulos passam, começando dentro dos ovários⁶⁷.

O primeiro elemento que Newport começa a investigar é a vesícula germinal⁶⁸. Ele faz uma breve revisão das ideias de outros pesquisadores sobre o assunto e em

⁶⁶ Newport menciona Swammerdam, Leeuwenhoek, Roesel, Spallanzani, Prévost e Dumas, Rusconi, Baer, Reichert, Vogt e Bell.

⁶⁷ Talvez seja importante mencionar aqui, para facilitar a leitura, que hoje sabemos que as fêmeas possuem um par de ovários e de ovidutos. O útero é uma porção dilatada do oviducto para armazenagem temporária dos óvulos até o momento da postura. Ao longo do oviducto, na porção terminal, existem glândulas que secretam substâncias gelatinosas que vão envolver os óvulos, antes de saírem pela cloaca (Portal São Francisco. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/anfibios>>)

⁶⁸ Segundo Newport, ainda havia dúvidas sobre o destino da vesícula germinativa no óvulo maduro. Hoje sabe-se que a vesícula germinal ou vesícula germinativa é o núcleo haploide (Gilbert, 2003).

seguida, descreve suas observações de óvulos de rãs⁶⁹. Analisando óvulos maduros de dentro do ovário, ele observou que o vitelo é composto de uma massa de células nucleadas de tamanho muito similar e que havia dois tipos de células: uma escura, que forma a parte superior do vitelo e cujas células vão ficando mais claras conforme estão mais próximas do centro, e uma clara, que forma a parte inferior do vitelo e cujas células vão ficando mais claras conforme se aproximam da superfície⁷⁰. Newport também encontrou, no meio das células mais escuras do vitelo, a vesícula germinal ainda inteira e, na superfície da porção escura, um pequeno orifício, que já tinha sido notado por Prévost e Dumas, que é a saída de um canal que passa através dessa porção do vitelo até chegar na vesícula germinal, em seu interior. Analisando, separadamente, a vesícula germinal, Newport descreveu a presença de células secundárias dentro dela e em cada uma dessas células parecia conter outras células. Newport também observou que membrana vitelínica⁷¹ já havia sido formada nesses óvulos.

Analisando óvulos de rãs e tritões obtidos de dentro da cavidade abdominal (do ovário, os óvulos passam pela cavidade abdominal antes de entrar nos ovidutos), Newport não identificou a vesícula germinal em nenhum deles ele assume que, provavelmente, a vesícula desaparece um pouco antes dos óvulos entrarem no oviduto. Devido à estrutura da vesícula (possuir dentro dela células progenitoras), provavelmente seu desaparecimento se dá pelo processo de formação celular, ou seja, as células contidas dentro da vesícula se desenvolvem até o ponto em que a vesícula deixa de existir. Newport ainda afirma que ele acredita que é de uma das células centrais da vesícula germinal que o embrião se desenvolve, enquanto as outras células são distribuídas pelo vitelo.

Newport continua estudando o óvulo ao longo do sistema reprodutor de anfíbios. Quando o ovo está no abdome, ele consiste apenas em uma massa de vitelo envolta pela membrana vitelínica e é transferido para o oviduto pela ação dos

⁶⁹ Newport realizou esses mesmos estudos em sapos e tritões, tendo como resultado observações semelhantes.

⁷⁰ Hoje sabe-se que os ovos dos anfíbios possuem dois hemisférios: o animal e o vegetal. O hemisfério animal é mais escuro e possui menos vitelo do que o hemisfério vegetal, que é mais claro. A grande quantidade de vitelo no hemisfério vegetal dificulta sua clivagem. Dessa forma, quando um óvulo é fecundado, a clivagem começa no pólo animal e vai lentamente se estendendo até o pólo vegetal. O núcleo do zigoto frequentemente é deslocado para o pólo animal (Gilbert, 2003).

⁷¹ O óvulo dos anfíbios, quando prontos para a fecundação possuem, nesta ordem: membrana plasmática, membrana vitelínica e uma camada gelatinosa. Hoje sabe-se que entre a membrana plasmática e a membrana vitelínica é formada a membrana de fecundação, que impede a entrada de mais de um espermatozoide no óvulo.

músculos do abdome e pelo movimento das vísceras. É no oviduto que o ovo ganha três camadas de revestimento (*investment*), formando um envelope gelatinoso. Segundo Newport, ao contrário da afirmação feita por alguns pesquisadores da época, de que esses envelopes fornecem apenas proteção mecânica ao ovo, ele realiza experimentos que indicam que esse envelope gelatinoso é fundamental para que o ovo de rãs, sapos e tritões esteja suscetível à impregnação⁷².

Em seguida, Newport descreve seus estudos sobre as mudanças que ocorrem nos óvulos impregnados naturalmente, nos óvulos impregnados artificialmente e nos óvulos que não são impregnados⁷³. Newport inicia esta parte apresentando uma breve revisão dos estudos que contribuíram para o conhecimento aceito na época de que a divisão (ou clivagem) do vitelo é um dos primeiros resultados da fecundação do óvulo⁷⁴. Ele também diz que tinha como objetivo investigar “por meio de observação direta”, se óvulos não fecundados passam por algum estágio de clivagem (Newport, 1851, p. 184).

Newport obtém ovos de diversas rãs logo após elas terem copulado com machos e analisa as mudanças pelas quais esses ovos passam e quanto tempo demora para que ocorra cada modificação. Devido ao nível de detalhamento e complexidade de suas descrições, abordarei aqui apenas as principais para o propósito desta pesquisa. Primeiro, o ovo passa por modificações em seu formato, cor e organização das estruturas internas. Imediatamente antes da segmentação do vitelo, ocorre a formação da “câmara respiratória” (câmara de ar). Newport explica que a câmara respiratória é um espaço aberto entre a membrana vitelínica e a camada superior do vitelo, que é mais escura. Em seu segundo artigo sobre anfíbios, Newport (1853) explica que a formação dessa câmara começa com uma pequena

⁷² Nesses experimentos, Newport retira ovos da cavidade abdominal de diferentes fêmeas, e portanto, envoltos apenas pela membrana vitelina, coloca eles em água, em contato com o fluido seminal retirado do macho com o qual elas tinham acasalado, e não observa nenhum indício de impregnação em nenhum dos ovos. Segundo Newport, esses resultados estavam de acordo com resultados obtidos anteriormente por Spallanzani em experimentos semelhantes.

⁷³ Os óvulos utilizados para essas comparações foram obtidos da mesma ninhada, colocados sob as mesmas condições de luz, calor, ar e água e no mesmo local. Os óvulos foram obtidos de apenas uma fêmea, e o sêmen, do macho com o qual elas acasalaram e no momento em que a fêmea estava prestes a liberar os óvulos.

⁷⁴ Segundo Newport, a clivagem do vitelo já tinha sido observada por pesquisadores como Swammerdam e Spallanzani, mas eles não associaram esse processo com a fecundação do ovócito. Essa relação entre clivagem e fecundação foi estabelecida por Prévost e Dumas e exemplificada nos anfíbios por Rusconi e Baer e nos mamíferos por Bischoff (Newport, 1851a).

depressão na parte superior do vitelo, em um ponto que corresponde à entrada ao canal central que é formado posteriormente na superfície do vitelo. Newport ainda afirma que essa câmara seria “o resultado da contração e depressão da superfície superior do vitelo, ocasionada, como há motivo para acreditar, pelas mudanças que estão ocorrendo dentro da substância do hemisfério superior do vitelo, ao redor da vesícula do embrião, ou sua progenia [...]” (Newport, 1853, p. 246). Em seguida, Newport descreve detalhadamente as observações que fez sobre o modo como ocorre a segmentação, relacionando suas observações com outros pesquisadores, como Prévost e Dumas e Baer.

Comparando essas mudanças nos óvulos impregnados naturalmente com as mudanças nos óvulos impregnados artificialmente e nos óvulos não impregnados, Newport observa que as mudanças que ocorrem na parte branca do vitelo nos primeiros 12 minutos são iguais em todos os óvulos e Newport supôs, então, que essas modificações são uma continuação das mudanças que se iniciam quando o óvulo sai do ovário. Os óvulos não impregnados não sofrem mudanças pelas próximas 22 horas até que comecem a se decompor. Nos óvulos impregnados, por outro lado, essa parte do vitelo continuou a se modificar, ficando cada vez mais uniforme até a clivagem.

Em seguida, Newport fez experimentos para comparar óvulos impregnados artificialmente e óvulos não impregnados. Foram feitos quatro conjuntos de experimentos. Em quatro potes, foi adicionada a mesma quantidade de água (em torno de 56,82mL)⁷⁵ e óvulos obtidos da mesma fêmea foram colocados ao mesmo tempo em todos eles. Em seguida, foram adicionadas diferentes quantidades de fluido seminal em alguns deles e os resultados observados foram registrados. O quadro 4, a seguir, foi criado para sumarizar o experimento⁷⁶.

Newport atribuiu à diferença na quantidade de fluido seminal empregado, a maior demora para a segmentação dos óvulos do conjunto B⁷⁷. Com esses experimentos, ele concluiu que óvulos não impregnados não sofrem segmentação. A partir desses resultados, Newport passou a usar, ao longo de todos os seus

⁷⁵ Newport se refere aos volumes utilizados em onças (*ounces*), que ao longo do trabalho foram convertidos para seu valor aproximado em mL, do sistema métrico. A conversão foi realizada com base no valor atual de uma onça líquida britânica (28,41mL).

⁷⁶ O uso de quadros e tabelas para organizar os experimentos não implica um anacronismo, pois o próprio Newport elaborou tabelas semelhantes em seu artigo para se referir a outros experimentos.

⁷⁷ Esse resultado será retomado adiante na análise dos experimentos de filtração do sêmen.

experimentos, a segmentação do vitelo como uma evidência da impregnação dos óvulos. Em alguns experimentos, a formação da “câmara respiratória” (câmara de ar) também foi considerada uma evidência da impregnação do óvulo.

Quadro 4. Experimentos referentes às mudanças que ocorrem em óvulos impregnados artificialmente e em óvulos não impregnados.

	A - Óvulos + bastante fluido seminal	B - Óvulos + uma gota de fluido seminal	C - Óvulos	D - Óvulos
Observações	<ul style="list-style-type: none"> - Muitos espermatozoides aderindo à superfície gelatinosa do óvulo. - Segmentação depois de 5h15min - Vitelo adquire cor cada vez mais escura 	<ul style="list-style-type: none"> - Muitos espermatozoides aderindo à superfície gelatinosa do óvulo (mas em menor quantidade do que no conjunto A) - Segmentação depois de 5h22min 	<ul style="list-style-type: none"> - Óvulos com formato oval. - Sem modificações por 22 horas 	
Depois de 6 dias	Embriões	Embriões	Decomposição	

No entanto, o fato de um ovo ter sido impregnado, ou seja, apresentar a formação da câmara respiratória e segmentação do vitelo, não necessariamente resulta na formação de um embrião, algo a que Newport se refere como “impregnação parcial”. Ele observou esse fenômeno realizando os experimentos que serão descritos a seguir, para investigar a duração da suscetibilidade dos óvulos. Mais adiante no trabalho, Newport apresenta a definição de impregnação parcial: “[...] clivagem muito imperfeita do vitelo, às vezes apenas em uma superfície, e às vezes completa com relação à metade do vitelo, mas imperfeita ou irregular na outra” (Newport, 1851, p. 222). Ovos que passam por esse tipo de segmentação nunca produzem embriões. Frequentemente, a impregnação parcial ocorre quando são usadas quantidades muito pequenas de fluido seminal, quando o fluido seminal fica em contato com o ovo por um curto período de tempo, quando o espermatozoide está com pouca vitalidade ou quando o ovo não está muito suscetível. Em seu artigo publicado em 1853, Newport especifica que, para que a impregnação seja considerada completa, a segmentação do vitelo deve passar pelos primeiros quatro estágios (Newport, 1853).

Por fim, nesta primeira parte, Newport investiga a duração da suscetibilidade dos ovos depois que estes saem do corpo da fêmea. Essa questão já havia sido investigada por Spallanzani e Prévost e Dumas, os quais obtiveram resultados semelhantes aos de Newport. Segundo Newport, algumas diferenças observadas

nos resultados podem ter sido devido à diferenças no modo de obtenção do fluido seminal (Prévost e Dumas, assim como Spallanzani, o obtinham dos testículos) e também nas temperaturas em que os experimentos foram realizados.

Newport relata que o envelope do ovo das rãs, quando colocado na água, embebe água e expande, o que é chamado por ele de “endosmose”. Por isso, Newport realizou um conjunto de experimentos (chamado de “E”) que consistiram em coletar ovos não impregnados de fêmeas e deixá-los na água ou em uma superfície seca em contato apenas com o ar por um intervalo de tempo, que poderia variar de um a trinta minutos e depois adicionar fluido seminal a esses ovos e observar o tempo que demorava para ocorrer a segmentação dos ovos (usada como indício de suscetibilidade do óvulo) e quantos embriões eram formados. De um modo geral, comparando os ovos que foram colocados na água, a segmentação mais rápida e a maior quantidade de embriões formados ocorreram nos ovos que ficaram apenas um ou dois minutos na água. No entanto, ao comparar ovos que permaneceram o mesmo período de tempo expostos ao ar e à água, os que ficavam expostos ao ar produziam mais embriões, apesar da segmentação demorar mais para ocorrer, considerando todas as outras condições iguais. Newport apresenta os resultados deste conjunto em uma tabela, reproduzida abaixo (tabela 1), para ilustrar um de seus modo de apresentação de resultados. Esta é a única tabela criada por Newport que foi incorporada a este trabalho. Todas as outras tabelas e quadros presentes ao longo deste capítulo foram criadas pela autora.

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos por Newport ao realizar os experimento do conjunto E.

TABLE I.—Set E.

Experiment.	Ova.	Time.	Medium.	Fluid obtained.	Segmentation.	Embryos.	Per-centage.
No. 1	83	1'	Water.	43	3 55	32	•38
No. 2	92	2	Water.	43	3 55	45	•49
No. 3	127	3	Water.	17	4 3	33	•26
No. 4	81	3	Air.	8	4 5	53	•65•5
No. 5	136	5	Water.	20	4 8	10	•07
No. 6	139	5	Air.	12	4 11	37	•26
No. 7	205	15	Water.	26	4 14	45	•22
No. 8	100	30	Water.	44		2	•02

Fonte: Newport, 1851.

A partir das observações feitas e dos resultados obtidos, Newport concluiu que quanto mais tempo um ovo fica na água, mais seu envelope embebe água e expande,

principalmente durante a primeira hora que o óvulo está na água, o que resulta na diminuição da suscetibilidade do ovo de ser impregnado. Depois de aproximadamente meia hora na água, a susceptibilidade do ovo é quase completamente perdida⁷⁸. Dessa forma, com base no processo de endosmose, que reduz a suscetibilidade dos ovos, Newport infere que se o estímulo impregnante⁷⁹ não é fornecido rapidamente ao ovo, a fecundação não ocorre. Segundo Newport, a endosmose deve ser um dos processos pelos quais o agente impregnante atua no vitelo. Além disso, Newport afirma que o vitelo provavelmente não é passivo durante o processo, já que ele afirma ter visto partes de sua superfície se levantarem e contraírem dentro da membrana vitelínica durante a primeira hora que o ovo está na água.

Newport também realizou variações do conjunto E de experimentos. Em outros conjuntos (F, G, H, I) foram testados os efeitos da aplicação de pouca quantidade de fluido seminal nos ovos (usando um pincel), da baixa temperatura nos primeiros minutos em que os ovos estão na água antes de serem transferidos para salas com maior temperatura e da luminosidade na suscetibilidade dos ovos. Os resultados dos experimentos indicam que poucas quantidades de fluido seminal, na maioria das vezes, não são capazes de gerar a impregnação completa dos ovos; que baixas temperaturas aumentam a duração da suscetibilidade dos ovos na água porque desaceleram a endosmose, porém retardam a clivagem, e portanto, o desenvolvimento do embrião; e que a luminosidade não tem efeito sobre a suscetibilidade dos ovos.

Finalizando os estudos sobre os óvulos, Newport também discute a importância da aeração para o desenvolvimento dos óvulos. No entanto, ele não consegue realizar experimentos para estudar essa questão, devido à dificuldade de replicar, em ambientes artificiais, uma aeração semelhante à que normalmente é encontrada na natureza.

⁷⁸ Esse fenômeno também foi observado por Spallanzani e por Prévost e Dumas. Spallanzani relatou uma susceptibilidade reduzida após 15 minutos de imersão dos óvulos na água. Prévost e Dumas relacionaram esse fenômeno à impregnação e fizeram experimentos usando tinta e sangue para investigá-lo. Esses experimentos são descritos mais adiante.

⁷⁹ Nesse momento, Newport acreditava, mesmo sem ainda ter “provas”, que a impregnação era causada pelo contato do espermatozoide com a superfície do óvulo.

4.2.1.4. *Investigações sobre a agência dos espermatozoides na impregnação*

Newport sabia que Leeuwenhoek⁸⁰ e Prévost e Dumas acreditavam que os espermatozoides penetram dentro do ovo e que Barry acreditava haver uma perfuração ou fissura nos envelopes do ovo pelo qual os espermatozoides entravam. Apesar de Newport não ter conseguido ver tal fissura, ele acreditava que a questão da agência do espermatozoide, isto é, de seu caráter ativo na fecundação, poderia ser respondida experimentalmente. Tratava-se de separar os espermatozoides da parte líquida do sêmen e colocar cada uma dessas duas partes, separadamente, em contato com ovos para observar se ocorre a impregnação. Essa separação dos espermatozoides do líquido seminal poderia ser feita com a utilização de filtros que retêm os espermatozoides ao mesmo tempo em que permitem a passagem do líquido seminal. A questão da perfuração, por sua vez, poderia ser respondida por outro experimento: bastava então submergir os ovos em líquido colorido, de modo a dispor de um líquido com pequenas partículas sólidas dissolvidas, semelhante ao que foi realizado por Prévost e Dumas quando imergiram os ovos em tinta e no sangue.

Assim, para investigar o papel dos espermatozoides e do líquido seminal na fecundação, Newport realizou experimentos de filtração semelhantes aos de Spallanzani, Prévost e Dumas. No entanto, Newport assume que, quando realizou seus experimentos, ele não tinha conhecimento de que esses pesquisadores já tinham realizado algo semelhante anos antes:

[...] e foi apenas depois que meus experimentos estavam completos, e durante a preparação deste trabalho para ser apresentado à Royal Society, que eu aprendi pela cuidadosa referência às suas primeiras memórias, que eles me anteciparam em parte desta investigação – a de se empenhar para separar os espermatozoides por filtração da parte mais fluida do sêmen, e testar o efeito desses dois constituintes na impregnação artificial. A eles, portanto, fica toda a honra pelo resultado; embora eles mesmos, como honrosamente mencionam, foram antecipados nisso por Spallanzani, e também com sucesso similar (Newport, 1851, p. 191)

Diante da grande semelhança entre seus experimentos de filtração do sêmen e os de Spallanzani e de Prévost e Dumas, Newport justifica por que manteve a descrição dessa parte da pesquisa no artigo, defendendo sua relevância ao referir-se aos resultados apresentados nas seções três e quatro de seu artigo:

⁸⁰ É importante lembrar que, desde meados do século XVIII até a década de 1840, as ideias que davam aos espermatozoides um papel central na reprodução, de modo geral, não eram bem aceitas. Uma das razões, era que elas eram consideradas um retorno ao animalculismo de Leeuwenhoek. Agora, com mais evidências dando suporte à importância dos espermatozoides na reprodução, alguns aspectos dos estudos de Leeuwenhoek são retomados por Newport como um modo de fortalecer as novas propostas acerca da reprodução.

Como, no entanto, os experimentos que eu mesmo fiz variam daqueles dos autores mencionados, – não tendo sido influenciados pelos resultados aos quais eles chegaram anteriormente, – foram de algum modo mais extensos, e, como eu acredito, agora tenderão a reconhecer o fato da agência direta dos espermatozoides na impregnação dos ovos sem qualquer dúvida, – pareceu desejável ainda fornecer-lhes em detalhe, ajudando a estabelecer um importante ponto de conhecimento por facilitar a comparação dos resultados de investigações independentes (Newport, 1851, p. 191).

Na seção 4 do artigo, Newport apresenta de modo detalhado seus experimentos de filtração. Ele os compara aos de Prévost e Dumas, relatando que o modo de filtração que utilizou foi o mesmo que o adotado originalmente pelos dois pesquisadores, consistindo em “cuidadosa filtração mecânica, simplesmente passando a porção líquida de sêmen diluído por camadas de papel filtro” (Newport, 1851, p. 204). O papel filtro utilizado por Newport foi “o melhor papel filtro Sueco, usado por químicos em suas análises mais delicadas” (Newport, 1851, p. 204). Segundo Newport, “uma grande proporção dos espermatozoides sempre ficava retida, mesmo em um único filtro, embora alguns geralmente atravessassem [...]. Quando três ou quatro camadas de papel filtro eram usadas, todos os espermatozoides eram removidos” (Newport, 1851, p. 204).

Newport informa também que o fluido seminal foi obtido de uma rã macho imediatamente após a sua separação da cópula com a fêmea. Esse fluido foi misturado com aproximadamente o dobro de água e colocado para filtração. Conforme o líquido ia passando pelo filtro, Newport o examinava ao microscópio, para verificar se ele continha espermatozoides.

Newport descreve a realização de cinco conjuntos de experimentos, cada um um contendo, por sua vez, uma quantidade variada de experimentos individuais. Porém, só quatro desses conjuntos são descritos no trabalho (K, L, M e N), já que um deles foi uma repetição de um dos conjuntos já descritos. A descrição dos experimentos e seus resultados são apresentados em formato de texto ao longo do artigo, mas aqui serão sintetizados em tabelas, mantendo-se as palavras originais utilizadas (traduzidas para o português), para facilitar a presente comparação dos experimentos.

Na tabela 2 são apresentadas as informações gerais sobre os quatro conjuntos de experimentos descritos no artigo. As temperaturas indicadas em Fahrenheit no original, foram aqui convertidas ao seu valor aproximado em graus Celsius. Em cada conjunto foram realizados diversos experimentos que tinham em comum a

quantidade de filtros utilizados, ou seja, a quantidade de vezes que o fluido foi filtrado, passando de um filtro para um novo filtro (que ainda não havia sido utilizado).

Tabela 2. Informações sobre os quatro conjuntos de experimentos de filtração descritos por George Newport.

Conjuntos de experimentos de filtração realizados					
Conjunto	Data	Número de experimentos realizados	Quantidade de filtros utilizados	Temperatura atmosférica (°C)	Temperatura da água (°C)
K	14/03/1849	8	1	13,1	12,8
L	18/03/1849	3	1	10,6	10,6
M	04/04/1850	3	3	15,6	n.d.
N	04/04/1850	4	4	15,6	n.d.

n.d.: informação não disponibilizada pelo autor.

No conjunto K foram realizados oito experimentos individuais (tabela 3). Alguns experimentos foram realizados utilizando fluido seminal filtrado, e outros, fluido seminal “diluído” (não filtrado). Em cada experimento, uma certa quantidade do fluido utilizado foi adicionada a 28,4mL de água⁸¹, onde estavam imersas diferentes quantidades de óvulos. Em seguida, era observado se esses óvulos estavam segmentados, ou seja, se havia ocorrido a fecundação e se embriões eram formados. Para a filtração foi utilizado apenas um filtro.

A partir deste primeiro conjunto de experimentos, Newport concluiu, a partir dos experimentos 4 a 7 que “pareceu que a porção do sêmen que passa pelo filtro não tem poder de impregnação, a não ser que contenha espermatozoides; enquanto quantidades semelhantes de sêmen diluído que não foi filtrado são eficientes e impregnam” (Newport, 1851, p. 205).

⁸¹ Não foram fornecidos pelo autor os volumes de água utilizados nos experimentos 7 e 8.

Tabela 3. Experimentos realizados no conjunto K. O fluido filtrado refere-se ao fluido que passou por uma camada de papel-filtro. O fluido diluído refere-se ao fluido que não foi filtrado.

Conjunto K de experimentos			
No	Fluido usado	Número de ovos	Resultado
1	1 gota do fluido filtrado	46	0 ovos segmentados 0 embriões
2	1 gota do fluido diluído (duas horas depois de ter sido obtido)	90	0 ovos segmentados 0 embriões
3	2 gotas de fluido filtrado	60	0 ovos impregnados
4	3 gotas de fluido filtrado	105	2 ovos parcialmente impregnados (segmentação imperfeita) 0 embriões
5	3 gotas de fluido diluído (duas horas depois de ter sido misturado com água)	76	Vários ovos segmentados 15 embriões (depois de 17 dias)
6	30 gotas de fluido filtrado	210	2 ovos segmentados (depois de 5 horas) 2 embriões
7	30 gotas de fluido diluído	250	Quase todos os ovos segmentados (depois de 5 horas) Quase todos os ovos segmentados produziram embriões
8	Aproximadamente 30 gotas do mesmo fluido diluído	Aproximadamente 200*	Poucos imperfeitamente segmentados 0 embriões

No: número do experimento. *: ovos passados pelo corpo de uma rã morta 20 horas antes.

Segundo Newport, esses experimentos ainda não resolviam a questão da ação direta dos espermatozoides na impregnação. Por isso, decidiu repetir os experimentos com “maior precisão” e com um “cuidado especial para obter uma filtração e separação dos espermatozoides do fluido do modo mais perfeito possível” (Newport, 1851, p. 207). Na realização dos experimentos do conjunto L, foi obtido mais fluido seminal do que o usual, o qual foi misturado com o dobro de água formando um “fluido misto”⁸². O fluido misto foi dividido, como no conjunto anterior, em duas partes, uma que foi filtrada e outra que não foi, para ser usadas nos experimentos. Os óvulos usados neste experimento não estavam completamente maduros. Em todos os casos, o procedimento foi o seguinte: adicionar o fluido em 56,8mL⁸³ de água e, logo em seguida, “passar” (experimentos 1 e 2) ou “derramar”

⁸² A descrição de Newport do procedimento de misturar (ou diluir) o sêmen na água foi a mesma para os conjuntos K e L. Apesar disso, ele utiliza diferentes termos para se referir a essa mistura. No conjunto K, ele se refere usando o termo “fluido diluído”, e no conjunto L, usando o termo “fluido misto”.

⁸³ O volume de água, em onças no original, foi convertido para seu valor aproximado em mL, do sistema métrico. A conversão foi realizada com base no valor atual de uma onça líquida britânica (28,41mL).

(experimento 3) os óvulos⁸⁴ e observá-los. Os experimentos foram iniciados no início do dia e realizados, na medida do possível, em circunstâncias similares⁸⁵. Outra diferença entre este conjunto de experimentos e o anterior, é que, agora, ele especifica o volume de fluido seminal utilizado, ao invés de se referir à quantidade por gotas. Uma das razões para essa mudança pode ser sido a preocupação de Newport em saber se quantidades extremamente baixas de fluido seminal são capazes de fecundar óvulos. A descrição dos experimentos está apresentada na tabela 4.

Tabela 4. Experimentos realizados no conjunto L.

Conjunto L de experimentos			
No	Fluido usado	Número de ovos	Resultado
1	0,62mL do fluido misto	150 ovos	Grande abundância de espermatozoides aderindo à superfície dos envelopes (1 hora depois) Poucos produziram embriões
2	0,62mL da parte filtrada do fluido misto	150 ovos	Nenhum espermatozoide foi detectado nos ovos (depois de 1 hora) 0 ovos com sinais de clivagem 0 embriões
3	Papel filtro utilizado no experimento 2, que reteve espermatozoides e um pouco do fluido	130 ovos da mesma fêmea	Foram observados espermatozoides em abundância aderindo à superfície dos ovos mas sem movimento, aparentemente mortos e parcialmente enrolados em si mesmos (depois de 1h30min). Houve segmentação em quase todos (depois de aproximadamente 5h10min) Quase todos os ovos produziram embriões (apenas 9 foram abortivos).

No: número do experimento. O volume do fluido, em mínimos no original, foi convertido para seu valor aproximado em mL, do sistema métrico.

Os resultados, segundo Newport, foram “muito mais interessantes e instrutivos do que o esperado” porque por observações no microscópio, constatou que o fluido filtrado estava quase sem espermatozoides, possuindo, ocasionalmente, apenas um ou dois. Além disso, ovos menores e aparentemente menos maduros foram impregnados da mesma forma que os ovos completamente maduros, indicando que “alguns óvulos podem ser impregnados um pouco antes do que o usual; e que

⁸⁴ Newport usa palavras diferentes na descrição de cada experimento, no original, “ova were passed” e “[ova] were shed upon it” (Newport, 1851a, p. 207). No entanto, ele não esclarece se houve diferença nos procedimentos adotados em cada experimento.

⁸⁵ O fato de Newport fornecer informação sobre o horário da realização dos experimentos, o que não foi feito na descrição do conjunto anterior indica maior preocupação em detalhar seus procedimentos. Além disso, essa informação introduz a atenção para a padronização das condições de realização dos experimentos.

quando uma grande quantidade de espermatozoides é fornecida, óvulos menos maduros do que outros podem ser igualmente bem impregnados” (Newport, 1851, p. 208). Newport também conclui que o experimento 2 do conjunto L “provou que o líquido seminal não é a parte fecundante do fluido seminal” (Newport, 1851, p. 208).

Os experimentos foram retomados quase um ano depois. Dessa vez, Newport decidiu repetir os experimentos com algumas variações, tomando os seguintes cuidados:

Primeiro, que os sapos em cada caso tivessem ficado alguns dias copulados, e no momento do experimento estivessem quase prontos para a desova; em seguida, que o fluido seminal usado fosse obtido do macho copulado com a fêmea da qual os ovos foram obtidos; além disso, que a condição da amostra de fluido usado fosse corretamente verificada; e finalmente, que os ovos fossem colocados em placas achatadas, sob circunstâncias precisamente similares, com quantidades similares de água, repetidamente trocada (Newport, 1851, p. 208)⁸⁶.

Dois conjuntos de experimentos foram feitos ao mesmo tempo. Nos experimentos do conjunto M (tabela 5), o fluido seminal foi misturado com quantidade igual de água⁸⁷, colocado em um papel filtro simples e capturado em um papel filtro duplo. Os fluidos foram, então, analisados ao microscópio. O fluido que atravessou os três filtros estava quase completamente sem espermatozoides (foram detectados dois espermatozoides, sem movimento), enquanto o fluido que atravessou apenas o primeiro filtro continha diversos espermatozoides, tanto porque apenas um filtro não é capaz de reter todos os espermatozoides quanto porque ele suspeitou que um pouco do fluido caiu pelo lado de fora do primeiro filtro (não sendo, portanto, filtrado). Esses fluidos foram colocados em contato com os óvulos 53 minutos depois de obtidos.

Tabela 5. Experimentos realizados no conjunto M.

Conjunto M de experimentos		
Número	Número de ovos e fluido usado	Resultados
1	Parte do fluido que passou pelos 3 filtros foi colocada em cima de 70 óvulos e depois foi adicionada água	1 ovo parcialmente impregnado e outros ovos estavam com aparência de ovos que não tinham sido impregnados (depois de 4h25min) 0 embriões
2	127 ovos colocados em água com o segundo filtro (que retinha parte do fluido proveniente do primeiro filtro)	Foram observados poucos espermatozoides. Vários ovos se dividindo (depois de 4h50min) 16 embriões

⁸⁶ Novamente, Newport releva uma atenção para a padronização das condições de realização dos experimentos.

⁸⁷ Diferentemente dos conjuntos K e L, no quais ele misturou o fluido com o dobro de água.

3	163 ovos colocados em água com primeiro filtro	Grande parte segmentou (depois de 4h50min) 49 embriões Muitos ovos foram danificados antes da impregnação e o fluido seminal foi misturado com água mais de uma hora antes de ser usado, o que fez com que os números encontrados fossem menores do que o usual
---	--	---

Nos experimentos do conjunto N (tabela 6), o fluido seminal foi obtido e misturado com água da mesma forma que no conjunto M. Foram utilizados quatro filtros, ao invés de três. O líquido que passou por todos esses filtros não continha nenhum espermatozoide, o líquido que atravessou dois filtros possuía espermatozoides sem movimento e o fluido do primeiro filtro continha inúmeros espermatozoides ativos. Com essas observações, para Newport, “estava provado que a filtração estava completa” (Newport, 1851, p. 209).

Segundo Newport, os resultados dos experimentos 1 e 2 do conjunto N são uma “prova satisfatória de que não é a parte líquida do sêmen que impregna” (Newport, 1851, p. 210) e os resultados do experimento 4, “parecem ser a prova mais direta e conclusiva da agência dos espermatozoides” (Newport, 1851, p. 210).

Tabela 6. Experimentos realizados no conjunto N.

Conjunto N de experimentos		
Número	Número de ovos e fluido usado	Resultados
1	Parte do fluido que passou pelos 4 filtros foi colocada em cima de 131 ovos e depois foi adicionada água	0 impregnados 0 segmentados 0 embriões
2	197 ovos colocados em água misturada com a parte restante do fluido que passou pelos 4 filtros	0 segmentados 0 embriões
3	204 ovos colocados em água com o terceiro filtro já imerso nela	Não foram detectados ovos impregnados, porém foram gerados 4 embriões
4	371 ovos colocados em água com o primeiro filtro já imerso nela	Quase todos segmentados (depois de 4h30min). Depois de 4 dias quase todos os ovos estavam produzindo embriões, muitos dos quais estavam no quarto período de desenvolvimento. 127 completaram o desenvolvimento. Quase todos produziram embriões que viraram girinos com as características usuais.

Com relação ao líquido seminal, Newport conclui que “parece igualmente decisivo que essa porção do fluido seminal não realiza a impregnação” (Newport, 1851, p. 210-211). Nessa parte, Newport menciona o trabalho de Wagner e Karl Rudolf Leuckardt (1822-1898) que concluem que é quase impossível que o líquido seminal aja em ovos que são liberados na água, como ocorre em anfíbios, antes do macho liberar o sêmen. Além disso, nos experimentos que fez, nenhum óvulo foi completa ou parcialmente impregnado quando “imerso na água misturada apenas com o líquido seminal, obtido por filtração” (Newport, 1851, p. 211), nem quando foram banhados diretamente no fluido seminal filtrado antes de serem colocados na água (como no experimento 1 do conjunto N), e nem quando o fluido tinha poucos espermatozoides mortos ou sem movimento.

Assumindo que os espermatozoides são os agentes da impregnação, Newport especula quais seriam, então, a função do líquido seminal. Ele afirma que provavelmente ele tem uma função, que seria conhecida na medida em que se conhecesse melhor a sua natureza⁸⁸, mas que ela não parece ser essencial para a transmissão das características do macho para a prole. Newport se refere aos resultados do experimento 4 do conjunto N, no qual os embriões se desenvolveram rapidamente em girinos normais, de modo semelhante ao que ocorre na natureza, como indício de que apenas os espermatozoides transmitem as características para os filhotes. Além disso, especula que “um dos principais usos do fluido é apenas o de um veículo por meio do qual os espermatozoides são mais rapidamente colocados em contato com o óvulos” (Newport, 1851, p. 211). Concluindo, afirma:

Portanto, o *liquor seminis* [líquido seminal] nem mesmo acelera o curso do desenvolvimento do jovem. Nem acelera aquele da fecundação, ou por direta imbibição ou por se tornar um solvente aos corpos dos espermatozoides; como temos visto que a segmentação do vitelo ocorre mais rapidamente em proporção ao número de espermatozoides, dentro de certos limites, em contato com o ovo (Newport, 1851, p. 211).

Com relação ao total de experimentos realizados, Newport conclui que:

O total confirmou da maneira mais completa os experimentos feitos primeiramente, e provaram, satisfatoriamente, como eu confio, que os

⁸⁸ Algumas linhas adiante no texto, Newport menciona que análises químicas mostraram que o líquido seminal é “uma solução fina de muco, com pequenas quantidades de cloreto de sódio e fosfatos e sulfatos dos álcalis” (Newport, 1851a, p. 211). Hoje, sabe-se que o líquido seminal (mais comumente chamado na área médica de “plasma seminal”), possui uma enorme variedade de compostos químicos, como proteínas, vitaminas e antioxidantes, e também possui diversas funções relacionadas não só ao transporte dos espermatozoides pelo sistema reprodutor do macho e da fêmea, como também à manutenção do funcionamento dos espermatozoides, atuando, por exemplo, na motilidade e resistência a choque térmico (Araújo, 2014).

espermatozoides sozinhos são as partes do sêmen que realizam a impregnação do ovo. Tendo repetido a filtração em cinco conjuntos separados de experimentos, em diferentes ocasiões e com exatamente os mesmos resultados gerais, eu não posso mais cogitar qualquer dúvida sobre a ação direta dos espermatozoides (Newport, 1851, p. 210).

Newport ainda menciona que ele obteve “fatos” que não eram conhecidos por Spallanzani e Prévost e Dumas, e que ajudam a dar suporte à conclusão de que os espermatozoides são os agentes da impregnação dos óvulos. Esses “fatos” são os resultados de experimentos. O primeiro resultado a que ele se refere (obtido nos conjuntos A e B) foi que a segmentação se inicia antes em óvulos que entram em contato com uma maior quantidade de fluido seminal e, conseqüentemente, espermatozoides. O segundo, foi a observação de que a segmentação parcial nos óvulos que entraram em contato com pouco fluido seminal ou com fluido seminal que havia sido filtrado e que tinha uma pequena quantidade de espermatozoides (como nos conjuntos K e M).

4.2.1.5. Modo de ação e agência dos espermatozoides afetadas por meios químicos e mecânicos

Após concluir qual o papel exercido pelos espermatozoides, Newport decide “[...] questionar a maneira na qual ela [a impregnação] é induzida por eles, e a natureza da agência que eles exercem” (Newport, 1851, p. 212). Para Newport, a “[...] condição vibrátil ou poder de movimento é de algum modo essencial ao poder deles [espermatozoides] para realizar a impregnação” (Newport, 1851, p. 212). Essa afirmação inicial de Newport baseia-se nas observações realizadas por ele e por outros pesquisadores⁸⁹, que em diversos estudos encontraram espermatozoides aderindo à superfície de ovos impregnados, mas nunca em ovos que não foram impregnados. Newport ainda acrescenta que, sempre que espermatozoides foram encontrados em fluidos que impregnaram ovos, eles estavam em movimento, até depois de terem “aderido” à superfície do ovo, quando seu movimento parou.

Relacionado à movimentação dos espermatozoides, o primeiro aspecto investigado por Newport nessa parte do artigo é a duração do movimento dos espermatozoides. Primeiro, ele compara seus resultados com os de Spallanzani. Spallanzani observou que o sêmen puro mantinha sua capacidade de fecundação

⁸⁹ Newport menciona Barry, Bischoff e Pouchet estudando mamíferos; Prévost e Dumas, estudando anfíbios e Siebold, Kolliker e ele mesmo, estudando Invertebrados. Porém, ele também menciona as afirmações de Wagner e Leuckart, de que não foi observado movimento nos espermatozoides dos *Isopoda* e *Amphipoda*.

por 9 horas, enquanto o sêmen misturado com água, mantinha essa capacidade por 35 horas. No entanto, em condições similares de temperatura, Newport observou que no sêmen de *Rana temporaria* misturado com a mesma quantidade de água havia muitos espermatozoides em movimento após passadas 2 horas e pouquíssimos em movimento depois de 4 horas. Newport atribuiu a diferença desses resultados aos diferentes modos de obtenção do sêmen. O sêmen obtido por Spallanzani provavelmente possuía, misturado aos espermatozoides, células em desenvolvimento das quais os espermatozoides vão “escapando” aos poucos.

Em outro experimento, Newport colocou fluido seminal recém-obtido em contato com óvulos que estavam imersos na água. No início, havia muitos espermatozoides em movimento. Depois de 1h30min, todos os espermatozoides estavam sem movimento e tinham aderido à membrana gelatinosa do óvulo. Depois de um tempo, esses espermatozoides sumiram (provavelmente se desintegraram). O maior tempo que Newport detectou a presença de espermatozoides na superfície do óvulo da rã foi de 6h02min e aproximadamente por até meia hora depois do início da segmentação do vitelo.

Por fim, Newport deixou fluido seminal misturados com a água por duas horas antes de adicionar óvulos. Quando os óvulos foram adicionados, muitos espermatozoides aderiram à suas superfícies, porém, muitos desses espermatozoides já tinham se enrolado e estavam sem movimento. Outros espermatozoides, dispersados na água, estavam rígidos e com maior diâmetro. Newport atribuiu essa mudança à natureza higroscópica⁹⁰ dos espermatozoides, conforme apontado por Siebold e ainda afirma que, possivelmente, essa natureza pode ter relação com a impregnação.

Ao final desses experimentos, Newport concluiu, que a duração da motilidade dos espermatozoides está relacionada a fatores como o grau de maturação do fluido seminal obtido (quando há células em desenvolvimento misturadas aos espermatozoides, a duração da capacidade de fecundação é maior, pois espermatozoides vão “escapando” aos poucos dessas células), ao tempo transcorrido desde que o fluido foi obtido até ser empregado e à temperatura do ambiente (Newport, 1851; 1853).

Antes de iniciar esses estudos sobre o movimento dos espermatozoides,

⁹⁰ Natureza higroscópica se refere à propriedade de um corpo absorver água.

Newport já conhecia os trabalhos de Barry, que dizia que existia uma perfuração ou fissura nos envelopes do ovo pelo qual os espermatozoides entravam. Então, ao longo de seus estudos, Newport busca confirmar essa observação de Barry e concluiu que ele não conseguiu “[...] detectar a menor indicação dos espermatozoides terem penetrado nestas coberturas, nem perto da superfície ou nas proximidades do envelope mais espesso, ao qual eu me refiro como o córion, e que cobre imediatamente a membrana vitelina” (Newport, 1851, p. 213).

Depois que já tinha finalizado esses experimentos, Newport tomou conhecimento dos estudos de Prévost e Dumas nos quais eles concluíram que os espermatozoides do tritão e da rã penetram nos envelopes dos óvulos⁹¹. Newport faz, então, algumas observações usando óvulos e espermatozoides de tritões, buscando especificamente identificar a penetração de espermatozoides. A escolha em usar tritões foi devido às características de seus óvulos, que possuem um espaço no interior do envelope, formando uma câmara no vitelo, e de seus espermatozoides, que são grandes e facilmente reconhecidos. No entanto, Newport não encontra nenhum indício da penetração de espermatozoides em óvulos que foram impregnados.

Diante do conflito entre o que era afirmado pelos outros pesquisadores e suas observações, Newport, novamente, fala sobre esse aspecto:

Eu lamento muito que minhas investigações não me permitem confirmar estas observações [de Prévost e Dumas], as quais parecem para mim serem devidas às circunstâncias desses fisiologistas terem considerado os objetos na superfície como estando no interior. Muitas vezes busquei por espermatozoides dentro da substância do envelope do óvulo da rã em diferentes períodos entre aquele de primeiro contato com o fluido impregnante e o momento quando a clivagem do vitelo começou e constantemente encontrei eles na superfície, mas nunca, mesmo em uma única instância, observei qualquer aparência deles na substância do envelope, ou qualquer coisa que me induzisse a suspeitar que eles penetram fisicamente dentro dele (Newport, 1851, p. 214)

Apesar de suas investigações não indicarem a penetração dos espermatozoides no ovo, Newport decide continuar a investigar essa questão pelo fato das afirmações contrárias às dele terem sido feitas por pesquisadores “distintos”,

⁹¹ Um dos experimentos que eles fizeram foi lavar óvulos de tritões que haviam tido contato com espermatozoides para retirar todos os que tivessem aderidos à parte externa dos envelopes. Em seguida, fizeram seções os envelopes do óvulo e, com um microscópio, encontraram espermatozoides se movendo dentro. Semelhante observação foi feita com óvulos de rãs (Newport, 1851a). Newport, inclusive, faz uma citação, em francês, da conclusão dos pesquisadores.

pelos quais ele tinha grande respeito. Dessa forma, ele relata alguns experimentos que realizou para investigar especificamente “[...] se os envelopes do ovo da Rã são permeáveis em qualquer parte à partículas sólidas de matéria, ou se existe algum orifício neles pelos quais tais partículas podem entrar” (Newport, 1851, p. 216).

Conforme mencionado anteriormente, Newport já sabia da capacidade dos ovos de embeberem água, mas queria saber se eles também eram suscetíveis à entrada de partículas sólidas (incluindo espermatozoides) em suas membranas. É nesse momento que ele menciona os experimentos de Prévost e Dumas com tinta e sangue e suas críticas às conclusões apresentadas por eles. Prévost e Dumas obtiveram óvulos de ovidutos e os colocaram em tinta. Seus envelopes escureceram com o fluido que entrou, mas a entrada de líquido parou devido a uma reação química da tinta que coagulou a substância do envelope. Então, eles decidem fazer o experimento usando sangue misturado com água e observam que o envelope ficou avermelhado. Com esses resultados, eles concluíram que o envelope, em suas condições normais, admite a entrada de partículas sólidas que estejam em suspensão no líquido. Newport, no entanto, propôs uma explicação alternativa para as observações de Prévost e Dumas. Para ele,

é provável que a ação química da tinta, ao alterar a condição do envelope, tenha permitido a admissão dentro dele de partículas sólidas apenas em resposta à mudança no tecido, e que a cor dada ao envelope pelo sangue da rã foi devida a partículas de matéria corante, as quais aderem à superfície, ao invés da admissão destas dentro da substância do tecido (Newport, 1851, p. 220).

Essa explicação alternativa proposta por Newport foi baseada em experimentos que ele realizou colocando ovos não impregnados, que haviam sido preservados no álcool (*rectified spirit*)⁹², em uma solução de carmim⁹³ e água. Logo após a imersão dos ovos na mistura, seus envelopes, que eram brancos, opacos e próximos da membrana do vitelo, começaram a embeber e expandir. Depois de uma hora, o fluido tinha penetrado nos envelopes, carregando junto um pouco de matéria corante. Para ter certeza de que o corante entrou no ovo, a superfície foi cuidadosamente e repetidamente lavada com água limpa para remover os depósitos

⁹² Newport afirma que ele só conseguiu investigar essa questão depois que todas as suas rãs já tinham desovado, de modo que teve que utilizar os óvulos que ele tinha guardado para futuro exame. Por conta disso, ele afirma que os resultados obtidos nessas investigações devem ser considerados inconclusivos.

⁹³ Newport relata que carmim é um “pigmento usado por pintores de aquarela” (Newport, 1851a, p. 196). Hoje, o carmim é utilizado por diversas indústrias para, por exemplo, produzir alimentos, fármacos e cosméticos.

no exterior. O interior do ovo permaneceu corado e “foi evidente que a matéria corante tinha penetrado tão longe quanto a camada mais profunda ou grossa do envelope. Esse resultado pareceu ser favorável à visão de que o espermatozoide entra no ovo” (Newport, 1851, p. 219).

Newport deixou alguns ovos imersos na substância por três dias. Os ovos adquiriram uma cor vermelha com um centro vermelho escuro. Depois, tirou esses ovos, lavou e colocou eles em água limpa. Depois de seis horas, a água passou a adquirir uma cor avermelhada, enquanto o ovo foi ficando mais claro, indicando que, além da endosmose, também ocorreu exosmose. A partir desses resultados, a pergunta de Newport agora era:

Aprender se a impregnação é realizada por alguma infiltração direta e palpável da matéria seminal através dos envelopes do óvulo;- se a mistura de outras matérias com o fluido seminal vai impedir ou atrasar a impregnação;- e se os espermatozoides coletados em um papel de filtro, e então colocados com este em um fluido de grande densidade, são tão eficientes quanto em água limpa (Newport, 1851, p. 220).

Newport preparou uma solução muito densa do pigmento carmim e adicionou partes dessa solução a quantidades pequenas de água com óvulos, ou antes do fluido seminal ser misturado com a água, ou depois. Por meio deste experimento, Newport esperava descobrir se “alguma partícula sólida, em suspensão no fluido, passava através dos envelopes” (Newport, 1851a, p. 220).

Os ovos utilizados agora, segundo Newport, tinham tecido vivo. Foram feitos oito experimentos para investigar esta questão, todos descritos no conjunto O. Na tabela 7 são apresentados os resumos desses experimentos e algumas conclusões a que Newport chegou.

Tabela 7. Experimentos realizados no conjunto O, utilizando carmim. C: conclusões que George Newport apresentou a partir de cada resultado encontrado.

Experimentos com carmim		
Nº	Etapas	Resultados
1	Água + carmim. Adição de 11 óvulos	Os envelopes foram totalmente expandidos e os óvulos ficaram vermelhos, principalmente devido à deposição de grânulos na parte externa. Não detectou grãos similares dentro da textura.

2	Água + fluido seminal. Adição de 30 óvulos. Imediatamente depois: adição de solução de carmim	26 ovos impregnados e produziram embriões C: Impregnação ocorre rapidamente e não é impedida pela adição de um fluido corante denso adicionado depois de contato com o fluido impregnante
3	Solução de carmim e água. Mistura do fluido seminal. Imediatamente depois, adição de 41 óvulos.	33 ovos produziram embriões C: Quando fluido seminal é misturado com meio denso que tem partículas sólidas de matérias em suspensão, os espermatozoides não são necessariamente impedidos de realizar a impregnação dos óvulos ⁹⁴ .
4	30 óvulos + água misturada com fluido seminal filtrado (quase completamente sem espermatozoides)	1 ovo com sinais de impregnação. Nenhum embrião formado
5	Solução densa de carmim e água. Adição de filtro de papel com espermatozoides obtido no experimento 4. Adição de 212 óvulos. Agitação livre da água e óvulos, os quais ficaram na solução por 24 horas antes de serem colocados em água limpa.	Poucos óvulos impregnados e mudanças (segmentação) ocorreram mais lentamente do que nos experimentos 2 e 3. 5 embriões formados. C: Uma solução densa de carmim, aplicada aos espermatozoides antes do contato com os óvulos pode impedir a impregnação, aparentemente por impedimento mecânico.
6	40 óvulos do experimento anterior foram tirados da solução, lavados e colocados em água limpa depois de 1h15min	2 embriões formados. C: Impregnação ocorre muito rapidamente. O resultado no experimento anterior não foi inteiramente devido à longa permanência dos óvulos na solução (já que os ovos deste experimento também não formaram muitos embriões), mas sim a algum impedimento no momento do contato.
7	Solução densa de carmim misturada com fluido seminal e água. 3 minutos depois, adição de massa de óvulos	Poucos ovos segmentaram. 8 embriões formados. Muitos ovos com impregnação parcial, todos abortivos.
8	42 óvulos do experimento anterior foram retirados da solução depois de 30 segundos e imediatamente lavados.	Nenhum embrião formado. Sinais de impregnação parcial.

Além das conclusões aqui reunidas, na tabela 7, Newport faz uma análise geral dos experimentos. Ele fala que, apesar de ter usado 420 ovos nos

⁹⁴ Outra conclusão a partir desse experimento foi que, apesar dos óvulos dos anfíbios normalmente serem depositados em águas com baixo movimento ou limpas e paradas, eles também podem ser depositados em água levemente turva sem impedimento da impregnação, já que os espermatozoides podem entrar em contato com os óvulos imediatamente.

experimentos,

[...] eu não consegui detectar quaisquer grânulos da matéria corante de carmim em suspensão e de dimensões iguais às dos espermatozoides, que tenham passado para dentro do tecido dos envelopes dos ovos, embora eles tenham ficado tingidos pela matéria corante em combinação com água. Abundância de grânulos de matéria colorante do menor tamanho, e não maiores que um terço de diâmetro do espermatozoide da rã visto do lado deles, aderiram à superfície dos envelopes, e foi por causa deles, principalmente, que o ovo como um todo ficou vermelho. Todas as partes do envelope exibiam a mesma aparência uniforme, os grânulos estando igualmente distribuídos sobre a superfície, e a distribuição de cor era uniforme no interior. Esses fatos pareceram ser conclusivos com referência à questão da presumida existência de uma fissura ou perfuração nas coberturas do ovo da rã antes, ou no momento da fecundação, como é suposto de existir no óvulo do Coelho. Eu não consegui detectar nenhuma aparência de orifício ou fissura nos envelopes do ovo da rã, e a posição do qual, se realmente existe, seria sem dúvida indicada por alguma deposição de matéria corante de carmim, em maior ou menor grau, em seu lugar. O resultado destes experimentos foi, portanto, mais desfavorável à crença de que os espermatozoides penetram fisicamente através das membranas do ovo e à suposta existência de uma abertura especial nestas membranas para a admissão deles (Newport, 1851a, p. 222).

No entanto, Newport também menciona um experimento que, para ele, pareceu favorável à opinião de que o espermatozoide entra no ovo. Newport obteve vários ovos de *Lissotriton palmipes* e *Triton palustris* e colocou esses ovos em uma solução clara de carmim. Essa solução, diferentemente da usada nos experimentos descritos acima, tinha ficado em repouso por aproximadamente 15 dias, de modo que os grânulos em suspensão afundaram e apenas a matéria colorante combinada com água deu sua cor vermelha. Os ovos foram colocados nesta solução e nela permaneceram por meia hora. Ao analisar os ovos, Newport percebeu que o interior dos envelopes foi colorido pela água que tinha entrado, mas a grande parte da matéria colorante foi impedida e separada em sua entrada e aderida à superfície. No entanto, um ovo do *Lissotriton palmipes* tinha uma pequena massa densa de cor depositada em um ponto da superfície mais escura do ovo, entre a membrana vitelina e o vitelo, o que foi “provado” virando o ovo de um lado e vendo ele de perfil. Por fim, ele conclui, com relação a este experimento, que esse resultado provavelmente foi decorrente de “algum pequeno furo ou outro acidente durante a remoção dos ovos do corpo ou do oviduto” (Newport, 1851a, p. 223).

Por fim, Newport apresenta sua conclusão referente à penetração dos espermatozoides nos óvulos:

[...] e embora átomos de matéria sólida, muito menores do que os espermatozoides, possam talvez ser carregados por infiltração para dentro da textura do envelope do ovo pelo ato de endosmose durante sua

expansão, parece ser extremamente improvável que os grandes corpos dos espermatozoides também sejam carregados para dentro; uma improbabilidade que é elevada quase a uma certeza pelo fato de que os espermatozoides não são vistos ligados aos ovos com uma direção centrípeta do eixo de seus corpos, mas são constantemente aplicados lateralmente ao, ou estão emaranhados no meio do tecido frouxo da superfície, esticados ou parcialmente dobrados sobre eles mesmos (Newport, 1851a, p. 224).

As últimas investigações apresentadas nesse artigo foram feitas para identificar como a ação dos espermatozoides é afetada por meios químicos e mecânicos. Newport tinha como objetivos compreender melhor o quanto a influência dos espermatozoides e o ato de impregnação dos ovos possuem uma natureza química ou mecânica; e também determinar a duração necessária do contato entre espermatozoide e óvulo para que a impregnação ocorra.

Para os experimentos sobre meios químicos, foram utilizados solução de potassa cáustica, nitrato de potássio e ácido acético diluído. A escolha desses compostos foi realizada com base em experimentos realizados anteriormente por outros pesquisadores, que mostraram os efeitos de cada um sobre os espermatozoides. A solução de potassa cáustica rapidamente dissolve os espermatozoides, o nitrato de potássio dissolve os espermatozoides mais lentamente do que a potassa cáustica e o ácido acético diluído faz os espermatozoides perderem todo sinal de “vitalidade”, ou seja, eles param de se mover, e ficam menores. Foram realizados três conjuntos de experimentos (P, Q e R) para investigar essa questão, cada um deles com 8 experimentos. A maioria dos experimentos foi realizada utilizando potassa cáustica.

Para os experimentos sobre meios mecânicos foram usados compostos que não agem quimicamente nos espermatozoides, mas que parecem impedir sua ação mecanicamente, como o carmim, a goma arábica e o amido. Uma solução densa de goma arábica impede o movimento dos espermatozoides por meio de uma obstrução imposta a eles. Os espermatozoides enrolam sua cauda e corpo em várias direções. Foi realizado um conjunto de experimentos (S), com 12 experimentos.

Devido à grande quantidade de experimentos realizados e o propósito do presente trabalho, relatarei apenas alguns dos resultados encontrados e das conclusões a que Newport chegou. Mas é importante mencionar que Newport detalha como fez cada um dos experimentos. Ele especifica a quantidade e concentração de cada composto utilizado, o modo de aplicação desses compostos e as mudanças observadas tanto no formato e movimento dos espermatozoides quanto no aspecto

dos óvulos quando em contato com esses compostos. Além da descrição de cada experimento, Newport resume todos os experimentos realizados nos conjuntos P a S em uma grande tabela, que ocupa duas páginas do artigo.

Nos estudos de efeito da ação química, é o único momento do artigo no qual Newport menciona ter obtido ajuda na realização dos experimentos:

Eu obtive portanto a assistência de um amigo, para anotar os espaços de tempo que passaram em cada estágio dos seguintes experimentos, para que estes pudessem ser realizados com a mais rápida eficiência, e a atenção do experimentador não ser desviada de cada até que estivesse completo (Newport, 1851a, p. 228)

Uma conclusão a que Newport chega a partir dos experimentos relativos à influência química, é que a impregnação ocorre rapidamente, “quase no momento do contato do espermatozoide com os envelopes do ovo” (Newport, 1851a, p. 232). Dois experimentos foram particularmente importantes para que Newport chegasse a essa conclusão.

Newport coletou 82 ovos não impregnados, e tocou eles por apenas um instante com um pincel que tinha sido mergulhado em fluido seminal misturado com água. Depois de um segundo, lavou esses ovos com solução concentrada de potassa cáustica, e em seguida, com água. O tempo total de duração do experimento foi de 15 segundos. Houve segmentação parcial em 12 ovos e formação de dois embriões. Depois, fez o mesmo procedimento, mas agora usando 25 ovos e aplicando a potassa cáustica após dois segundos, o que fez com que o tempo total de duração do experimento fosse de 20 segundos. Nesse caso um ovo foi segmentado e um embrião foi formado. Em outros experimentos nos quais a potassa cáustica foi aplicada nos ovos antes do fluido seminal, apenas um ovo, Entre mais de 200, foi parcialmente segmentado. Esses resultados reforçam a ideia de que a impregnação dos ovos nos experimentos usando potassa cáustica ocorreu antes da aplicação deste composto, em apenas um ou dois segundos depois da aplicação do fluido seminal aos ovos. Resultados similares foram obtidos ao usar o nitrato de potássio. O ácido acético afetou, principalmente, o envelope dos óvulos e com o seu uso, não houve a produção de nenhum embrião.

A partir resultados desses experimentos e de outros realizados anteriormente, Newport apresenta uma segunda conclusão, a de que apenas o contato momentâneo dos espermatozoides com o ovo pode iniciar a fecundação, mas geralmente não é suficiente para completar a fecundação, ou seja, para formar um embrião. A

persistência de espermatozoides em contato com a superfície do ovo mesmo depois que a segmentação é iniciada, como observado em experimentos realizados anteriormente, também é usada como um indício de que a fecundação não é completa no contato imediato.

Dessa forma, o próximo passo é questionar se

alguma endosmose da substância material do espermatozoide é embebida pelo ovo durante algum período da impregnação, antes ou durante a segmentação do vitelo ? – e se aqueles meios que não atuam quimicamente no espermatozoide ou no ovo podem impedir a agência do primeiro? (Newport, 1851a, p. 234)

Nos experimentos feitos com a goma arábica e amido, os resultados se assemelharam àqueles de ação química. Quando a solução densa da goma foi adicionada aos ovos antes do fluido seminal, raramente embriões eram formados⁹⁵, apesar de ocasionalmente ocorrer segmentação em alguns ovos. No entanto, quando a solução densa de goma foi adicionada a 61 ovos depois do fluido seminal (mesmo que apenas dois segundos depois), mais da metade dos ovos segmentaram e 12 produziram embriões. A proporção de embriões produzidos nesse segundo caso é bem maior do que a obtida nos experimentos de ação química, indicando que a ação mecânica não tem tanto impacto na finalização da fecundação quanto a ação química.

4.2.1.6. *Recapitulação e conclusão da obra*

Ao final do trabalho, é apresentada uma recapitulação e conclusão da obra como um todo. Newport apresenta um total de quatorze conclusões, as quais já foram apresentadas no quadro 3 e ainda faz uma análise final do que ele pode concluir sobre a ação dos espermatozoides. Newport conclui que possivelmente a fecundação envolve dois momentos e processos. O primeiro, seria o contato do espermatozoide com o ovo, que ocorre muito rapidamente e provoca as primeiras segmentações do vitelo, provavelmente por um poder catalítico (como sugerido por Bischoff) exercido pelo espermatozoide em movimento. O segundo, seria a difluência (capacidade de se liquefazer) das substâncias que formam o espermatozoide e endosmose destas para dentro do vitelo, o que ocorre depois de certo tempo que o

⁹⁵ Embriões foram formados quando os experimentos foram realizados em temperaturas mais altas (aproximadamente 15° C)

espermatozoide está em contato com o ovo e que é responsável, por exemplo, pela transmissão de características do pai para a prole. Uma das observações que parece favorecer essa ideia é o gradual desaparecimento dos espermatozoides da superfície dos óvulos durante a impregnação. Nas palavras de Newport:

Embora nós estejamos ainda inteiramente sem prova de que alguma influência ou substância material é realmente transmitida do espermatozoide na superfície do ovo para o vitelo no interior, nós temos evidência de que fluidos são embebidos pelo ovo por endosmose por seus tecidos, e embora nenhum traço de espermatozoide seja detectado no interior do ovo, nós vimos que este permanece por um longo período em sua superfície e gradualmente desaparece, aparentemente por difluência; então, parece ser justo concluir que a agência deste corpo é material em sua operação. Por outro lado, o efeito que vemos produzir no vitelo pelo contato direto e até momentâneo do espermatozoide com o envelope do ovo parece próximo de lembrar aquele do então chamado poder catalítico de alguns corpos conhecidos, já que o contato, durante apenas espaços de tempo muito curtos com a superfície do ovo, parecem ser suficientes para induzir certas mudanças no interior (Newport, 1851a, p. 241-242)

[...] embora a segmentação do vitelo possa ocorrer, embriões não são produzidos a não ser que tenha tido alguma continuação ou duração de contato do corpo impregnante [espermatozoide] com o impregnado [ovócito]; e que o número produzido parece ter relação com a duração e a suficiência completa da causa excitante. Mas nem o que nós no momento sabemos do então chamado poder catalítico ou da endosmose, parece sozinho ser suficiente para explicar todo o fenômeno da impregnação. Simples contato do espermatozoide não parece ser suficiente para determinar a transmissão de mais ou menos dos caracteres estruturais materiais do pai macho para a prole; enquanto difluência e endosmose da substância do espermatozoide pode dificilmente ser imaginada de ocorrer em um ou dois segundos suficientemente para realizar a completa impregnação do vitelo, e induzir sua invariável consequência, a segmentação. Possivelmente, nós poderemos adiante encontrar que as primeiras mudanças induzidas pelo contato do corpo impregnante são completadas por sua difluência, e pelos constituintes materiais dentro dos quais ele é dissolvido, sendo transferido para o vitelo por endosmose (Newport, 1841a, p. 242).

4.2.2. “On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia. (Second Series Revised.) And on the Direct Agency of the Spermatozoon”, 1853.

O segundo artigo de Newport sobre a reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios foi apresentado em sessão da *Royal Society* em 17 de junho de 1852 e publicado no volume 143 dos *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* em 1853. Esse artigo contém 58 páginas e está dividido em 14 seções, além de uma parte introdutória e uma conclusão.

Esse artigo é produto de uma revisão feita em um artigo escrito anteriormente com o título de “On the Impregnation of the Ovum, in the Amphibia (Second Series),

and on the Nature of the Impregnating Influence”⁹⁶, cujo resumo foi lido em sessão da *Royal Society* em junho de 1851. Nesse resumo, uma das conclusões que Newport apresenta é que os espermatozoides dos anfíbios não penetram nos ovos das fêmeas durante a fecundação e, com base nessa afirmação, propõe um modo de ação dos espermatozoides, um pouco diferente daquele proposto em 1851. Ele defende que a impregnação começa e talvez seja completada por o que pode ser uma nova condição de força peculiar do espermatozoide, a qual ele chama de “*sperm-force*” (força do espermatozoide)⁹⁷. O movimento dos espermatozoides seria a parte visível dessa forma de força, já que os espermatozoides são ineficientes para impregnar quando não se movem (Newport, 1851b). A impregnação começaria pela transmissão, do espermatozoide para a superfície do óvulo e então, para seus componentes internos, de alguma influência caracterizada pelo movimento. Seria esse movimento fornecido pelos espermatozoides que faria com que as mudanças que naturalmente ocorrem em ovos impregnados e não impregnados, continuassem apenas naqueles ovos que foram impregnados. Ou seja, os espermatozoides forneceriam para os óvulos a força necessária para a continuidade das mudanças que já estão ocorrendo neles (Newport, 1853).

No entanto, em abril de 1852, Newport escreve uma pequena carta para Thomas Bell, a qual foi lida em sessão da *Royal Society*, corrigindo esse modo de explicação para a fecundação. Newport relata que no último mês de março ele certificou-se de que durante a fecundação dos ovos das rãs, alguns espermatozoides entram nos envelopes gelatinosos, como afirmado anteriormente por Prévost e Dumas, e que nos ovos fecundados, alguns espermatozoides penetram até o envelope mais interno que circunda o vitelo. No entanto, Newport mantém sua afirmação feita anteriormente de que ele não tinha observado nenhuma perfuração ou orifício nos envelopes externos dos ovos por onde os espermatozoides poderiam entrar. Ao final da carta, Newport diz que esse aspecto das investigações será

⁹⁶ Esse artigo não foi encontrado para consulta. Só foi encontrado o seu resumo que foi lido em sessão da *Royal Society*.

⁹⁷ Note-se que nesse momento dos seus estudos, 1851, Newport aprofunda a noção de agência do espermatozoide, chegando a usar o termo “força”. Esse episódio contextualiza a pesquisa da época, permitindo explicar as razões que motivaram Thomas Henry Huxley, o chamado “bulldog” de Darwin, a dar uma conferência sobre as propriedades do protoplasma, incluindo a propriedade de ser vivo, apenas em termos de suas partes componentes, sem evocar qualquer coisa especial, qualquer força ou poder chamado “vitalidade”(Riskin, 2016, p. 1).

revisado e publicado em um artigo assim que possível (Newport, 1850). O artigo resultante é esse ao qual me refiro nesta seção e cujo resumo é apresentado à seguir.

4.2.2.1. *Parte Introdutória*

O artigo possui uma breve introdução, na qual Newport revisa alguns aspectos investigados em seu artigo “On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (First Series)” referentes à ação dos espermatozoides durante a impregnação e as principais conclusões a que chegou. No entanto, ele relata que observações recentes mostraram um novo fato, o de que o espermatozoide da rã penetra fisicamente dentro da substância dos envelopes do ovo, e entra em comunicação direta com até, pelo menos, a membrana ao redor do vitelo. E que “é meu dever, portanto, à Ciência, e à Royal Society, sabendo ser este o caso, revisar e estender minhas visões, e submetê-las de novo à Sociedade em sua forma corrigida [...]” (Newport, 1853, p. 234). Newport ainda acrescenta que

Ao fazer isso, eu devo tentar mostrar que, embora ainda considerando o espermatozoide, por motivos a serem citados, como o órgão de uma condição especial de força ou vitalidade no corpo masculino, - sua influência no ovo na fecundação é direta e imediata, e não operativa, como até agora suposto, meramente através dos envelopes; mas, no entanto, como eu mostrei antes, que ela é exercida apenas enquanto o espermatozoide continua a dar evidência de sua vitalidade ou força em seu poder de movimento (Newport, 1853, p. 234).

4.2.2.2. *Aspectos gerais das investigações realizadas*

Nesse artigo são retomadas algumas investigações já realizadas no artigo anterior e que, portanto, não serão novamente detalhadas, reservando mais detalhes às investigações que trouxeram resultados novos. Nesse artigo, diferentemente do anterior, Newport menciona estar acompanhado de amigos ou colegas durante a realização de alguns experimentos, ou seja, de ter testemunhas confiáveis do que foi efetivamente realizado. Na maioria das vezes esses colegas não são identificados, porém, em um dos experimentos, no qual ele repetiu as investigações usando potassa cáustica, ele menciona que estava acompanhado de seus amigos: Professores Sharpey, Ellis e Bell e Mr Busk, Tomes e Waterhouse.

Newport inicia seus relatos no artigo retomando a questão da duração da vitalidade do espermatozoide e dos fatores que afetam ela. Ele realiza novos experimentos que confirmam os resultados apresentados em seu primeiro artigo, de que se no fluido seminal há uma grande quantidade de células em desenvolvimento,

esse fluido mantém seu poder de fecundação por mais tempo, pois novos espermatozoides estão sendo liberados das células. Novamente ele compara seus resultados com os de Spallanzani e Prévost e Dumas realizados com outras espécies de anfíbios, em outras temperaturas e com fluidos obtidos por diferentes métodos.

Newport também versou sobre as modificações do espermatozoide e do óvulo dentro do corpo. Ao obter óvulos e fluido seminal de rãs e sapos que tinham acabado de acasalar, ele observou que o acasalamento ocorre antes dos óvulos passarem para o oviduto e antes do sêmen estar completamente maduro, e que os espermatozoides completam seu desenvolvimento nos vasos eferentes e na vesícula seminal. Newport ainda discute a importância de tanto os espermatozoides quanto os óvulos estarem maduros no momento da desova para que ocorra a fecundação saudável de toda a ninhada.

Em seguida, Newport também retoma a discussão da duração da suscetibilidade dos óvulos fora do corpo, mas de modo mais sucinto do que no primeiro artigo. Ele afirma que, assim como a suscetibilidade dos espermatozoides, a suscetibilidade dos óvulos é afetada pela temperatura do meio e pelo tempo que eles permanecem na água depois que são obtidos. Esses dados, segundo Newport, são ainda mais importantes agora que houve “estabelecimento do fato de que o espermatozoide penetra nos envelopes dos ovos e que, conseqüentemente, o ritmo de expansão dos envelopes tem uma relação direta adicional à sua função” (Newport, 1853, p. 240).

Em seguida, Newport relatou dois experimentos novos que fez, em abril de 1851 e abril de 1852, comparando a duração da suscetibilidade dos espermatozoides e de óvulos fora do corpo. Ele concluiu, assim como no artigo anterior, que o movimento dos espermatozoides é fundamental para que estes fecundem os óvulos e que os óvulos, de modo geral, permanecem suscetíveis à impregnação por mais tempo do que os espermatozoides⁹⁸. Newport também observou semelhanças no aspecto dos óvulos que permanecem muitas horas (acima de 40 horas) imersos na água, ou que são expostos a soluções concentradas de potassa cáustica ou que entram em contato com espermatozoides em decomposição (depois de terem ficado muito tempo misturados com água).

⁹⁸ De modo geral, em uma temperatura de quase 13°C, os espermatozoides permaneceram suscetíveis por até 4 horas e os óvulos, por até 24 horas.

4.2.2.3. Quantidade de sêmen e local de aplicação nos ovos

Outro aspecto novamente investigado por Newport foi a quantidade de espermatozoides necessária para a fecundação. Nesse artigo, no entanto, Newport aprofundou suas investigações, estudando tanto os efeitos da aplicação de quantidades muito pequenas de espermatozoides (obtidos de fluido seminal diluído) em diferentes partes dos ovos, quanto os efeitos da aplicação de fluido seminal puro, ou seja, com quantidades muito grandes de espermatozoides.

Newport já tinha feito experimentos em seu primeiro artigo, baseado em experimentos anteriormente realizados por Spallanzani, que mostram que quantidades muito pequenas de sêmen são capazes de gerar a formação de um embrião quando em contato com ovos. Porém, nesse artigo, Newport relata ter feito investigações adicionais para conhecer “a quantidade realmente necessária para fecundar o ovo” (Newport, 1852, p. 245). Newport afirma que, apesar de serem diferentes em vários aspectos, as investigações que ele, Spallanzani, Prévost e Dumas e Quatrefages (1810-1892) fizeram a esse respeito permitiram chegar à conclusão de que

[...] apenas uma quantidade extremamente pequena de influência seminal e conseqüentemente apenas um número muito limitado de espermatozoides vibrantes é necessária para realizar a impregnação. Eles concordam também com o fato de que o número de ovos impregnados é sempre muito menor do que o de espermatozoides fornecido a eles, e conseqüentemente que há razão para pensar que a fecundação não é o resultado de um único espermatozoide isolado, embora ainda não tenha sido estabelecida a quantidade que realmente é necessária (Newport, 1853, p. 245).

Os experimentos realizados por Newport consistiam em mergulhar levemente a ponta de um alfinete de tamanho comum no fluido seminal recém-obtido e depois encostar essa ponta apenas uma vez durante um ou dois segundos na superfície de um ovo que estava guardado com um pouco de água em uma lâmina côncava de vidro (*glass cell*) e observar o desenvolvimento do ovo. Para calcular a quantidade de espermatozoides presentes na ponta do alfinete, Newport fez o procedimento descrito, mas tocando o alfinete com espermatozoides em uma placa de vidro que foi analisada no microscópio. A quantidade de espermatozoides “não excedeu de 6 a 10 ou 12 desses corpos” (Newport, 1853, p. 248). Newport realizou um conjunto de experimentos com dez ovos. Em quatro ou cinco deles houve formação da câmara respiratória e foram formados três embriões, evidenciando que uma quantidade muito pequena de fluido seminal com pouquíssimos espermatozoides pode ser suficiente

para fecundar um ovo. O fluido seminal obtido para realizar esses experimentos tinha sido obtido apenas alguns minutos antes.

Dois outros conjuntos de experimentos foram realizados com variações. Nesses dois conjuntos o alfinete foi mergulhado no fluido seminal, para pegar uma quantidade maior de fluido, que foi obtido do mesmo macho usado no conjunto anterior. No primeiro conjunto, foram utilizados seis ovos, e o fluido seminal tinha sido obtido há quinze minutos. Apenas dois ovos foram parcialmente fecundados. No segundo conjunto, foram utilizados 23 ovos, e o fluido seminal tinha sido obtido há uma hora e quinze minutos. Três desses ovos foram impregnados parcialmente e um deles formou um embrião. Comparando os resultados desses três conjuntos de experimentos, Newport concluiu que a vitalidade dos espermatozoides que entram em contato com os ovos parece ser mais importante para a fecundação do que a quantidade absoluta de espermatozoides utilizados⁹⁹ (Newport, 1853).

Assim como Newport fez testes com quantidades muito pequenas de sêmen, ele também fez usando grandes quantidades. Ele esperava que pelo fato de haver bastante espermatozoides nos fluidos empregados, a segmentação do vitelo ocorreria muito rapidamente. No entanto, ele obteve resultados inesperados. Ao colocar ovos em células separadas e cheias de uma mistura de metade água e metade fluido seminal, nenhum ovo foi fecundado. Ele fez o mesmo procedimento utilizando dois terços de água e um terço de fluido seminal. Nesse caso, alguns óvulos tiveram uma segmentação irregular, mas novamente, nenhum embrião foi formado. Em ambos os casos, foi possível observar uma grande quantidade de espermatozoides aderindo à superfície dos óvulos. Newport também fez experimentos utilizando sêmen puro. Ele colocou dois ovos em células separadas cheias com fluido seminal quase puro. A câmara respiratória começou a ser formada nos dois, indicando que houve impregnação. Um desses ovos foi retirado da célula depois de uma hora e lavado com água através do uso de uma seringa e depois colocado em água pura. Os envelopes desse ovo começaram a expandir e em volta do envelope que imediatamente reveste o vitelo estava cheio de espermatozoides. O mesmo procedimento foi realizado com o outro ovo depois de 12 horas. Ao final de

⁹⁹ É importante lembrar que, depois que os espermatozoides saem do corpo do macho, eles vão perdendo a “vitalidade”, ou seja, seu movimento vai ficando mais lento com o passar do tempo. Portanto, os espermatozoides do fluido que tinha sido obtido há uma hora e quinze minutos tinham menor “vitalidade” do que os obtidos há quinze minutos, os quais tinham menos vitalidade do que os recém-obtidos.

72 horas, foi formado um embrião a partir do primeiro ovo mas este não completou seu desenvolvimento. O segundo ovo não chegou a formar um embrião.

Resultados parecidos tinham sido obtidos por Spallanzani e Quatrefages: a fecundação ocorre melhor quando o sêmen é diluído em água. Newport concluiu que os ovos não conseguem se desenvolver em sêmen pouco diluído por conta do que ele chamou de sufocamento (“*smothering*”). Ele pensou nessa possibilidade porque a aeração, a qual pode ser proporcionada por água pura, é fundamental para o desenvolvimento do embrião¹⁰⁰ e talvez também seja importante, mesmo que em menor grau, para a fecundação.

Voltando aos experimentos com alfinetes, Newport investigou também os efeitos do local de aplicação dos espermatozoides nos ovócitos. Newport utilizou a cabeça de um alfinete usado por colecionadores de insetos, a qual, por uma contagem semelhante à descrita anteriormente continha “de pelo menos 50 a 150 espermatozoides” (Newport, 1853, p. 249). Os ovos obtidos foram colocados na posição vertical, alguns com a parte branca do vitelo para cima e outros com a parte mais escura para cima. O alfinete era passado no fluido seminal e depois tocado na parte mais clara ou na mais escura do ovo. Em nenhuma situação na qual os ovos foram tocados na parte mais clara houve formação de embriões, enquanto que, quando tocados na parte mais escura, especialmente na sua parte central que é ocupada pelo canal, sempre houve formação de embriões (considerando a suscetibilidade dos óvulos e do fluido empregado)¹⁰¹.

Esses resultados sugerem, portanto, que há uma maior suscetibilidade da parte escura do vitelo de ser fecundada. Segundo Newport, essa conclusão parece encontrar apoio em observações realizadas anteriormente. Newport, já havia afirmado em seu artigo anterior que a vesícula germinal, no momento da fecundação, ocupa o centro da parte mais escura do vitelo, e que ela é provavelmente a estrutura a ser fecundada¹⁰². Além disso, ele já tinha estabelecido que é na parte mais escura do vitelo que acontecem as primeiras mudanças depois da fecundação: encolhimento

¹⁰⁰ No artigo publicado em 1851, Newport já havia comentado sobre a importância da aeração, apesar de não ter realizado nenhum experimento para investigar especificamente sua influência na impregnação e no desenvolvimento dos ovos (Newport, 1851).

¹⁰¹ Outros experimentos realizados, no entanto, mostram que dependendo da quantidade de fluido seminal utilizado e da liberdade de movimento dos ovos, não importa o local onde o fluido é empregado no ovo, pois este escorre para a parte mais escura do ovo promovendo a fecundação.

¹⁰² Barry já tinha se referido, em 1840, à vesícula germinal como sendo a estrutura onde o futuro embrião se origina nos mamíferos (Newport, 1853)

do vitelo, formação da câmara de ar, formação de um canal em seu centro, na margem do qual a clivagem do vitelo começa e é onde os primeiros traços do embrião se tornam aparentes.

4.2.2.4. *Movimento dos espermatozoides*

Antes de relatar suas investigações sobre o movimento dos espermatozoides, algumas das quais já haviam sido relatadas em seu primeiro artigo, Newport faz uma breve revisão dos botânicos e zoólogos que já haviam estudado o movimento dos espermatozoides, mesmo que sem relacioná-lo ao ato da impregnação.

Para Newport, alguns dados obtidos em experimentos anteriores dão suporte à ideia de que o movimento dos espermatozoides é fundamental para a fecundação. Uma das evidências que ele menciona é que o espermatozoide, ao longo do seu processo de desenvolvimento e maturação, ganha poder de movimento ao mesmo tempo em que completa o desenvolvimento de sua estrutura e composição, o que é um indício de que este movimento é essencial para sua função. Outra evidência mencionada por Newport é referente aos experimentos de impregnação artificial nos quais foi observado que quando eram usados espermatozoides sem movimento a impregnação do ovo não ocorria. Observações de espermatozoides em movimento em animais de diversos grupos como anfíbios, mamíferos e insetos, por Newport e outros pesquisadores, também foram mencionados como indícios a favor dessa afirmação.

Newport, em seguida, retoma os resultados obtidos nas investigações relativas à quantidade de sêmen necessária para realizar a fecundação e afirma, novamente, que a fecundação não é o resultado apenas da penetração de um espermatozoide isolado dentro do ovo. E conclui que

Nós somos, então, levados a perceber que a mesma lei de relação entre causa e efeito, - entre uma quantidade definida de influência usada, e resultados definidos, - os quais têm, há tempos, constituído a base de nosso conhecimento a respeito das afinidades químicas, e que agora está sendo demonstrado, assim como as outras forças de natureza inorgânica, pode igualmente permear e controlar essas combinações materiais entre afinidades orgânicas. Além disso, as observações, agora mencionadas, parecem resolver as últimas questões remanescentes com relação à animalidade independente dos corpos espermáticos, e mostrar que estes, como os ciliados, são meras partes elementares da organização do macho adulto, - como muitos fisiologistas acreditam, - como os conteúdos dos ovos são os das fêmeas (Newport, 1853, p. 265)

4.2.2.5. Penetração do espermatozoide durante a fecundação

Conforme relatado anteriormente, Newport negou, ao longo de todo seu primeiro artigo, a possibilidade de penetração dos espermatozoides nos óvulos, apesar das muitas tentativas, por observações e experimentos, de encontrar evidências de que esse fenômeno realmente ocorria. Novamente neste artigo, ele faz referência a outros pesquisadores que afirmaram que os espermatozoides penetram nos ovos, como Prévost e Dumas, Dr. Martin Barry, Wagner, Quatrefages e Dr. Nelson, e em seguida, descreve suas observações.

Newport relata que estava fazendo alguns experimentos com impregnação artificial de anfíbios na presença de alguns amigos cientistas em Março de 1852 quando observou, com o auxílio do microscópio, um corpo acicular (em formato de agulha) dentro do envelope de um ovo, próximo à membrana vitelina, o que o levou a acreditar na possibilidade de penetração do espermatozoide. Antes, em suas observações, Newport tinha utilizado “ou uma célula de vidro profunda, na qual o ovo era completamente imerso em água, ou a lente objetiva comum do microscópio” (Newport, 1853, p. 267). Entretanto, nessa observação que o levou a acreditar na possibilidade de penetração do espermatozoide no óvulo e nos experimentos subsequentes,

uma célula de vidro rasa foi utilizada, a qual era capaz de conter apenas um ovo. Esta, enquanto admitia luz livremente ao redor do ovo, era muito rasa para sua completa imersão, e o ovo era portanto coberto por uma gota de água, dentro da qual a lente objetiva do microscópio foi passada durante a observação do ovo, ao invés da observação ser feita através do meio duplo de ar e água (Newport, 1853, p. 267-268).

Na tentativa de observar, de fato, um espermatozoide dentro dos envelopes do ovo, Newport realizou alguns experimentos envolvendo a aplicação de fluido seminal nos ovos utilizando a cabeça de um alfinete. Em alguns ovos que posteriormente produziram embriões, Newport observou um espermatozoide dentro do ovo, próximo à membrana vitelina; no entanto, em outros ovos que também produziram embriões, ele não observou nenhum espermatozoide e, por isso, achou necessário continuar as investigações para ter certeza de que a penetração do espermatozoide está relacionada à fecundação (Newport, 1853, p. 269). No dia seguinte, Newport obteve ovos após a cópula natural entre uma fêmea e um macho que ele tinha guardados em seu laboratório. Depois de analisar muitos desses ovos

no microscópio, viu em alguns deles vários espermatozoides dentro do envelope e vários em contato com a membrana vitelina. A maioria desses ovos mostraram sinais de que tinham sido fecundados. A situação inversa também ocorreu: nos ovos em que não observou espermatozoides dentro do envelope, em geral, não houve formação de embrião. Esses resultados favorecem então a ideia de que a penetração do espermatozoide, pelo menos até a membrana vitelina, é necessária para a fecundação do ovo. No entanto, até então, Newport não tinha observado nenhum espermatozoide atravessar a membrana vitelina para dentro do vitelo.

Nessa parte do artigo, há uma grande nota de rodapé, escrita em 18 de abril de 1853, na qual Newport relata que conseguiu observar espermatozoides “dentro da cavidade vitelina em comunicação direta com, e penetrando dentro do vitelo” (Newport, 1853, p. 271) usando um modo diferente de observação. Newport relata que em 25 de março de 1853, na companhia de um amigo, observou espermatozoides dentro da câmara acima do vitelo aproximadamente 40 minutos depois da fecundação. Newport também menciona que repetiu essas observações em outras situações, vendo inclusive espermatozoides em movimento dentro da câmara e que mostrou esse fenômeno para seu amigo professor Ellis e dois outros amigos médicos de modo que “a presença de espermatozoides ativos dentro da cavidade vitelina no ovo fecundado da rã pode agora ser considerada como incontestável” (Newport, 1853, p. 271). Newport também adiciona nessa nota que

[...] os espermatozoides não chegam ao vitelo do ovo da rã por nenhum orifício especial ou canal nos envelopes, mas na verdade perfuram a substância dos envelopes em qualquer parte com a qual eles entram em contato [...] às vezes depois de eles terem entrado na câmara do vitelo eles se tornam desintegrados, e são dissolvidos em grânulos elementares (Newport, 1853, p. 271).

Uma outra informação importante fornecida por Newport é que apenas os espermatozoides que possuem seu corpo direcionados “ou perfeitamente centripetalmente em direção do vitelo, ou em ângulos um pouco inclinados, tem a possibilidade de entrar” (Newport, 1853, p. 276). Esse fato fez com que Newport atribuísse aos ovos um papel importante também no processo de fecundação, como será descrito adiante.

Depois de chegar à conclusão de que os espermatozoides penetram nos óvulos, Newport decidiu investigar melhor a natureza do processo de fecundação. A partir de uma sugestão feita por Mr. Busk, Newport testou o efeito do vapor do

clorofórmio no movimento dos espermatozoides. Os espermatozoides que foram expostos ao clorofórmio perderam seus movimentos, mas permaneceram esticados, sem se enrolar. Quando aplicados a óvulos até 20 minutos depois da exposição ao clorofórmio, não foram observados espermatozoides dentro dos óvulos, não havia indícios de que os óvulos haviam sido fecundados e não houve a formação de embriões, embora houvesse uma grande quantidade de espermatozoides aderidos à parte externa do envelope dos óvulos. Espermatozoides que haviam sido expostos ao clorofórmio há uma hora foram colocados em contato com dois óvulos e um deles foi parcialmente impregnado, ou seja, o óvulo foi fecundado por espermatozoides que “reviveram”. Esses experimentos foram repetidos com variações, mas o mesmo fenômeno geral foi observado. Newport interpretou a ação do clorofórmio como impactando apenas fisicamente o movimento dos espermatozoides e, por isso, os resultados desses experimentos reforçaram, para Newport, a necessidade do movimento para que os espermatozoides fecundem os óvulos.

Outro aspecto da fecundação apontada por Newport é que, como espermatozoides sem movimento não entram nos óvulos e não geram a fecundação, a endosmose não pode ser considerada o principal mecanismo pelo qual a fecundação ocorre. Aqui, ele apresenta um papel diferente do que tinha proposto anteriormente para a endosmose:

[...] a passagem do espermatozoide pela substância dos envelopes para a membrana vitelina pode ser indiretamente auxiliada pela ação de endosmose dos envelopes. Mas esse auxílio não consiste em nenhuma propriedade de absorção nos tecidos. Isso parece ser simplesmente de um caráter negativo, e ser o resultado de uma diminuição da densidade nos tecidos, os quais, pela absorção de água, e conseqüente expansão, acabam oferecendo menos e menos resistência à força propulsora do espermatozoide (Newport, 1853, p. 279).

Mas embora a penetração não seja causada pela ação de endosmose dos envelopes, ela pode ser ainda considerada como sendo induzida por algum poder atrativo na substância do próprio vitelo; e que, portanto, a entrada do espermatozoide pode ser tanto devido ao ovo quanto a qualquer poder de movimento do corpo penetrante (Newport, 1853, p. 279-280).

Newport também faz uma rápida menção a seus experimentos relatados no artigo de 1851 sobre a ação de meios químicos e mecânicos na agência dos espermatozoides. Segundo Newport, os resultados obtidos nesses experimentos estão de acordo com as conclusões agora obtidas do modo de ação dos espermatozoides por meio da penetração nos óvulos.

Ao final do artigo, Newport conclui que a fecundação não é apenas o resultado

da fusão ou mistura química de substâncias do espermatozoide com as do ovo. Porém, uma fusão talvez seja necessária para produzir o corpo organizado do embrião. Uma fusão também ajudaria a determinar o sexo e o quanto das características estruturais e psíquicas do pai são transmitidas aos filhos. Além disso, considerando a necessidade de movimento dos espermatozoides para que a fecundação ocorra, Newport supõe que independentemente de como o material do macho e da fêmea se conjuguem, alguma influência dinâmica vitalizante é transmitida do espermatozoide para o conteúdo do vitelo, provocando suas mudanças.

4.2.3 “Researches on the Impregnation of the Ovum in the Amphibia; and on the Early Stages of Development of the Embryo (Third Series)”, 1854.

Conforme mencionado em sua biografia científica anteriormente, Newport morreu antes da conclusão de seu terceiro e último artigo sobre reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios. Esse artigo foi apresentado em sessão da *Royal Society* em 15 de junho de 1854 por Sir John Forbes. O artigo foi publicado no volume 144 das *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* em 1854. Grande parte do artigo foi escrita por George Newport, porém parte do conteúdo foi obtido de seus cadernos de anotações por George Viner Ellis, professor de anatomia na *University College* em Londres, que selecionou e organizou o material. Esse artigo contém 16 páginas e está dividido em 6 seções, além de uma parte introdutória e uma conclusão.

Newport relatou, em uma nota de rodapé¹⁰³ adicionada a seu artigo de 1853, ter observado a penetração do espermatozoide através do envoltório gelatinoso e da membrana vitelínica, até o vitelo do ovo. Por conta dessa informação ter sido relatada em formato de nota, ele não forneceu os detalhes dos procedimentos que o levaram a fazer essa observação. No entanto, considerando a tamanha importância dessa observação e também que “um dos mais distintos e verdadeiros fisiologistas” (Newport e Ellis, 1854, p. 229), o Professor Bischoff¹⁰⁴, a estava questionando, Newport detalha em seu artigo de 1854 os procedimentos que o levaram àquela observação.

¹⁰³ Essa nota foi adicionada enquanto o artigo estava sendo impresso (Newport; Ellis, 1854)

¹⁰⁴ A crítica de Bischoff foi feita em um artigo que ele publicou visando refutar as ideias do Dr. Keber e Dr. Nelson relacionadas à penetração dos espermatozoides nos óvulos. Em uma nota no artigo de 1854, escrita por George Ellis, está relatado que, posteriormente, na primavera de 1854, Bischoff investigou a impregnação do ovo da rã e confirmou a afirmação de Newport a respeito da penetração do espermatozoide. Bischoff inclusive se referiu a Newport como sendo o descobridor do fenômeno da penetração do espermatozoide dentro do ovo por seu próprio movimento (Newport; Ellis, 1854).

Newport detalha o material utilizado que possibilitou sua observação da penetração dos espermatozoides. Tal material não será aqui detalhado, pois implicaria na transcrição de uma página inteira de seu artigo, mas será apresentado um resumo dos aspectos principais. Newport construiu o que ele chamou de “caixa cisterna”, de aproximadamente 2,1cm de diâmetro e 0,5cm de profundidade (na parte mais rasa) onde os ovos seriam colocados. Essa caixa tinha o revestimento de vidro, permitindo a análise do ovo lateralmente com o microscópio óptico. A análise lateral do ovo era necessária tendo em vista os movimentos de rotação do vitelo após a fecundação. Nessa caixa também é possível adicionar e remover água usando um sifão, sem perturbar a caixa e seus conteúdos. Durante as análises o microscópio é colocado horizontalmente e

uma câmera¹⁰⁵ é ligada à lente ocular para permitir o delineamento imediato das mudanças observadas. A ampliação usada foi geralmente a objetiva de meia polegada (Ross¹⁰⁶) com uma ocular No 2, mas quando havia dúvidas, a objetiva de um quarto de polegada era usada; e a iluminação foi obtida do aparato chamado condensador de Gillet¹⁰⁷ (Newport e Ellis, 1854, p. 231)

Apesar de, no artigo, não haver nenhum desenho ou referência a outros materiais que pudessem ser consultados para melhor compreensão dos instrumentos utilizados, o microscópio utilizado por Newport deve ser semelhante os representados nas figuras 4 e 5. A figura 6 ilustra o condensador de Gillet.

¹⁰⁵ Provavelmente aqui ele está se referindo à câmara lúcida, que gera uma sobreposição óptica do objeto a ser visto sobre uma superfície sobre a qual o artista está desenhando. Dessa forma, o artista vê tanto a cena quanto a superfície do desenho simultaneamente (Microscope-Antiques. Disponível em: <<http://www.microscope-antiques.com/camluc.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020)

¹⁰⁶ Andrew Ross foi um dos maiores fabricantes de microscópios na Inglaterra no século XIX.

¹⁰⁷ O condensador de Gillet é um condensador acromático que permite controlar a quantidade de luz e o ângulo de iluminação (Disponível em: <http://www.antique-microscopes.com/photos/Andrew_Ross_microscope_599.htm>. Acesso em: 20 jan. 2020)

Figura 4. Microscópio para dissecação, 1851.

Fig. 37.

Fonte: Imagem retirada de http://www.antique-microscopes.com/photos/ross_dissecting.htm. Acesso em 02 jan. 2020.

Figura 5. Microscópio ótico, produzido em 1853.

Fonte: Imagem retirada de <https://www.mhs.ox.ac.uk/collections/imu-search-page/record-details/?thumbnails=on&irn=16810&TitInventoryNo=10700>. Acesso em 02 jan. 2020.

Figura 6. Condensador de Gillet

Fig. 42.—Gillett's Condenser.

Fonte: Imagem retirada de http://www.antique-microscopes.com/photos/Andrew_Ross_microscope_599.htm. Acesso em 02 jan. 2020.

Newport ainda detalha como deve ser feita a mistura dos ovos com o fluido seminal para a penetração dos espermatozoides possa ser feita. Os ovos devem ser colocados na superfície interna da lâmina de vidro da caixa e devem ser focalizados. Em seguida, a caixa deve ser preenchida com uma mistura de água com sêmen, com quantidades iguais de cada um e poucos minutos depois do sêmen ter sido obtido. Como essa mistura é muito opaca, ela deve ser removida depois de dois ou três minutos por meio de um sifão e água pura deve ser adicionada em seu lugar. Nesse momento, muitos espermatozoides já estarão entrando no óvulo.

Em seguida, Newport descreve diversas observações que fez da penetração dos espermatozoides em mais detalhes. Com esses experimentos Newport retoma as conclusões às quais tinha chegado nos artigos anteriores referentes ao modo de ação dos espermatozoides. Newport conclui que a fecundação depende do poder do espermatozoide de passar pelos grossos envelopes ao redor do vitelo e que isso explica por que fluidos seminais com poucos espermatozoides ou com espermatozoides sem movimento não geram a fecundação, e também por que o papel filtro, mesmo com duas ou três camadas, nem sempre consegue impedir a passagem dos espermatozoides.

As outras investigações relatadas nesse artigo são referentes ao desenvolvimento embrionário dos anfíbios, e portanto, extrapolam o objetivo desta pesquisa e serão apenas brevemente comentadas aqui. Primeramente, são descritas as mudanças que ocorrem no vitelo durante a clivagem e que permitem afirmar qual parte do vitelo dará origem à cabeça do embrião e qual dará origem ao corpo e cauda.

Em seguida, são relatadas as observações de Newport que o levaram a afirmar que existe uma relação entre o primeiro plano de clivagem do ovo e o plano médio do corpo do embrião.

Por fim, foi investigado se a aplicação de sêmen, utilizando a cabeça de um alfinete, em diferentes pontos do ovo alteram a posição a primeira clivagem do ovo. Os resultados indicaram que parece haver uma relação entre o ponto de aplicação do sêmen com o plano de clivagem do ovo e o local onde a cabeça do embrião é formada quando o sêmen é aplicado à parte mais escura do vitelo¹⁰⁸.

4.3. Recapulação das investigações sobre os espermatozoides e contribuições de Newport para o conceito atual de fecundação

Os animalculistas, no século XVII, já afirmavam que, no caso dos animais ovíparos, para que um novo ser fosse formado era necessário que os espermatozoides (na época, chamados de “animálculos”) entrassem nos ovos das fêmeas até um certo ponto. Para alguns deles, esse ponto era o centro da cicatrícula, no qual dificilmente caberia mais de um animálculo. Isso explicaria a necessidade de mais animálculos no sêmen masculino do que ovos nas fêmeas, pois a chance de um deles encontrar o ponto exato para fecundar seria muito baixa. Alguns animalculistas, como Hartsoeker, ainda propuseram que a entrada dos animálculos ocorreria por meio de um orifício no ovo.

Essa proposta, apesar de ter alguns aspectos que se assemelham à explicação que é dada atualmente para o fenômeno da fecundação, especialmente a penetração de apenas um espermatozoide no óvulo, carecia de evidências experimentais. Adicionalmente, ela era um problema do ponto de vista filosófico da época, no qual Deus, considerado criador do Universo, não criaria nada sem função. E a proposta da existência de seres pré-formados nos animálculos, muitos dos quais nunca se desenvolveriam, implicava em um grande desperdício.

¹⁰⁸ Hoje sabe-se que a posição da primeira clivagem não é aleatória, mas tende a ser especificada pelo ponto de entrada do espermatozoide e a subsequente rotação do citoplasma do ovo (Gilbert, 2003)

Por sua vez, as propostas ovistas e epigenistas dos séculos XVII a XVIII não atribuíam aos espermatozoides um papel central na reprodução. Para os ovistas, os animálculos eram parasitas do sêmen, o que foi sugerido por estudos comparando esses “organismos” com os infusórios. Resultados experimentais, como os obtidos por Spallanzani, ao fecundar óvulos com sêmen que aparentemente estavam sem espermatozoides, também reforçaram a inexistência de um papel dos animálculos na geração de novos seres vivos. Para os epigenistas, os animálculos seriam moléculas orgânicas, que ao se misturar com moléculas orgânicas oriundas dos fluidos das fêmeas, dariam origem a novos seres vivos.

Prévost e Dumas, na década de 1820, defendem que os espermatozoides são produtos de secreção produzidos nos testículos e que os animálculos penetravam nos ovos durante a fecundação, contribuindo materialmente para formação do novo indivíduo. Esses pesquisadores ainda propuseram que apenas um animálculo seria necessário para a formação de um embrião. Porém, o trabalho de Prévost e Dumas não foi bem aceito na época de sua publicação. Havia ainda uma crença generalizada de que os espermatozoides seriam parasitas e que, portanto, eles não poderiam ter uma contribuição material na formação dos novos indivíduos. Adicionalmente, a proposta deles foi associada ao antigo animalculismo, que já havia sido rejeitado.

O desenvolvimento de estudos em outras áreas, inclusive com o desenvolvimento da teoria celular, contribuiu para o esclarecimento da natureza dos espermatozoides e dos óvulos. O reconhecimento dos espermatozoides como sendo células produzidas nos testículos não representava mais uma contradição à afirmação de que eles poderiam contribuir materialmente com a formação de novos seres vivos. No entanto, demoraram alguns anos até que a natureza celular dos espermatozoides passasse a ser aceita largamente na comunidade científica.

Nas décadas de 1840 e 1850 começaram a surgir diferentes explicações para o modo de ação dos espermatozoides. Alguns pesquisadores, como Martin Barry, afirmavam ter visto espermatozoides penetrarem em óvulos por meio de fissuras nos envelopes, enquanto outros defendiam que a atuação dos espermatozoides ocorria apenas por meio do contato com os óvulos.

Newport inicia suas investigações nesse contexto, no qual, ao mesmo tempo em que ainda restam certas dúvidas sobre o papel dos espermatozoides na reprodução, estão surgindo diferentes propostas para seu modo de atuação durante a fecundação.

Os três artigos de Newport voltados à reprodução de anfíbios possuem algumas características que são importantes de serem retomadas. Essas características não são exclusivas de seu trabalho, mas também não estiveram sempre presentes nas investigações sobre o mundo natural. Elas têm sua origem em investigações do século XVII, como, por exemplo, as de Francesco Redi na Itália e as de Réaumur, na França, marcando a transição entre a pesquisa descritiva dos seres vivos, para a sua pesquisa experimental. Nessa época, surgia uma nova tradição de naturalistas, os chamados “observadores” ou “experimentadores” dedicados a entender o funcionamento dos organismos de plantas e animais por meio das práticas desenvolvidas nas ciências físicas. Ao longo do século XVIII assistiu-se ao desenvolvimento crescente da metodologia experimental aplicada ao organismo vivo, em obras publicadas por Trembley, Bonnet, Haller, Needham e Spallanzani. Além da prática experimental, o século XVIII também acolheu a publicação de obras voltadas exclusivamente à discussão dos métodos de observar e fazer experimentos. Tanto nessas obras empíricas quanto nas teóricas, a observação e o experimento formavam um “par indissociável” do método experimental. No século XIX, com a consolidação e universalização do método experimental, no entanto, o experimento adquiriu status epistemológico de maior relevância, relegando um papel secundário à observação (Prestes, 2003).

A seguir, são ressaltadas algumas “dimensões da lógica experimental” identificadas por Prestes (2003) nas obras empíricas de Trembley e Spallanzani, sobre hidras e anfíbios, respectivamente, e na obra teórica de Jean Senebier (1742-1809), sobre “a arte de observar e fazer experiências”. Essas dimensões da lógica experimental, a saber, interlocução com as fontes, materiais, procedimentos, regras e comunicação de resultados, foram todas encontrados nos artigos de Newport analisados nesta pesquisa, como se exemplifica à seguir.

Uma das características marcantes dos artigos de Newport, já assinalada, é a **interlocução com as fontes**. Newport, antes de investigar um determinado aspecto da reprodução animal, sempre apresenta um breve comentário crítico das investigações que foram feitas até o momento sobre o tema, procurando identificar os conhecimentos que já estão bem estabelecidos e os pontos que ainda não foram esclarecidos. No entanto, muitos dos pesquisadores mencionados nesses momentos são citados apenas pelo primeiro nome, dificultando encontrar informações sobre eles. Quase todas os aspectos investigados por Newport já tinham sido investigados

por outros pesquisadores e, por isso, ele constantemente compara seus resultados e observações com os de outros pesquisadores, tomando o cuidado de mencionar aspectos que possam ter afetado a obtenção de diferentes resultados, como o modo de obtenção dos óvulos e do sêmen, as espécies de organismos utilizadas e a temperatura na qual os experimentos foram realizados.

Ao longo dos trabalhos de Newport também é muito comum o detalhamento dos **materiais** utilizados e **procedimentos**; a identificação e classificação dos seres vivos estudados; o modo de cultivo, manipulação e obtenção dos materiais biológicos usados nas investigações; o detalhamento dos modos de observação; e a descrição das etapas dos experimentos. Alguns exemplos da presença desses elementos são quando Newport especifica o filtro utilizado nos experimentos de filtração, quando menciona o tipo de microscópio utilizado e os detalhes dos procedimentos adotados que permitiram a observação da penetração dos espermatozoides nos óvulos, quando identifica os anfíbios utilizados pelo seus nomes científicos, quando explica o modo de obtenção do sêmen e dos óvulos utilizados e quando especifica a quantidade exata de sêmen e de óvulos utilizados em seus experimentos e quantifica os resultados obtidos. No entanto, apesar de apresentar uma riqueza de detalhes que possibilita uma boa compreensão do que foi feito e comparação com estudos de outros pesquisadores, em alguns momentos, como nos experimentos de filtração, Newport usa termos diferentes para se referir, ao que parece, a um mesmo elemento de sua pesquisa, o que dificulta a compreensão exata do que foi feito.

Outro aspecto presente nas obras de Newport é a repetição das observações e dos experimentos com variações e sem variações, ilustrando uma das **regras** dessa metodologia. Enquanto Spallanzani empregava o termo “série de experimentos”, Newport chamava de “conjunto de experimentos”. Esse conjunto de experimentos podia apresentar variação, quando um grupo de até oito experimentos que relatou, era dirigido a responder uma mesma questão, mas com cada experimento apresentando uma variação distinta. Nesses casos, o objetivo claro era o de testar uma hipótese inicial. Em outros casos, a repetição era de um conjunto de experimentos sem variação, com a finalidade distinta de apenas reafirmar o mesmo resultado experimental. Nos experimentos de filtração do sêmen, os dois conjuntos de experimentos, com e sem variação, foram empregados: conjuntos de experimentos idênticos associados a conjuntos em que variava o número de filtros usados. Dois aspectos do método experimental estão ilustrados nessas regras,

adotadas desde Redi e Réaumur: a reprodutibilidade dos procedimentos de observação e experimento e a realização de experimentos paralelos (grupo controle), para testar uma hipótese.

O ato de observar um material ou fenômeno durante longos períodos de tempo e anotar os detalhes também é uma característica fundamental das pesquisas de Newport. Ele faz um trabalho bastante descritivo das mudanças pelas quais os ovos passam, o que inclui a ordem de tais mudanças e também quanto tempo demora para que elas aconteçam. Também são feitas descrições detalhadas dos movimentos dos espermatozoides ao longo do tempo quando são aplicadas substâncias que afetam sua estrutura e motilidade e quando a penetração deles nos óvulos é observada. Em alguns experimentos que exigiam uma atenção maior ao tempo percorrido, Newport relata ter tido ajuda de amigos. Uma observação interessante também, é que raramente Newport menciona ter realizado seus experimentos na presença de outros investigadores. A maioria das vezes nas quais isso foi relatado, foi ao longo de seu segundo artigo. Porém, o nome desses amigos muitas vezes não era mencionado. Em um momento, durante suas observações da penetração dos espermatozoides, ele menciona a presença de um renomado pesquisador como se fosse uma testemunha de suas observações. Essa prática e consequentemente, a sua inclusão no relato publicado da pesquisa, era comum, também, desde o século XVII.

Por fim, no que diz respeito à **comunicação de resultados e conclusões**, Newport descrevia em seus trabalhos os métodos, instrumentos, resultados das observações e conclusões de modo completo, sem esconder o que deu errado. Por exemplo, Newport afirmou que os resultados de um de seus experimentos deveriam ser considerados inconclusivos porque os ovos utilizados tinham sido preservados no álcool, ao invés de terem sido obtidos pouco tempo antes do experimento. Ele também menciona situações nas quais os resultados obtidos provavelmente foram decorrentes de lesões nos óvulos, causadas durante sua obtenção e que, portanto, não poderiam ser considerados para analisar o fenômeno estudado. Relacionado a essas situações, inclui-se o fato de ele ter assumido que, quando fez seus experimentos envolvendo a filtração do sêmen, desconhecia que Prévost e Dumas e Spallanzani já tinham feito algo parecido anos antes.

Todas essas características das obras de Newport são importantes e estão relacionadas a seu objetivo de obter “provas” de que os espermatozoides eram a

parte do sêmen responsável pela fecundação dos óvulos. Apesar de a palavra “prova” para se referir a evidências científicas ser combatida na filosofia, desde David Hume, no século XVIII, a forte adesão ao empirismo ocasionou seu uso, não apenas no século XIX, como até hoje.

Essas dimensões da lógica experimental constituem aspectos do fazer científico correspondente àqueles do construto pedagógico recente de NdC. Todas elas possuem elevado potencial de levar a discussões explícitas e reflexivas em sala de aula, não só sobre como a ciência é feita hoje, mas como ela foi se desenvolvendo ao longo das ciências modernas.

Diante do exposto até aqui, pode-se dizer que Newport fez investigações bastante complexas e detalhadas sobre os mais diversos aspectos da reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios. Com relação ao modo de ação dos espermatozoides durante a fecundação, Newport defendeu ideias diferentes ao longo dos quatro anos de investigação sobre o assunto. Newport, após concluir que os espermatozoides são a única parte do sêmen responsável pela fecundação dos óvulos, não encontrou evidências de que eles entrariam dentro dos óvulos, nem por meio de observações da interação dos espermatozoides com os óvulos, nem por meio de experimentos que indicassem a possibilidade da entrada do espermatozoide inteiro dentro do óvulo. Dessa forma, ao final de seu primeiro artigo, Newport defende, basicamente, que a impregnação ocorre em dois momentos. O primeiro, seria o contato do espermatozoide em movimento com o ovo, que provoca as primeiras segmentações do vitelo, provavelmente por um poder catalítico. O segundo, seria a difluência das substâncias que formam o espermatozoide e endosmose destas para dentro do vitelo, o que é necessário para que haja impregnação completa e a transmissão de características do pai para a prole.

Em seu segundo artigo, no entanto, e já antecipando conclusões que são melhor desenvolvidas em seu terceiro artigo, Newport conclui, por meio de observações, que os espermatozoides (mais de um) penetram nos óvulos até chegar no vitelo durante a impregnação.

Ele defende que o movimento dos espermatozoides estimula as mudanças que ocorrem dentro do óvulo e são responsáveis pela penetração dos espermatozoides para dentro dos óvulos. Esse processo, no entanto, é facilitado durante a endosmose do ovo, que diminui a resistência de seu envelope à entrada dos espermatozoides, os quais parecem sofrer alguma influência de um poder

atrativo na substância do próprio vitelo. Após a penetração dos espermatozoides, deve haver algum tipo de fusão de suas substâncias com as substâncias do óvulo para que seja formado o corpo organizado do embrião e para que as características do pai sejam passadas para o filho.

O relato de Newport de ter observado vários espermatozoides penetrando nos óvulos nos faz questionar o que ele realmente observou, uma vez que hoje é sabido que apenas um espermatozoide consegue entrar em cada óvulo. Além disso, conforme mencionado no capítulo anterior, a penetração dos espermatozoides até o vitelo não podia ser observada diretamente usando as técnicas disponíveis durante a maior parte do século XIX. Para observar a penetração do núcleo dessas células seria necessário usar corantes nucleares, os quais só foram desenvolvidos na década de 1870 (Farley, 1936). Mesmo assim, Cole (1930), concordando com Bischoff, menciona que Newport pode ser considerado “o descobridor do fenômeno da penetração do espermatozoide dentro do ovo por seu próprio movimento”¹⁰⁹ (Cole, 1930, p. 195). Moore (1986), também considera Newport como sendo quem “provou” que os espermatozoides penetram nos óvulos (Moore, 1986, p. 630). Para Farley, Newport também foi um dos únicos pesquisadores que propôs uma explicação para a fecundação que envolvia uma influência dinâmica ou vitalizante do espermatozoide e também combinação química do espermatozoide com o óvulo (Farley, 1936).

A maioria dos pesquisadores do século XIX que defendiam que a fecundação consistia na penetração dos espermatozoides nos óvulos, geralmente falavam na entrada de múltiplos espermatozoides, sem se preocupar com um número exato. A entrada de uma quantidade variada de espermatozoides nos óvulos explicava, por exemplo, o sexo dos filhotes (quanto mais espermatozoides entravam, maior a chance dos filhos serem do sexo masculino) (Farley, 1936). A penetração de apenas um espermatozoide no óvulo, com igual participação dos núcleos do ovo e do espermatozoide para a formação do embrião só foram estabelecidas após as

¹⁰⁹ Farley (1936) apresenta uma breve discussão sobre relatos de outros pesquisadores da época que alegam ter observado os espermatozoides penetrando nos óvulos, mas que não estabeleceram uma relação entre esse fenômeno e a fecundação dos óvulos. Farley menciona, por exemplo, que Nelson, em artigos publicados em 1851 e 1852, estudando o *Ascaris* dos gatos, observou uma ruptura no envoltório do óvulo, por onde os espermatozoides penetram até o vitelo e depois se dissolvem. No entanto, Farley (1936) menciona que os espermatozoides que Nelson relata ter observado dentro dos ovos, na verdade, eram outro fenômeno. Além disso, não há rupturas na superfície do ovo e Nelson considerava a penetração dos espermatozoides um fenômeno acidental, sem relação com a fecundação.

pesquisas de Oscar Hertwig (1849-1922), August Weissman (1834-1914) e Fol Hermann (1845-1892), na década de 1870 (Cole, 1930).

Portanto, apesar de Newport provavelmente não ter observado, de fato, a entrada de espermatozoides no vitelo do ovo, ele provavelmente observou a entrada de espermatozoides pelo menos até depois dos envelopes e sua proposta para o mecanismo de fecundação contribuiu com a elucidação dessa questão anos depois.

5. REFERENCIAIS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DA PESQUISA PEDAGÓGICA

Conforme mencionado na introdução, este trabalho tem como objetivos pedagógicos:

- a) analisar como as pesquisas de George Newport com anfíbios podem contribuir com a aprendizagem de conceitos científicos atuais relacionados à reprodução animal e fomentar concepções fundamentadas de aspectos da natureza da ciência nos anos finais do Ensino Fundamental;
- b) elaborar e validar uma sequência didática para o ensino de reprodução nos anos finais do Ensino Fundamental que contemple os trabalhos de George Newport e contemporâneos, fazendo uso do ensino por investigação.

Neste capítulo são apresentados os referenciais teóricos e metodológicos utilizados para atingir tais objetivos. Em cada seção, são discutidos os principais aspectos de cada referencial que fundamentaram e nortearam a elaboração da sequência didática, a ser apresentada no capítulo 7. Serão discutidos, respectivamente, o ensino de aspectos da natureza da ciência, o uso da história da ciência no ensino, o ensino por investigação e a elaboração e validação de sequências didáticas.

5.1. Natureza da ciência no ensino

A prática científica é uma atividade humana complexa, que sofre a influência de aspectos culturais, sociais, políticos e econômicos, e por isso, muda ao longo do tempo e entre diferentes locais. A ideia de incluir aspectos de como a ciência é feita no ensino de conteúdos conceituais é contemporânea da própria introdução da disciplina de ciências nos currículos da educação básica, em meados do século XIX. Um exemplo disso é encontrado em palestra em Glasgow do Presidente da Associação Britânica para a Promoção da Ciência (*British Association for the Advancement of Science*): o que se buscava nesse “ensino aos jovens, não eram tanto os resultados, mas os métodos e, acima de tudo, a história da ciência” (BAAS, 1856, apud Jenkins, 2013).

As motivações para a inserção o que pode ser chamado de natureza da ciência nas aulas de ciências nas escolas foi influenciada, ao longo do tempo, por questões sociais, políticas e econômicas (Jenkins, 2013). A partir da segunda metade do século XX, um argumento em defesa do ensino de NdC nas escolas é a sua

importância para a formação de cidadãos capazes de compreender os crescentes desafios globais de natureza científica e tomar decisões pessoais e públicas sobre questões envolvendo as ciências. Ou seja, a NdC vem sendo considerada um elemento importante para a alfabetização científica (AAAS, 2009; Allchin, 2013; Jenkins, 2013; Lederman, 2007; Sasseron e Carvalho, 2008; 2011).

A despeito da origem quase bicentenária, é apenas a partir dos anos 1990 que ocorre a efetivação da NdC em pesquisa, em práticas de ensino e em documentos curriculares. Um novo campo de pesquisa interdisciplinar foi formado pela integração de conhecimentos provindos das áreas afins da filosofia, história, sociologia e psicologia das ciências (McComas e Olson, 1998), por um lado, aos desenvolvidos na área de educação em ciências, por outro:

[...] o desejo de acomodar alguns elementos de o que agora é comumente chamado de 'natureza da ciência' (NdC) no currículo escolar de ciências tem sido uma característica comum dos últimos anos, apesar de desafios significativos e mudanças profundas que ocorreram na ciência, filosofia, psicologia e sociedade, desde que a ciência começou a ser escolarizada em meados do século XIX (Russel, 1983, apud Jenkins, 2013, p. 132).

Apesar do relativo consenso sobre a importância de se trabalhar aspectos de NdC no ensino, permanecem divergências com relação a quais aspectos de NdC devam ser trabalhados. Tais divergências refletem a inexistência de uma definição consensual do que é ciência e de como a ciência funciona. Existem centenas de campos científicos, cujas diferenças não são apenas conceituais, mas metodológicas, filosóficas e linguísticas. Elas possuem tradições distintas tanto dentro quanto fora da comunidade científica. Além disso, as ciências estão imbricadas a questões de gênero e outras formas de equidade, feminismo, ambientalismo, imperialismo e sócio-ativismo, havendo também a relação entre ciência e religião (Jenkins, 2013). Esta amplitude de características refletiu-se nos diferentes enfoques sobre a inserção curricular da NdC, conforme desenvolvido por educadores de ciências nas últimas três décadas.

Foge do escopo deste trabalho fazer uma revisão sobre os diferentes enfoques em torno da NdC no ensino. Desse modo, será dado destaque aos trabalhos de Norman Lederman e Douglas Allchin sobre o assunto, por melhor atenderem aos objetivos deste trabalho e por partilharem de uma mesma concepção epistêmica, que é a demarcação entre o fazer o científico e outras áreas do conhecimento. É importante ressaltar, no entanto, que a abordagem desses pesquisadores é bastante distinta, ao ponto de Allchin tecer críticas à proposta de Lederman ao longo dos anos.

As razões para se ter escolhido trabalhar com esses referenciais são abordadas no capítulo 6.

Lederman, sendo um dos pioneiros nos estudos em NdC no ensino, já apontava em seus primeiros artigos algumas limitações dos instrumentos utilizados para avaliar as visões de alunos e professores acerca da NdC. Para Lederman, os instrumentos até então utilizados eram inadequados para os fins a que se destinavam, sugerindo resultados que não necessariamente representavam a realidade (Lederman, 1986; 1992). Dessa forma, ao longo dos anos, trabalhando individualmente ou com a esposa Judith, bem como com diversos colaboradores, Lederman aprimorou diferentes tipos de questionários de avaliação da compreensão da NdC.

Outro elemento presente nas pesquisas de Lederman foi sua constatação de que, apesar das diversas tentativas de pesquisadores e educadores ao longo dos anos, alunos e professores ainda não possuem concepções informadas da NdC (Lederman et al, 2002). Diante dessa realidade, Lederman desenvolveu numerosas propostas didáticas investigativas em torno da NdC para diferentes públicos, professores da escola básica e do ensino superior e alunos de diferentes níveis de ensino.

Segundo Lederman, a NdC tipicamente refere-se “à epistemologia da ciência, à ciência como modo de conhecer, ou os valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e seu desenvolvimento” (Lederman, 2007, p. 833). Do ponto de vista da filosofia da ciência, a concepção de Lederman reflete uma posição filiada ao chamado “realismo científico”, que é definido como “uma atitude epistêmica positiva em relação ao conteúdo de nossas melhores teorias e modelos, recomendando a crença nos aspectos observáveis e não observáveis do mundo descritos pelas ciências” (Chakravartty, 2017). O realismo científico, por sua vez, possui diferentes variantes, bem como é ainda contestada por epistemologias rivais da ciência, conhecidas coletivamente como formas de anti-realismo científico, tais como, por exemplo, empiricismo, historicismo, construtivismo social, abordagens feministas e pragmatismo (Ibidem).

Para Lederman, a inexistência de um consenso sobre o que é NdC entre os filósofos, historiadores e educadores de ciências envolve aspectos que são irrelevantes para a educação básica. Apesar dessa falta de consenso, Lederman defende, no entanto, que há alguns aspectos de NdC que raramente seriam

rejeitados atualmente, como que as observações são carregadas de teoria (Lederman et al, 2002; Lederman, 2007).

Tomando como base esses aspectos de NdC que parecem ser de uma alguma forma consensuais, e que estão presentes, inclusive, em alguns documentos em ensino de ciências, Lederman e colaboradores propõem o que Michael Matthews (2012) chamou de “Lederman Seven”, ou seja, os sete aspectos da ciência mais relevantes para serem trabalhados nas aulas de ciência educação básica. São eles:

- 1) A natureza empírica do conhecimento científico;
- 2) Teorias científicas e leis;
- 3) O papel da criatividade e imaginação dos cientistas;
- 4) O conhecimento científico como sendo carregado de teoria;
- 5) O caráter social e cultural do conhecimento científico;
- 6) O mito do método científico;
- 7) A natureza provisória do conhecimento científico;

Essa proposta de Lederman e colaboradores (2002), é simples e de fácil exemplificação tanto para professores quanto para alunos, comparativamente aos outros principais enfoques pedagógicos como os de Matthews (2012), Allchin (2013) e Dagher e Erduran (2016). O argumento central de Lederman ao propor esses sete aspectos é que eles são fáceis de serem compreendidos por estudantes da escola básica e fáceis de serem mapeados no currículo de ciências de qualquer nível de ensino. Além disso, esses aspectos permitem um equilíbrio entre o que a maioria dos estudantes, do pré-primário à universidade, podem entender e garantir que o conteúdo seja abordado na profundidade adequada para prepará-los a participar, com conhecimento, de leituras e discussões como cidadãos sobre tópicos científicos. Desse modo, em vez de levar os estudantes a analisar as diferenças entre as várias formas de obtenção do conhecimento científico – que poderia gerar mais confusão e equívocos – é mais efetivo abordar algumas das similaridades ou características gerais da ciência (Lederman, Abd-El-Khalick, Smith, 2019).

Alguns pesquisadores, como Allchin (2013), Duschl e Grandy, (2013), Hodson (2014) e Matthews (2012) criticam o uso de listas consenso de NdC no ensino, dentre outros motivos, por acreditarem que tais listas promovam uma visão simplificada da natureza do conhecimento científico. Diante de tais críticas, Lederman insiste que o seu objetivo não é enfatizar uma lista em detrimento de outras, mas fornecer uma

referência que ajude a distinguir NdC da investigação científica e do corpo de conhecimento resultante (Lederman, 2007).

Outra proposta que será aqui abordada é a de Douglas Allchin. Allchin (2010a) critica o uso de listas consenso para se referir à natureza da ciência, pois, para ele, essas listas são incompletas e insuficientes para promover a alfabetização científica. Allchin relaciona a alfabetização científica com a capacidade de “interpretar a confiabilidade de alegações científicas em tomadas de decisão pessoais e públicas” (Allchin, 2013, p.4) e este deve ser objetivo com o qual os alunos aprendem NdC, segundo o pesquisador.

Para tomar decisões relacionadas à confiabilidade de alegações científicas, os alunos precisam compreender o que Allchin chama de ciência integral (*whole science*), ou seja, todas as etapas da produção do conhecimento científico e dos elementos que interferem na confiabilidade desse conhecimento, desde as primeiras investigações no laboratório até a comunicação das conclusões para a sociedade (Allchin, 2013). Allchin defende sua proposta justificando que, devido à grande quantidade de conhecimento disponível atualmente, é impossível que as pessoas conheçam todos os conceitos necessários para compreender um determinado problema e busquem todas as informações necessárias antes de tomar uma decisão. Por isso, as pessoas devem ser capazes de escolher no que confiar e em quem confiar, mesmo que não dominem os conceitos científicos envolvidos no problema (Allchin, 2010a).

Por isso, Allchin apresenta uma grande tabela com o que ele chama de “dimensões da confiabilidade da ciência”, elencando alguns aspectos que são importantes de ser trabalhados dentro de cada uma das dimensões. Na dimensão observacional estão elementos relacionados à observações, medidas, experimentos e instrumentos. Na dimensão conceitual estão inseridos modos de pensar, dimensões históricas e dimensões humanas. Por fim, na dimensão sociocultural estão incluídas as instituições, vieses, financiamento e comunicação (Allchin, 2013). O conceito de dimensões é apresentado por Allchin como sendo uma forma de unificar algumas contradições presentes em algumas listas consenso de NdC. Por exemplo, é importante que as pessoas compreendam que o conhecimento científico é durável, mas que ele também é sujeito à mudanças. Ao tratar esses itens separadamente, essas ideias podem parecer contraditórias, mas ao agrupá-los dentro de uma mesma dimensão da confiabilidade da ciência se está considerando

que a ciência ou o conhecimento científico pode possuir ambas as características, dependendo da situação considerada (Allchin, 2010a).

Tão importante quanto as discussões sobre quais aspectos de NdC devem ser trabalhados na educação básica, são as discussões sobre quais abordagens são mais eficientes para promover o aprendizado de tais aspectos. Alguns trabalhos sugerem que abordagens de ensino investigativas favorecem a compreensão de aspectos de NdC. Ao realizar atividades investigativas, os alunos aprendem como uma investigação científica ocorre vivendo a ciência. Dessa forma, pelo fato dos alunos estarem seguindo métodos e práticas semelhantes aos dos cientistas, se torna mais significativo refletir sobre a natureza da ciência (Allchin, 2010, Lederman, 2007).

No entanto, alguns trabalhos sugerem que apenas realizar ciência não é suficiente para compreender suas características, propondo que a NdC seja trabalhada por meio de uma abordagem explícita e reflexiva (Abd-El-Khalick, 2004; Allchin, 2010a; Duschl e Grandy, 2013; Kruse, 2010; Lederman, Abd-El-Lhalick e Smith, 2019; Rudge e Howe, 2009). O significado de “explícita e reflexiva” varia ao longo dos trabalhos, mas para os fins desta pesquisa, esse termo significa que os alunos devem refletir sobre os aspectos de NdC nas atividades realizadas, por meio de questões específicas (“reflexiva”) e que a aprendizagem de NdC deve fazer parte dos objetivos pedagógicos das aulas de ciências (“explícita”) (Khishfe e Abd-El-Khalick, 2002).

5.2. História da ciência no ensino

A incorporação da história da ciência no ensino de ciências ocorreu desde a própria criação da disciplina de ciências nas escolas, em meados do século XIX. A despeito disso, na prática, a história da ciência não foi incorporada como um elemento central das aulas nas escolas.

Nos livros didáticos, por exemplo, a história da ciência geralmente está presente apenas em pequenos trechos ou quadros que acompanham o conteúdo científico principal que será trabalhado. Faz-se menção a nomes de cientistas importantes e às datas em que ofereceram suas contribuições, geralmente conceituais, à ciência. Não raro, há um enaltecimento das descobertas de um cientista, o qual é caracterizado como gênio ou herói, afastado de seu contexto epistêmico e isolado de seu contexto social, político e cultural. Esse tipo de “história da ciência” também tende a simplificar o processo de construção do conhecimento

científico, já que muitas vezes omite os “erros” e dificuldades das pesquisas (Allchin, 2013; Kruse, 2010; Martins e Brito, 2006). Conforme visto na seção 2.2. deste trabalho, esse modo de retratar a história da ciência é chamado por Douglas Allchin de “pseudohistória”, pois “transmite ideias falsas sobre o processo histórico da ciência e a natureza do conhecimento científico, mesmo se baseada em fatos reconhecidos” (Allchin, 2004, p. 186), ou seja, transmite ideias equivocadas sobre a natureza da ciência.

A pseudohistória e, portanto, representações equivocadas da natureza da ciência, não estão presentes apenas nos livros didáticos, mas também em textos de divulgação científica (Fioresi e Silva, 2017) e em diversos gêneros de filmes históricos que de alguma forma abordam temas científicos (Oliveira, 2006), que reforçam diferentes estereótipos dos cientistas e do fazer científico.

Diante dos problemas acarretados por esse modo mais tradicional de se trabalhar com a história da ciência, pesquisas recentes vem sendo feitas de modo a propor uma outra forma de se trabalhar com a história da ciência. É nesse contexto, por exemplo, que o Laboratório de História da Biologia e Ensino (LaHBE) do Instituto de Biociências da USP, onde desenvolveu-se a presente pesquisa, dedica-se ao desenvolvimento de episódios contextualizados da história da biologia pautados no ensino por investigação como ferramentas pedagógicas para facilitar a aprendizagem de conceitos científicos atuais e promover concepções fundamentadas sobre aspectos da natureza da ciência (LaHBE). O uso da palavra “ferramenta” aqui tem um sentido de instrumentalização, querendo dizer que o uso da história da ciência em sala de aula não tem como objetivo primordial ensinar conteúdos de história da biologia em si, mas tomá-los como estudo de caso para aprender ciência e *sobre* ciência. A história da ciência seria um instrumento utilizado para ensinar conteúdos científico e de NdC (Allchin, 2013; Rudge e Howe, 2013).

Pensando na inclusão da história da ciência nos currículos das escolas, de modo geral, ela pode acontecer por meio de duas abordagens. Uma delas é a abordagem integrada, na qual a perspectiva histórica é usada como linha condutora de todo o conteúdo científico que será trabalhado com os alunos ao longo de um determinado curso, ou seja, todos os conceitos são trabalhados a partir de suas construções ao longo da história. Uma outra abordagem, que é mais fácil de ser adotada como referencial na educação brasileira, é a abordagem inclusiva. Nesse caso, episódios históricos, ou estudos de caso, são introduzidos ao longo de cursos

de ciências padrão conforme os objetivos do professor (Prestes e Caldeira, 2009). A proposta pedagógica de utilização da história da ciência na presente pesquisa dialoga melhor com abordagem inclusiva, pois está sendo pensada tomando como referência um curso de ciências padrão que busca incorporar em algum momento do currículo o episódio histórico que está sendo pesquisado.

Referente ao ensino de NdC, uma das vantagens de se trabalhar com casos históricos a partir de uma abordagem investigativa é a possibilidade de analisar aspectos de NdC que não seriam possíveis (ou que seriam, pelo menos, mais difíceis) com casos contemporâneos. Por exemplo, os tipos de erro que os cientistas podem cometer, o papel do contexto cultural nas ideias científicas e a sujeição a mudanças do conhecimento científico. Além disso, quando os alunos investigam casos históricos, eles chegarão a conclusões semelhantes as de importantes cientistas no passado. Isso pode ser um fator motivador para os alunos para o aprendizado de ciências, porque ele se sentirá capaz de desenvolver investigações e aprender (Allchin, 2010a). A história da ciência usada a partir de uma abordagem investigativa também é um modo de contextualizar e evidenciar os processos de construção dos conceitos científicos, o que pode ajudar os alunos a compreender mais facilmente conceitos científicos e métodos, a estabelecer conexões entre diferentes tópicos e entre disciplinas científicas e não científicas e a conectarem o desenvolvimento do seu pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas. A história da ciência trabalhada a partir dessa perspectiva também contribui com a humanização da ciência, aumenta a motivação dos estudantes e ajuda os alunos a desenvolverem habilidades de investigação (Allchin, 2013; Martins, 1998; Matthews, 1994; McComas, 2013).

Existem diferentes estratégias para o uso da história da ciência em sala de aula. McComas (2013) fornece uma série de exemplos que foram utilizados na educação científica nos últimos 60 anos. Diversas delas são objeto das pesquisas realizadas no LaHBE, tais como narrativas históricas textuais e virtuais, jogos eletrônicos, replicações físicas e virtuais de experimentos históricos, roteiros de análise de conteúdo histórico em materiais instrucionais, roteiros de atividades dirigidas sobre história da biologia em classe e traduções comentadas de fontes primárias da história da biologia.

5.3. Ensino por Investigação

Neste trabalho, o ensino por investigação está sendo considerado uma abordagem didática, porque pressupõe certos papéis para o professor e alunos e pode ser utilizada para trabalhar qualquer tema, fazendo uso de diversos recursos e estratégias de ensino (Sasseron, 2015). Não existe um conjunto único de características que uma atividade ou uma sequência de ensino deve ter para ser considerada investigativa. Alguns trabalhos recentes, como os de Pedaste e colaboradores (2015) e de Soares e Trivelato (2019), fazem uma revisão dos trabalhos publicados sobre o tema, buscando identificar as principais características do ensino por investigação.

De modo geral, no ensino por investigação, o ponto de partida é um problema ou questão que precisa ser resolvido e, para resolver esse problema, os alunos, que são os sujeitos ativos no processo de investigação, seguem métodos e práticas semelhantes aos dos cientistas (Keselman, 2003; Sasseron, 2015). O papel central do professor, no processo de investigação, é o de orientar os alunos nas diferentes etapas da investigação (Sasseron, 2015). Não deve ser esperado, no entanto, no caso dos alunos da educação básica, que eles passem a se comportar como verdadeiros cientistas, não só porque eles não possuem a idade adequada, como também porque esse não é o objetivo do ensino de ciências nessa etapa educacional. O objetivo é que os alunos desenvolvam algumas habilidades de investigação e apreendam a linguagem científica para, aos poucos, ampliarem sua cultura científica e irem se alfabetizando cientificamente (Carvalho, 2013).

É importante que o problema desencadeador da investigação faça parte da cultura dos alunos, ou seja, de seu cotidiano, para que eles tenham interesse em solucioná-lo. Durante essa busca, os alunos devem poder expor os conhecimentos que já possuem sobre o assunto, pois é a partir desses conhecimentos que eles construirão novos conhecimentos ou darão novos significados para os conhecimentos que já possuem (Carvalho, 2013).

Para realizar a investigação, os alunos devem colocar em prática habilidades de investigação comuns no meio científico, como elaborar e testar hipóteses; coletar, organizar e analisar dados; encontrar padrões; elaborar conclusões; refutar hipóteses e elaborar modelos. Os estudantes também devem ser capazes de organizar e comunicar suas ideias e conclusões usando a linguagem adequada, como a argumentação (Carvalho, 2013; Pedaste et al, 2015). É importante mencionar que a

investigação não necessariamente envolve uma experimentação. A partir de um problema, os alunos podem buscar as informações para resolvê-lo em textos, tabelas, gráficos, imagens, vídeos, jogos ou simulações, dependendo dos objetivos da investigação (Scarpa e Silva, 2013). Porém, não se pode assumir que os alunos possuam essas habilidades e saibam usar a linguagem adequada, pois elas fazem parte de uma cultura específica, a cultura científica, com a qual muitas vezes os alunos não estão familiarizados (Sasseron, 2015).

Dessa forma, quando se diz que o papel do professor no ensino por investigação é o de orientar os alunos, isso engloba diferentes ações, como auxiliar os alunos a desenvolver habilidades de investigação e linguagem científica, como: reconhecer e testar hipóteses, inclusive apresentando-lhes a linguagem adequada (“e se....”, “então....”); descrever, nomear e caracterizar fenômenos; reconhecer as variáveis que atuam no fenômeno; construir as relações entre as variáveis; e contruir explicações. Além disso, o professor também deve mediar as interações discursivas entre ele e os alunos e entre os alunos, ou seja, fazer perguntas, propor problemas, questionar comentários e informações dados pelos alunos e solicitar o aprofundamento do que foi dito. Também é papel importante do professor organizar o tempo, espaço e dinâmica das atividades: deixar claro para os alunos o planejamento de atividades para aquele dia; organizar o espaço físico a ser utilizado de modo adequado com a proposta pedagógica; administrar o tempo de duração de cada atividade, sabendo dar tempo a mais para os alunos quando necessário ou encerrar a atividade antes do previsto caso o trabalho já tiver sido concluído de modo satisfatório; pedir a atenção dos alunos antes de iniciar as discussões; explicar como as atividades devem ser feitas e o que é esperado dos alunos; repreender comportamentos inadequados; ouvir as ideias dos alunos e utilizá-las nas discussões com a turma; dar oportunidade para que todos os alunos participem; dar *feedback* positivo aos alunos que estão atendendo às expectativas (Sasseron, 2013).

Pensando na importância das diferentes interações discursivas que devem ocorrer ao longo de atividades investigativas, é importante que haja momentos de discussão em pequenos grupos, para que os alunos possam trocar ideias uns com os outros e assim, aprender uns com os outros; discussão com a sala, para que todos os alunos saibam o que os outros grupos discutiram; e momentos individuais de sistematização do conhecimento, para que cada aluno possa, ao seu jeito e no

seu tempo, organizar o que foi aprendido e para que o professor possa identificar as dificuldades de cada aluno (Carvalho, 2013).

Pedaste e colaboradores (2015), após uma extensa revisão bibliográfica sobre as principais características do ensino por investigação (*inquiry-based learning*) na literatura, resumiram as principais fases e subfases do ciclo de investigação e as relações entre elas (figura 7). Abaixo segue uma breve explicação do que caracteriza cada uma das fases e subfases.

A fase de orientação é caracterizada pelo estímulo à curiosidade dos alunos sobre um tópico e pela apresentação do problema a ser resolvido. Na fase de conceitualização, são elaboradas perguntas de pesquisa e/ou hipóteses a serem investigadas com base no problema apresentado. Na fase de investigação ocorre o planejamento e execução da investigação, que pode ocorrer de diferentes formas, como em explorações e experimentações. Nas explorações, os alunos buscam encontrar relações entre diferentes variáveis oriundas de diferentes fontes (como textos), de modo sistemático e planejado. As experimentações envolvem o design e condução de experimentos para testar a hipótese previamente formulada. Em ambos os casos, os dados obtidos devem ser analisados e organizados de modo que faça sentido, resumindo o novo conhecimento. O processo de chegar a conclusões com base nas informações organizadas que possibilitem responder à pergunta de pesquisa e/ou refutar ou corroborar hipóteses é o que caracteriza a fase de conclusão. Por fim, a discussão, que permeia todo o ciclo investigativo, envolve a comunicação dos resultados com outros colegas e/ou professor e o recebimento de *feedback*; além da reflexão sobre o processo de investigação, que pode envolver discussão, crítica e avaliação do que está sendo feito (Pedaste *et al*, 2015).

Outro aspecto importante do ciclo de investigação, é que não há um único caminho a ser seguido, ou seja, não há uma única ordem em que as fases e subfases que compõem o ciclo de investigação devem ser seguidas, conforme mostrado pelas setas da figura 7. Apesar das investigações, de um modo geral, se iniciarem na fase de orientação, existem diversos caminhos que podem ser percorridos entre as outras fases e subfases, até chegar na conclusão ou discussão, dependendo das características da investigação que está sendo realizada. Também é importante mencionar que o conhecimento elaborado ao longo de um ciclo investigativo pode ser aplicado a novas situações e problemas práticos, dando origem a novos ciclos de investigação (Pedaste *et al*, 2015).

Figura 7. Estrutura do ensino por investigação (fases, subfases e suas relações), segundo Pedaste e colaboradores (2015)

Fonte: São Paulo (2019), p. 112.

Carvalho (2013) sugere que uma atividade de avaliação e/ou aplicação dos conhecimentos adquiridos durante a investigação seja aplicada ao final do ciclo como um meio de sistematizar o conhecimento obtido. Diferentemente da maioria das outras atividades realizadas durante a investigação, que envolvem trabalhos em grupo, essa atividade deve ser realizada preferencialmente individualmente, para que o professor possa analisar o aprendizado de cada aluno e retomar os pontos necessários. Indo ao encontro dos objetivos do ensino por investigação, essa avaliação deve retomar os principais conteúdos que os alunos teriam que ter aprendido, sejam eles conceituais, atitudinais, procedimentais, históricos ou de

natureza da ciência (Carvalho, 2013).

Todas as fases propostas por Pedaste e colaboradores podem ocorrer em apenas uma atividade, que pode durar um tempo variado de aulas, ou, dependendo do grau de complexidade da investigação, elas podem ocorrer ao longo de uma sequência de ensino investigativa (SEI), que, segundo a definição de Carvalho (2013) é uma:

sequências de atividades (aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada atividade é planejada, do ponto de vista do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores (Carvalho, 2013, p. 9)

O objetivo das SEIs é permitir que a investigação ocorra em aulas que, a princípio são reconhecidas como distintas. Na SEI todas as atividades desenvolvidas devem ser investigativas, ou seja, contribuir com a resolução do problema. Nesse caso, cada atividade planejada tem um objetivo dentro da sequência como um todo (Carvalho, 2013). Para desenvolver essa sequência de atividades, portanto, é aconselhável planejar uma sequência didática, tópico da próxima seção.

Os referenciais trazidos até o momento são importantes para chamar atenção dos elementos estruturantes de uma atividade ou sequência investigativa. No entanto, eles não abordam as peculiaridades do uso da história da ciência a partir dessa abordagem, principalmente na educação básica. Ao se fazer uma investigação que faz uso da história da ciência, dificilmente ela terá um alto grau de liberdade (Carvalho, 2018), já que normalmente, o problema será posto pelo professor, e apesar dos alunos poderem levantar hipóteses e propor experimentos, os caminhos a serem seguidos ao longo da investigação serão “guiados” pelo episódio histórico que está sendo utilizado (Allchin, 2014).

5.4. Sequências didáticas: elaboração e validação

Existem diferentes definições e finalidades para as Sequências Didáticas (SD). Para os fins do presente trabalho, serão utilizados como referência os trabalhos de Antoni Zabala (1998), Guimarães e Giordan (2013) e Méheut e Psillos (2004).

Segundo Zabala (1998), uma sequência didática é uma unidade do processo educativo, na qual um conjunto de atividades são “ordenadas, estruturadas e

articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (Zabala, 1998, p. 18). Guimarães e Giordan (2013) mencionam um outro elemento importante da SD, que é a problematização, definindo SD como sendo “um conjunto de atividades articuladas e organizadas de forma sistemática, em torno de uma problematização central” (Guimarães e Giordan, 2013, p. 2). Mehéut e Psillos (2004), definem as “*teaching-learning sequences*”, aqui chamadas de sequências didáticas, como sendo sequências orientadas por um tópico, como eletricidade, fotossíntese e calor (Mehéut e Psillos, 2004, p. 515).

A escolha em elaborar uma SD neste trabalho se deu pelo fato de que as SD permitirem a organização e análise da prática pedagógica sob uma perspectiva processual, que inclui as três fases da prática pedagógica reflexiva: o planejamento, a aplicação e a avaliação (Zabala, 1998) em um nível micro ou médio, geralmente durando algumas semanas (Mehéut, Psillos, 2004). Além disso, a SD também pode ser usadas como ferramentas de pesquisa, buscando investigar, por exemplo, questões relacionadas ao ensino e aprendizagem de certos tópicos (Mehéut, Psillos, 2004).

Existem várias linhas teóricas de elaboração e validação de SD utilizadas no ensino de ciências (Mehéut e Psillos, 2004; Guimarães e Giordan, 2013). A validação é “um procedimento sistemático de avaliação de determinado instrumento de ensino, por meio de testes que procuram verificar sua capacidade de desempenho e a confiabilidade de seus resultados” (Guimarães e Giordan, 2013, p. 2). A SD elaborada neste trabalho foi validada tomando como base a proposta da Engenharia Didática (Artigue, 1987 *apud* Guimarães e Giordan, 2013), a qual é constituída de quatro fases: análise prévia, validação *à priori*, experimentação e análise *à posteriori*. A análise prévia é conduzida segundo uma determinada fundamentação teórica, nos conhecimentos didáticos do professor/pesquisador e na análise de casos prévios. Com base na proposta de Guimarães e Giordan (2011), foram estabelecidos os elementos estruturantes para a sequência didática do presente trabalho: título; público alvo; problematização; objetivos; dinâmica; avaliação e referências. A validação *à priori* tem por objetivo assegurar a capacidade do instrumento, neste caso, a SD, em permitir “a invenção, a organização e o desenrolar das situações em geral” (Guimarães e Giordan, 2013, p. 2). A experimentação é a fase na qual a SD é aplicada em sala de aula. Esse processo também pode ser chamado de validação

interna. Por fim, na análise à posteriori, a SD é reelaborada com base nas informações das fases anteriores, retomando os objetivos iniciais.

6. METODOLOGIA DA PESQUISA EMPÍRICA

Este capítulo versa especificamente sobre a elaboração e validação da sequência didática (SD), a partir do episódio histórico investigado nos capítulos 2 a 4 deste trabalho e dos referenciais teóricos e metodológicos apresentados no capítulo anterior.

Nas seções a seguir, serão discutidos a escolha do recorte da pesquisa histórica em torno do qual a SD foi elaborada, os critérios para a escolha dos aspectos de natureza da ciência (NdC) a serem trabalhados na SD e aspectos gerais da elaboração e validação da SD.

6.1. O recorte do episódio histórico

Antes de iniciar a elaboração da sequência didática, era necessário escolher os elementos do episódio histórico investigado a serem incorporados nela. Devido aos objetivos da presente pesquisa, a intenção, no início, era que a sequência didática tivesse como elemento central as investigações de Newport que o permitiram chegar às seguintes conclusões:

- a) a parte do sêmen masculino responsável pela fecundação dos óvulos das fêmeas é apenas o espermatozoide;
- b) a fecundação do óvulo da fêmea ocorre pela penetração do espermatozoide dentro dele.

No entanto, após a conclusão da pesquisa histórica, foram identificados dois aspectos que dificultariam a elaboração de uma sequência didática focada apenas nas investigações de Newport. O primeiro aspecto é que, para Newport chegar a essas conclusões foram realizados diversos experimentos, os quais não poderiam ser trabalhados em sua totalidade na sequência didática por duas razões principais. A primeira, é que sequência didática ficaria muito longa, tornando-a praticamente inaplicável na maioria das escolas. A segunda razão é que a compreensão de alguns desses experimentos depende de certos conhecimentos prévios que não são de domínio da maioria dos alunos dos anos finais do ensino fundamental. O outro aspecto importante é que as investigações de Newport foram fortemente influenciadas pelas pesquisas de Spallanzani, Prévost e Dumas. Consequentemente, se esses pesquisadores não fossem incorporados na sequência didática, poderia-se correr o risco de contar uma pseudohistória, conceito abordado nas seções 2.2 e 5.2 deste trabalho.

Diante desse cenário, foi decidido usar como elemento central da sequência didática os experimentos de filtração do sêmen realizados independentemente por Spallanzani, na Itália, em 1785, depois, por Prévost e Dumas, em Genebra, em 1824 e, por fim, por Newport, na Inglaterra, em 1851. Apesar de haver diferenças nos experimentos realizados por cada pesquisador, eles consistiram, essencialmente, em filtrar o sêmen de rãs para separar os espermatozoides da parte líquida e testar, cada uma dessas partes, separadamente, em óvulos, visando identificar a necessidade dos espermatozoides para a fecundação.

A escolha em ter esses experimentos de filtração do sêmen como elemento histórico central da SD se deu tanto por sua relevância nas investigações destinadas a elucidar o papel dos espermatozoides na fecundação, quanto pela facilidade em abordar esses experimentos em sala de aula. O Artigo 1º da Lei no 11.794/2008 estabelece procedimentos para o uso científico de animais, revogando a lei 6.638 de 1979, e veta a utilização de animais vertebrados em atividades no ensino básico, só permitindo sua utilização no Ensino Superior ou profissionalizante da área biomédica (Brasil, 2008). Dessa forma, não é possível realizar e nem demonstrar, em aulas do ensino básico, nenhum dos experimentos tratados no episódio histórico investigado. Uma alternativa, seria replicar virtualmente esses experimentos, como realizado, por exemplo por Miler Pereira (2014), ao propor o trabalho com alguns experimentos realizados por Spallanzani relacionados à reprodução das rãs. No entanto, fogia ao escopo deste trabalho elaborar replicações virtuais de experimentos. Dessa forma, uma forma encontrada de trabalhar com os experimentos históricos, conforme será visto na descrição da sequência didática, é demonstrar para os alunos os procedimentos adotados pelos pesquisadores, usando materiais que remetam aos utilizados originalmente. Essa demonstração de experimento é relativamente simples de ser feita com os experimentos de filtração do sêmen, ao contrário de outros experimentos que envolvem procedimentos mais complexos e materiais mais específicos.

Outros elementos da pesquisa histórica que também aparecem na sequência didática são algumas informações a respeito do contexto das investigações sobre reprodução animal que estavam sendo realizadas entre os séculos XVII e XIX e outros experimentos que foram importantes para a elaboração do conceito de fecundação tal qual conhecemos hoje.

6.2. Potencialidade do recorte histórico para trabalhar aspectos de natureza da ciência

Após a escolha do episódio histórico a ser trabalhado na SD, este foi analisado, buscando identificar possíveis conceitos científicos e aspectos de natureza da ciência que poderiam ser trabalhados a partir dele.

Conforme abordado na seção 5.1. deste trabalho, há uma série de propostas diferentes para se trabalhar a NdC no ensino. À princípio, a intenção era trabalhar com os aspectos de NdC propostos por Lederman e colaboradores (2002), por essa ser uma proposta simples e de fácil exemplificação tanto para professores quanto para alunos. No entanto, conforme o episódio histórico foi sendo analisado mais detalhadamente, foram identificados alguns aspectos de NdC que não apareciam na proposta de Lederman, mas apareciam na proposta de Douglas Allchin (2013). Dessa forma, foi decidido usar ambas as propostas para nortear a escolha dos aspectos de NdC a serem trabalhados na SD. Isso não significa ignorar as diferenças existentes entre essas propostas, as quais são melhor explicadas na seção 5.1 deste trabalho, mas apenas uni-las para fins pragmáticos, a fim de proporcionar uma SD mais rica em termos de aspectos de NdC trabalhados.

A seguir, é apresentada a análise feita do episódio histórico a ser trabalhado na SD.

Como detalhado nos capítulos 3 e 4, o experimento de filtração do sêmen foi realizado, primeiramente, por Spallanzani, na Itália, em 1785, depois, por Prévost e Dumas, em Genebra, em 1824 e, por fim, por Newport, na Inglaterra, em 1851. Prévost e Dumas só tomaram conhecimento do experimento de filtração de Spallanzani depois que eles já tinham realizado seus próprios experimentos de filtração. O mesmo aconteceu com Newport, que só tomou conhecimento dos experimentos dos três pesquisadores, depois que ele já tinha realizado suas próprias filtrações. O fato de o mesmo desenho experimental ter sido planejado (isto é, imaginado, segundo a terminologia da NdC) e executado de maneira independente nas três investigações oportuniza a discussão do que Norman Lederman destaca como o **papel da criatividade e imaginação** no fazer científico, particularmente na metodologia experimental (Lederman, 2007, p. 834). Além disso, o fato de não conhecerem os experimentos de filtração uns dos outros permite realizar uma discussão sob a perspectiva sociocultural e dimensão da comunicação e difusão dos trabalhos científicos, incluindo aspectos como as **normas para manusear dados**

científicos e credibilidade de periódicos científicos e de grande público (Allchin, 2013, p. 24).

Outro aspecto de NdC que esses experimentos oferecem à discussão é o de que apesar de todos esses pesquisadores terem obtidos resultados semelhantes – o sêmen filtrado várias vezes perde sua capacidade de fecundação – a interpretação que deram foi diferente. Spallanzani interpretou seus resultados de modo diferente de Prévost, Dumas e Newport. Para Spallanzani, esse resultado não foi interpretado como um indício da necessidade dos espermatozoides para a fecundação. As duas principais razões para isso foram, por um lado, a confirmação de alguns resultados que Spallanzani tinha obtido anteriormente de fecundação de óvulos com sêmen que aparentemente não continha espermatozoides e, por outro, a sua forte filiação à teoria ovista, a qual era predominante entre os pesquisadores de sua época. Por seu turno, Prévost e Dumas, assim como Newport, interpretaram esses resultados como sendo indicativos, ou, nas palavras de Newport, “provas”, de que os espermatozoides são a parte do sêmen que fecunda os óvulos. As observações e os fatos conhecidos pelas observações são isentos de teoria? É possível uma observação absolutamente neutra, ou isenta, ou livre de teorias e tendências? Essas perguntas podem nortear reflexões e discussão explícita sobre aspectos de NdC destacados por Lederman, as ***diferenças entre observação e inferência*** e a ***determinação teórica sobre a investigação*** empírica (Lederman, 2007, pp. 833-834). Pode-se discutir ainda sobre a resolução de controvérsias científicas, quando há experimentos que parecem dar respostas diferentes a uma questão (como os realizados por Spallanzani). As controvérsias científicas não estão entre os aspectos de NdC de Lederman, nem no inventário de confiabilidade da ciência de Allchin, mas neste segundo autor, as controvérsias podem ser trazidas à tona como o aspecto das ***explicações alternativas***, alocadas sob a perspectiva conceitual e dimensão de padrões de raciocínio (Allchin, 2013, p. 25).

No âmbito ainda das diferentes interpretações a dados experimentais, é promissora a discussão explícita com os estudantes da inadequação do conceito de “prova”, usado por Newport, assim como por grande parte de cientistas até hoje, para se referir aos resultados de observação e experimentos empíricos. Os resultados das observações e experimentos constituem premissas de argumentação indutiva, que, como alertado por David Hume (1711-1776), não possuem uma justificativa racional, mas refletem regularidades que, por um tipo de instinto natural, esperamos que

continuem a ocorrer. A força ou a certeza derivada de um argumento indutivo é, portanto, uma questão de grau. Em vez de “provas”, observações e experimentos oferecem “evidências” que, a depender do número de repetições nas mesmas condições, aumentam a probabilidade ou o grau de confiança que depositamos (intuitivamente) sobre a conclusão; em termos mais filosóficos, invertendo o sinal, os dados de observação e experimentos tornam improvável que a conclusão seja falsa. Toda essa discussão sobre o método indutivo enquadra-se na perspectiva observacional e dimensões das observações e medições, bem como dos experimentos, considerando aspectos como **acurácia e precisão, completude de evidência, robustez, replicação e tamanho da amostra** (Allchin, 2013, p. 25).

Além disso, como esse experimento não dá indícios do *modo* pelo qual os espermatozoides agem na fecundação, outros experimentos foram realizados para elucidar a questão. No caso de Newport, são interessantes seus relatos de frustração ao não conseguir ver espermatozoides penetrando nos óvulos ou orifícios nos óvulos pelos quais os espermatozoides penetrariam, conforme relatavam alguns pesquisadores renomados. Mas ele não desiste de esclarecer essa questão, e realiza experimentos para investigar se haveria a possibilidade de alguma partícula do tamanho dos espermatozoides penetrarem nos óvulos. Nesse ponto, pode-se fomentar a discussão do papel da **subjetividade** no fazer científico, ou seja, de traços psicológicos como curiosidade, persistência, determinação e resiliência (Lederman, 2007, p. 834), o que se assemelha muito ao **espectro das motivações para fazer ciência** (Allchin, 2013, p. 24).

Newport procura alternativas para superar a nova dificuldade e planeja, imagina e executa, novos experimentos, desta vez com compostos que agem quimicamente ou mecanicamente nos espermatozoides, afetando sua atuação. Diante dos resultados, elabora a sua primeira explicação para o modo de ação dos espermatozoides, a de que não há “infiltração direta e palpável de matéria seminal” no óvulo (Newport, 1851, p. 220). No entanto, no ano seguinte, mediante novos experimentos, ele consegue observar a penetração dos espermatozoides nos óvulos e muda sua explicação para a de que vários espermatozoides entram no “vitelo do ovo”, acrescentando, que isso não ocorre por algum “orifício especial ou canal nos envelopes” que compõem a membrana do ovo da rã, “mas na verdade perfuram a substância dos envelopes em qualquer parte com a qual eles entram em contato” (Newport, 1853, p. 271).

Essa nova explicação de Newport não é ainda a que aceitamos hoje, pois atualmente concebemos a fecundação em três etapas. Na primeira etapa, sim, vários espermatozoides passam por um processo denominado capacitação, tornando-os aptos a adentrarem o ovócito e eles realmente penetram a corona radiata da membrana do ovócito. Na segunda etapa é que apenas um espermatozoide realiza a chamada reação acrossômica, com suas enzimas e proteínas, que o habilita a seguir para a penetração, agora, da zona pelúcida da membrana do ovócito, momento em que ocasiona a chamada reação cortical que bloqueia a entrada de um novo espermatozoide. Chega-se então à terceira etapa da fecundação, a da fusão das membranas plasmáticas do ovócito e do espermatozoide, quando a cabeça e a cauda do espermatozoide penetram no citoplasma do ovócito.

Assim, ainda que sujeita a ajuste empírico posterior, a conclusão de Newport levou ao avanço conceitual da ocorrência da penetração do espermatozoide no ovo para a efetivação da fecundação, dirimindo a controvérsia milenar sobre a sua participação na reprodução sexual. Trata-se de aspecto que Allchin alocou sob a perspectiva conceitual e dimensão histórica, o de **mudança conceitual** (Allchin, 2013, p. 25).

Outros aspectos que também podem ser discutidos são o uso de organismos modelo em pesquisas, já que os três pesquisadores fizeram investigações com anfíbios, recaindo no aspecto **modelos e organismos modelo** que Allchin aloca da dimensão experimentos da perspectiva observacional (Allchin, 2013, p. 25).

6.3. Elaboração e validação da sequência didática.

Foi a partir do recorte histórico e dos referenciais teóricos apresentados no capítulo 5 que a sequência didática foi elaborada. Após a elaboração da SD, foi feita sua validação *à priori*. Essa etapa da validação foi feita por oito pesquisadores e professores da educação básica, integrantes do Laboratório de História da Biologia e Ensino, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Esses pesquisadores responderam dois formulários referentes à SD. O primeiro (Anexo C), foi um formulário elaborado por Guimarães e Giordan (2012) para analisar os elementos estruturantes da SD, no qual foram feitas algumas adaptações devido aos objetivos da presente pesquisa. Por meio desse questionário, tinha-se como objetivo validar os elementos gerais estruturantes da SD relacionados à sua estrutura e organização, à problematização proposta, aos conteúdos trabalhados, às

metodologias de ensino e estratégias didáticas utilizadas e à avaliação da aprendizagem. O outro formulário (Anexo D) foi adaptado de Cardoso e Scarpa (2018) e tinha como objetivo analisar especificamente a presença de elementos do ensino por investigação na SD. Esses professores e pesquisadores também fizeram sugestões pontuais à SD, as quais não eram contempladas pelos formulários, por exemplo, com relação ao uso de algumas palavras e algumas mudanças nas perguntas a serem feitas durante as atividades para os alunos. A partir das sugestões feitas pelos colegas, foram feitas modificações na SD, levando à elaboração da sua 2ª versão.

Essa nova versão da SD foi aplicada em sala de aula, constituindo a fase de experimentação da validação. Existem diversas formas de se analisar a aplicação de SD. No caso deste trabalho, essa fase consistiu na análise do(a):

- a) conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema da sequência didática, o que possibilitou fazer ajustes nos conteúdos trabalhados;
- b) adequação do tempo previsto para a realização de cada atividade e das formas de organização dos alunos e do desenvolvimento das atividades;
- c) motivação dos alunos durante as atividades, evidenciada por comentários durante as aulas, comportamento, participação nas atividades e pelas respostas dos alunos na avaliação final da SD;
- d) adequação das atividades propostas, ou seja, se os alunos demonstravam dificuldade em entender o que estava sendo proposto e quais dificuldades eles demonstravam;
- e) desenvolvimento habilidades de investigação, evidenciado pelas capacidade em resolver as atividades propostas do modo esperado;
- f) aprendizagem de conceitos científicos e de aspectos da natureza da ciência, evidenciado pelas atividades desenvolvidas ao longo das aulas e pela avaliação escrita individual ao final da SD.

A aplicação da segunda versão da sequência didática por realizada por mim em outubro e novembro de 2019 nas três salas de 8º ano¹¹⁰ do Ensino Fundamental

¹¹⁰ Em 2017 foi publicada a primeira versão do Currículo da Cidade. Esse currículo foi elaborado paralelamente à Base Nacional Comum Curricular e tem como objetivo orientar o trabalho nas escolas municipais da cidade de São Paulo. Para o componente curricular de Ciências Naturais, ainda foram elaborados os Cadernos da Cidade, que são cadernos consumíveis distribuídos aos alunos com diferentes sequências didáticas investigativas. O Currículo da Cidade propõe trabalhar a reprodução animal no 7º ano (São Paulo, 2019), diferentemente do que é proposto na BNCC

da EMEF Prof^a Nilce Cruz Figueiredo, onde sou professora de ciências no período da manhã, para iniciar os estudos sobre reprodução humana. Essa escola está localizada no bairro de Lauzane Paulista, Zona Norte de São Paulo.

Cada turma de 8º ano tinha uma média de 28 alunos matriculados, sendo que cerca de metade desses alunos faltavam pelo menos uma vez na semana¹¹¹. A maioria dos alunos tinha 13 ou 14 anos, e cerca de 20% tinha 15 ou 16 anos. Também havia dois alunos com deficiência intelectual, em diferentes salas. Na maioria das aulas, esses alunos estavam acompanhados por estagiárias de pedagogia, que atuam especificamente na Educação Especial.

Os alunos do 8º ano da EMEF Nilce Cruz possuem quatro aulas de ciências por semana, com duração de 45 minutos cada aula. Na escola, todas as salas de aula do Ensino Fundamental II são salas ambiente, ou seja, são os alunos que trocam de sala nas mudanças de aula. A SD foi aplicada em 6 ou 7 aulas (dependendo da turma), ou seja, ela foi trabalhada por cerca de uma semana e meia com os alunos. Após análise dos aspectos a)-f), mencionados acima, foram feitas diversas alterações na SD, resultando em uma 3ª versão, que é a que será descrita no próximo capítulo.

A versão final da SD aqui apresentada difere em alguns aspectos fundamentais da SD aplicada em sala de aula. Por exemplo, algumas atividades que foram feitas com os alunos foram bastante modificadas, visando à melhor compreensão dos conteúdos trabalhados e por isso, não faria sentido abordá-las aqui, a não ser que fosse feita uma análise mais detalhada da aplicação, o que não era o objetivo deste trabalho.

Porém, discuto alguns aspectos relacionados à aplicação da SD nas considerações finais deste trabalho e trago, abaixo, um resultado que acho importante, que é referente à motivação dos alunos durante a sequência. No quadro 6 são relatados os itens mencionados pelos alunos para a questão “Mencione pelo

(Brasil, 2017), nos livros didáticos já utilizados na escola onde a SD foi aplicada e na maioria dos livros didáticos do PNLD (Plano Nacional do Livro Didático) 2020, os quais abordam o tema no 8º ano do Ensino Fundamental. Essas divergências ocorrem com a maioria dos conteúdos a serem trabalhados do 6º ao 9º ano e, por isso, os professores de ciências da EMEF Nilce Cruz, grupo do qual faço parte, optaram por adotar o Currículo da Cidade aos poucos, para que os alunos não deixem de estudar nenhum tema e nem estudem o mesmo tema em dois anos distintos. Por isso, o tema de reprodução animal foi trabalhado, em 2019, com os 8^{os} anos.

¹¹¹ Saber a frequência dos alunos em sequências de aulas investigativas torna-se particularmente importante, já que as atividades de uma aula estão fortemente relacionadas com as atividades das aulas anteriores.

menos 3 coisas que você mais achou interessante na sequência de aulas sobre reprodução”. Essa questão foi respondida individualmente, por escrito, pelos alunos, na avaliação final da SD.

Quadro 6. Aspectos da SD elencados como sendo os mais interessantes pelos alunos.

Itens mencionados	Frequência em que foram mencionados
• os experimentos (Spallanzani e Newport)	19 vezes
• saber como acontece a fecundação	8 vezes
• saber sobre a reprodução das rãs	6 vezes
• saber que depois que um espermatozoide entra forma uma barreira e mais nenhum consegue entrar • vídeo do espermatozoide e óvulo	5 vezes cada
• vídeos da reprodução das rãs • características dos óvulos e espermatozoides (e.g. que o óvulo pode ser visto a olho nú, o que tem nos espermatozoides)	3 vezes cada
• as explicações da professora • saber como acontece a fertilização <i>in vitro</i> • o que são os espermatozoides • de onde vem as características de uma pessoa	2 vezes cada
• os DNAs estão nos óvulos e espermatozoides • como e quando surgiu o microscópio • o planejamento das aulas • saber mais sobre o começo do estudo da ciência • saber o jeito que as pessoas pensavam que era a fecundação • como são formados gêmeos • que existe reprodução sexuada e assexuada • conhecer a palavra "sêmen" • sobre como o animal pode ser reproduzido sem os sapos (no laboratório)	1 vez cada

No quadro 7, abaixo, estão resumidas as etapas de validação da SD.

Quadro 7. Resumo das etapas de validação da SD.

Junho a outubro de 2019	Outubro de 2019	Outubro de 2019	Outubro e Novembro de 2019	Dezembro de 2019
Elaboração da 1ª versão da SD	Validação por pesquisadores e professores da educação básica, integrantes do Laboratório de História da Biologia e Ensino, do Insituto de Biociências da Universidade de São Paulo	Elaboração da 2ª versão da SD	Aplicação da 2ª versão da SD em sala de aula	Elaboração da 3ª versão da SD.

7. O PRODUTO FINAL: A SEQUÊNCIA DIDÁTICA “INVESTIGANDO O PAPEL DOS ESPERMATOZOIDES NA REPRODUÇÃO SEXUADA ANIMAL”

Neste capítulo, é apresentada a sequência didática elaborada juntamente com com instruções para subsidiar o professor na sua aplicação em sala de aula.

A sequência didática proposta, “Investigando o papel dos espermatozoides na reprodução sexuada animal”, é voltada para alunos dos 7^{os} ou 8^{os} anos do ensino fundamental, ou seja, para alunos que tenham, em média, entre 11 e 14 anos. A proposta é que essa sequência seja usada para iniciar os estudos sobre reprodução animal ou reprodução humana.

A sequência didática foi dividida em 10 “momentos”, que podem incluir uma ou mais atividades relacionadas a um certo tema dentro da sequência. Cada momento tem uma duração prevista diferente, podendo ser organizados nas aulas de diferentes formas. Por exemplo, uma aula pode ter um ou mais momentos.

Na descrição de cada momento há dois quadros com alguns elementos referentes à sua organização e, em seguida, a descrição de sua dinâmica, ou seja, sugestões de como ele pode ser conduzido. No primeiro quadro são descritos o que chamei de “aspectos gerais”, que incluem a fase do ciclo de investigação a qual o momento pertence, segundo Pedaste e colaboradores (2015), a duração estimada do momento, os espaços e materiais sugeridos para o desenvolvimento das atividades propostas e as estratégias de ensino a serem utilizadas, as quais incluem estratégias gerais de ensino e estratégias relacionadas diretamente ao uso da história da ciência no ensino. No segundo quadro, são apresentados os objetivos de aprendizagem de conteúdos históricos, científicos, metacientíficos e de habilidades de investigação.

No quadro 8 , a seguir, estão resumidos alguns dos aspectos que serão trabalhados ao longo da SD, bem como os referenciais utilizados.

Antes de iniciar a descrição de cada momento, apresento aqui algumas reflexões e sugestões para a aplicação da sequência didática. As ideias aqui apresentadas podem ser úteis especialmente para professores que não possuem experiência em aplicar atividades investigativas e se baseiam tanto na experiência da pesquisadora ao aplicar esta sequência quanto nas sugestões de Carvalho (2013) e Sasseron (2013).

Quadro 8. Aspectos a serem trabalhados ao longo dos diferentes momentos da sequência didática.

Fases do ciclo de investigação (Pedaste <i>et al</i> , 2015)	Estratégias de ensino relacionadas do uso da história da ciência (McComas, 2013)	Objetivos metacientíficos (Lederman <i>et al</i> , 2002)	Objetivos metacientíficos (Allchin, 2013)
<ul style="list-style-type: none"> • Orientação • Conceitualização • Investigação • Conclusão • Discussão 	<ul style="list-style-type: none"> • Interações com trechos de trabalhos originais • Estudos de caso 	<ul style="list-style-type: none"> • A natureza provisória do conhecimento científico • Papel da criatividade e imaginação • Determinação teórica sobre a investigação empírica 	<ul style="list-style-type: none"> • Normas para manusear dados científicos • Explicações alternativas • Acurácia e precisão • Completude de evidência • Robustez, replicação e tamanho da amostra • Espectro das motivações para fazer ciência; • Modelos e organismos modelo

Por ser uma sequência investigativa, todas as atividades desenvolvidas estão, de alguma forma, relacionadas entre si. Dessa forma, é importante que no início de cada momento, ou cada aula, o professor retome o que foi visto nas aulas ou momentos anteriores, principalmente no caso de ter havido alunos ausentes.

Em diversos momentos é proposto que sejam utilizadas como estratégias didáticas a discussão aberta (discussão do professor com a classe) e aula expositiva e dialogada. Nessas duas estratégias o professor tem um papel fundamental de fazer perguntas aos alunos e, com isso, guiar o desenvolvimento das atividades. Nessas estratégias, a tendência é que alguns alunos participem mais do que outros. Por isso, é importante que o professor observe a postura de todos os alunos, mesmo daqueles que não estão falando, para buscar identificar se estão acompanhando o que está sendo dito – movimentos com a cabeça, expressões faciais e gestos podem ser considerados indícios da atenção, compreensão ou não compreensão por parte dos alunos. Também é importante buscar diversificar a participação dos alunos o máximo possível, por exemplo, fazendo perguntas para alunos específicos, com o cuidado de não constrangê-los, a fim de identificar se estão com dúvidas e buscar envolvê-los na aula, mostrando que a participação deles é importante. Chamar diferentes alunos para participar das discussões também é importante para conhecer a diversidade de conhecimentos e ideias existentes na turma.

O trabalho em pequenos grupos também é sugerido na maior parte das atividades da sequência didática. É recomendado que os grupos tenham entre 3 e 4

alunos e que os grupos se mantenham os mesmos ao longo da sequência, para que possam dar continuidade a sua linha de raciocínio na realização das atividades. Sempre que os alunos estiverem trabalhando em pequenos grupos, é importante que o professor observe a interação dos alunos uns com os outros. Caso sejam observados grupos nos quais há alunos sem interagir ou distraídos, é recomendável professor se direcione primeiramente a esses grupos para dar suporte a esses alunos. No entanto, a circulação por todos os grupos durante as atividades é importante para que o professor tenha contato com as ideias que estão sendo discutidas e possa orientar os alunos, se necessário.

Algumas atividades a serem realizadas em pequenos grupos envolverão respostas por escrito. As perguntas a serem respondidas podem ser entregues para os alunos impressas ou podem ser projetadas. Apesar de os alunos estarem reunidos em grupos para promover a troca de ideias e um melhor aprendizado, é proposto que cada aluno registre suas respostas individualmente. Isso é importante para que todos os alunos se mantenham ocupados, treinem a escrita e tenham registradas suas respostas para posterior consulta. Para facilitar a organização desses registros, é sugerido que o professor entregue para cada aluno a folha na qual eles responderão todas as questões da sequência didática (Apêndice A).

Ao final de cada aula ou momento, conforme o professor ache necessário, ele pode recolher essas folhas para avaliar o desempenho dos alunos de modo mais individualizado. Como muitas perguntas estão relacionadas a habilidades de investigação, como propor experimentos, as respostas dos alunos devem ser avaliadas de acordo com a coerência diante das perguntas feitas. Caso deseje, o professor pode atribuir notas ou conceitos a essas atividades escritas para auxiliar os alunos a compreender se eles estão atingindo os objetivos propostos.

Apesar desses momentos mais pontuais de avaliação do aprendizado, é sugerido que a avaliação dos alunos seja feita em todos os momentos da sequência didática, considerando sua atenção e participação nas atividades. Enquanto estiverem trabalhando em pequenos grupos ou nas situações de discussão aberta, por exemplo, os alunos podem ser avaliados com relação a atitudes, como a colaboração com os colegas, esperar a vez para falar, escutar os colegas e expor seus pontos de vista de forma respeitosa.

É proposto que na última aula da sequência seja feita uma atividade individual avaliativa sem consulta para que o professor possa analisar o aprendizado de cada

aluno e retomar os pontos necessários. Esta atividade é melhor especificada na descrição do momento 10.

Momento 1 – Levantamento de conhecimentos prévios

Quadro 9. Aspectos gerais do Momento 1

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> • Orientação • Conceitualização (questão) 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 a 15 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de aula • Lousa 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão aberta

Quadro 10. Objetivos do Momento 1

Objetivos do professor
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar aos alunos o tema das próximas aulas; • Levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre reprodução animal; • Despertar o interesse dos alunos pelo tema que será estudado; • Gerar nos alunos a necessidade de buscar novos conhecimentos para responder às questões feitas; • Apresentar a pergunta de investigação.

Dinâmica:

Por ser o primeiro momento da sequência didática, é importante iniciá-lo apresentando aos alunos o tema das próximas aulas (reprodução animal ou reprodução humana) e explicar que neste momento, serão feitas perguntas sobre esse tema com o objetivo de levantar os conhecimentos que os alunos já possuem.

É sugerido que o professor comece a discussão com perguntas relacionadas à reprodução humana, já que este tipo de reprodução é mais familiar aos alunos e, aos poucos, faça perguntas sobre aspectos mais gerais da reprodução animal. É importante que as perguntas feitas estejam, de alguma forma, conectadas entre si e que variem de acordo com as respostas dadas pelos alunos. As perguntas devem ser feitas de modo a conduzir o raciocínio dos alunos até o problema ou questão de investigação da sequência didática, que é: **“Qual é o papel dos espermatozoides na reprodução?”**.

No quadro 11, estão listadas algumas das perguntas que o professor pode fazer aos alunos, bem como as respostas esperadas. As perguntas sugeridas tem por objetivo identificar as concepções dos alunos acerca de alguns conteúdos científicos que serão trabalhados ao longo da sequência didática. Já as respostas esperadas incluem tanto as respostas consideradas corretas do ponto de vista do

conhecimento científico atual como também as respostas que apareceram durante a aplicação desta sequência didática em sala de aula e, que, portanto, podem aparecer também em outras aplicações.

Quadro 11. Sugestões de perguntas a serem feitas para os alunos no levantamento de conhecimentos prévios, juntamente com as respostas esperadas. SP – Sugestão de pergunta; RE – Resposta esperada

SP – <i>Como o ser humano se reproduz?</i> RE – O principal modo é por meio de relações sexuais
SP – <i>Somente pelas relações sexuais?</i> RE – Dependendo dos conhecimentos prévios, pode ser que alguns alunos respondam que sim, e aí pode ser feita a próxima pergunta. No entanto, outros alunos podem responder que não, fazendo menção a métodos como inseminação artificial ou fertilização <i>in vitro</i> . Caso mencionem esses outros métodos, o professor pode pedir para que os alunos expliquem o que é e fazer a seguinte pergunta: <i>se nem sempre a relação sexual é necessária, o que precisa acontecer para um novo ser humano ser formado?</i>
SP – <i>Toda relação sexual gera gravidez?</i> RE – Provavelmente os alunos responderão que não.
SP – <i>O que tem que acontecer para uma mulher ficar grávida?</i> RE – As respostas para essa pergunta, assim como para a pergunta “ <i>se nem sempre a relação sexual é necessária, o que precisa acontecer para um novo ser humano ser formado?</i> ” poderão variar bastante. Algumas respostas que podem aparecer são: - o homem deve ejacular durante a relação sexual - a mulher deve estar ovulando - o espermatozoide deve entrar no óvulo No entanto, nesse momento, os alunos podem revelar por meio de suas respostas algumas dúvidas com relação a termos e conceitos. Por exemplo, alguns alunos podem mostrar confusão entre os termos <i>óvulo</i> e <i>ovário</i> , <i>esperma</i> e <i>espermatozoide</i> , e podem dar respostas diferentes das esperadas, como a necessidade dos espermatozoides “grudarem” no útero para gerar uma gravidez. Caso essas respostas apareçam, é importante que o professor faça perguntas adicionais para esclarecer o que é dito pelos alunos, com o objetivo de identificar se os alunos confundem apenas os termos ou também seus significados e se outros alunos compartilham da mesma ideia. Por exemplo, o professor pode perguntar aos alunos se esperma e espermatozoide são a mesma coisa ou quantos óvulos e ovários tem no corpo da mulher e onde eles ficam.
SP – <i>O que são os espermatozoides? (caso seja necessário, podem ser dadas algumas opções para os alunos refletirem: são células, são pequenos animais, são pedaços do corpo do homem?) Como os espermatozoides são?</i> RE – Os espermatozoides são células e talvez alguns alunos saibam disso, porém, outras respostas que também podem aparecer são de que os espermatozoides são os gametas masculinos. Nesse caso, é importante perguntar aos alunos se eles sabem o que são gametas, pois muitas vezes eles reproduzem essa frase por terem lido em livros didáticos ou ouvido durante as aulas nos anos anteriores, mas sem entender seu significado. Outras respostas que também podem aparecer são que os espermatozoides são os traços do pai, a genética do pai, ou que os espermatozoides são pequenos animais, como se fosse um girino. Caso os alunos mencionem os girinos, é importante tentar entender o que eles querem dizer com isso, ou seja, se eles se referem apenas a uma semelhança morfológica ou também funcional (o girino se desenvolve em um sapo e o espermatozoide se desenvolve em um ser humano?) Quanto à segunda pergunta, é esperado que os alunos falem que os espermatozoides são bem pequenos, podendo ser vistos apenas no microscópio, e que possuem uma cauda, que dá movimento a eles. Caso os alunos confundam os termos <i>espermatozoides</i> e <i>esperma</i> , pode ser que eles mencionem que os espermatozoides são brancos.
SP – <i>Qual o tamanho dos espermatozoides? É possível ver eles?</i>

RE – Os espermatozoides são muito pequenos e só é possível vê-los usando microscópio óptico. No caso do ser humano, o tamanho aproximado é de 60 μm . Caso os alunos confundam os termos <i>espermatozoides</i> e <i>esperma</i> , talvez eles mencionem que é possível vê-los a olho nú.
SP – <i>O que são os óvulos?</i> RE – Essa pergunta só deve ser feita se os alunos tiverem mencionado os óvulos anteriormente, ou seja, se eles souberem da existência dessa estrutura. Pode ser que eles confundam os termos <i>óvulo</i> e <i>ovário</i> e façam referência apenas aos ovários. Assim como os espermatozoides, os óvulos são células e talvez alguns alunos saibam disso, porém, outras respostas que também podem aparecer são que os óvulos são os gametas femininos. Como dito anteriormente, nesse caso, é importante verificar se os alunos sabem o que é um gameta. Os alunos também podem falar que os óvulos são os traços da mãe, a genética da mãe.
SP – <i>Qual o tamanho dos óvulos?</i> RE – Os óvulos são maiores do que os espermatozoides e podem ser vistos a olho nú. Porém, o tamanho varia muito entre as espécies. No caso do ser humano, ele mede em torno de 0,1 mm
SP – <i>Além do ser humano, outros animais também têm óvulo, ovário, esperma, espermatozoides? (os termos usados para fazer a pergunta devem variar de acordo com o que foi mencionado pelos alunos até então)</i> RE – Sim, outros animais também têm. Porém, os alunos provavelmente terão dúvidas ao responder essa questão.
SP – Caso os alunos tenham mostrado bastante conhecimento sobre como ocorre a fecundação e tenham mencionado que para formar um novo ser humano o espermatozoide deve entrar dentro do óvulo, o professor pode prosseguir com perguntas mais detalhadas acerca de como ocorre a fecundação, como: <i>o que acontece depois que o espermatozoide entra no óvulo?</i> , ou pode fazer questionamentos mais relacionados à natureza da ciência: <i>como vocês sabem que o espermatozoide entra no óvulo? Vocês já viram isso acontecer?</i> . Se os alunos mencionarem que eles já viram imagens ou vídeos mostrando a fecundação, além de apresentar a questão de investigação posta anteriormente, o professor pode propor questionamentos adicionais, como <i>Ver espermatozoides em contato com um óvulo ou entrando no óvulo é uma comprovação de que os espermatozoides são necessários para a reprodução?</i> , <i>Se hoje não tivéssemos a tecnologia necessária para ver isso ocorrendo no microscópio, como a gente poderia obter evidências da função dos espermatozoides e do óvulo na reprodução?</i>

Nesse momento inicial, o professor não precisa se preocupar em explicar conceitos aos alunos. Sugere-se que as respostas dos alunos sejam sistematizadas pelo professor na lousa durante a discussão, conforme exemplificado na figura 8. A sistematização das respostas dos alunos na lousa serve de apoio tanto para o professor quanto para os alunos se lembrarem das principais ideias discutidas e notarem a diversidade de ideias presentes na sala e as dúvidas existentes.

Para concluir, o professor deve falar para os alunos que nas próximas aulas eles farão investigações para tentar responder a questão **“Qual é o papel dos espermatozoides na reprodução?”** e também esclarecer as dúvidas apresentadas durante este momento.

Figura 8. Foto da anotação das respostas dos alunos na lousa durante o levantamento de conhecimentos prévios em uma das turmas onde a sequência didática foi aplicada.

Momento 2 – Estudos sobre a reprodução animal nos séculos XVII e XVIII

Quadro 12. Aspectos gerais do Momento 2

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> Investigação (exploração) 	<ul style="list-style-type: none"> 25 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> Sala de aula; Lousa; Projeto (opcional); Imagens (impressas ou projetadas); Caderno; Caneta, lápis, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva e dialogada; Exibição de vídeo.

Quadro 13. Objetivos do Momento 2

Históricos	Científicos
<ul style="list-style-type: none"> Conhecer quando o microscópio foi inventado e algumas de suas características; Compreender como o surgimento do microscópio influenciou o conhecimento acerca da reprodução animal; Conhecer quando foram feitas as primeiras observações do sêmen no microscópio, possibilitando a visualização dos espermatozoides; Conhecer as diferentes explicações dadas pelos pesquisadores dos séculos XVII e XVIII para o que seriam os espermatozoides; Conhecer as diferentes explicações dadas pelos ovistas, animalculistas e epigenistas 	<ul style="list-style-type: none"> Compreender que em várias espécies de animais, os machos possuem sêmen e as fêmeas possuem óvulos; Compreender que o sêmen é liberado do órgão reprodutor de alguns animais machos durante a reprodução; Compreender que o sêmen possui uma parte líquida e espermatozoides se movendo; Compreender algumas características dos espermatozoides, como o tamanho, formato e capacidade de movimentação; Compreender que os óvulos são bastantes diversos em tamanho, formato e “dinâmica” (podem ser liberados no ambiente ou não);

para como ocorria a reprodução de alguns animais; • Conhecer quem foi Lazzaro Spallanzani e algumas características suas investigações.	• Refletir sobre critérios de escolha para o uso de animais em experimentos em reprodução animal.
--	---

Tanto os conteúdos históricos quanto os científicos apontados como objetivos de aprendizagem deste momento são importantes para que os alunos possam desenvolver as próximas etapas da investigação. Por isso, este momento foi classificado na subfase de exploração dentro da fase de investigação do ciclo investigativo.

Os conteúdos históricos a serem aprendidos são importantes para que os alunos compreendam o contexto de investigações sobre reprodução animal nos séculos XVII e XVIII e, com isso, entendam as motivações e questionamentos dos pesquisadores da época. Já os conteúdos científicos, refletem os conhecimentos básicos que os investigadores do século XVIII possuíam a respeito da reprodução animal e são importantes para que os alunos entendam os experimentos a serem abordados adiante.

Dinâmica

É importante iniciar este momento explicando aos alunos que, para fazerem a investigação visando responder à questão de investigação e solucionar as dúvidas que apresentaram durante o levantamento de conhecimentos prévios, eles terão que conhecer um pouco a história das investigações sobre reprodução animal.

Devido à complexidade de algumas ideias e conceitos a serem trabalhados com os alunos, este momento foi planejado para ser realizado de modo expositivo e dialogado. Abaixo, segue um texto intitulado *Reprodução animal nos séculos XVII e XVIII*, que contém os conteúdos relevantes de serem trabalhados com os alunos. Este texto foi escrito para servir de apoio ao professor durante suas explicações. Ao longo do texto, são indicados os momentos nos quais algumas perguntas podem ser feitas aos alunos (Q1 a Q7), transformando um momento que seria apenas expositivo em expositivo e dialogado, e também são indicadas as imagens (presentes depois do texto) que podem ser mostradas aos alunos durante a explicação (figuras 9 a 16). Essas imagens podem ser projetadas ou impressas em tamanho grande. No caso das imagens em que há mapas, é preferível que elas sejam substituídas por mapas-múndi ou globos terrestres já presentes na escola.

É importante que, durante a explicação, o professor coloque na lousa as informações centrais do que está sendo explicado, tanto para guiar os alunos visualmente quanto para possibilitar que os alunos registrem essas informações no caderno ao final da aula. Como esse momento foi planejado para ser dialogado, é sugerido que o professor complete as informações da lousa aos poucos, durante a discussão com os alunos. Ao final do texto, há uma foto (figura 17) ilustrando como a lousa pode ser organizada. Caso o professor prefira, ao invés de construir um resumo na lousa, ele pode preparar slides para projetar.

Reprodução animal nos séculos XVII e XVIII (Q1)¹¹²

(1601 a 1800)

O ser humano sempre se interessou em estudar a reprodução dos animais. Desde a Antiguidade, já se sabia que, para alguns animais se reproduzirem, era necessária a presença de um macho e uma fêmea¹¹³ (Q2)¹¹⁴. Hoje chamamos esse tipo de reprodução de “reprodução sexuada”. Também se sabe há muito tempo, que as fêmeas que se reproduzem sexualmente possuem uma estrutura, que a gente normalmente chama de ovo, mas que durante as aulas chamaremos de “óvulo”¹¹⁵. Os óvulos de algumas fêmeas são fáceis de ver, porque eles são liberados no ambiente, como no caso da galinha, da sapa e da tartaruga. Porém, outros óvulos são mais difíceis de ver, porque eles não são liberados no ambiente, como no caso das mulheres, cadelas, vacas, gatas e coelhas. E por isso, demorou alguns anos até que os pesquisadores descobrissem que essas fêmeas também produzem óvulos. É importante perceber que os óvulos são diferentes dependendo da espécie. Por exemplo, o óvulo da galinha tem casca, o da sapa não tem. Alguns óvulos são grandes, outros são bem pequenos. No caso do ser humano, o óvulo mede cerca de 0,1 mm (figura 9).

¹¹² Q1: Em que ano começa o século XVII? Em que ano termina o século XVIII?

¹¹³ A reprodução sexuada ocorre com a união dos gametas masculino e feminino. Ela não necessariamente requer o envolvimento de um macho e uma fêmea (organismos com sexos separados), pois animais hermafroditas também produzem esses gametas e podem se reproduzir sexualmente.

¹¹⁴ Q2: Como é chamado esse tipo de reprodução?

¹¹⁵ É importante explicar para os alunos que mais adiante será explicada a diferença entre os dois conceitos. À princípio pode ser explicado que o ovo é o nome que se dá ao óvulo depois que ele se mistura com o sêmen do macho e começa a formar o novo ser vivo.

Também já se sabe há muitos anos que alguns machos liberam um líquido esbranquiçado durante a relação sexual (Q3)¹¹⁶ que é chamado de esperma ou sêmen (Q4)¹¹⁷. Na reprodução sexuada, esse sêmen deve interagir de alguma¹¹⁸ forma com os óvulos da fêmea para que um novo ser vivo seja formado. Um exemplo bastante conhecido é o das galinhas. As galinhas conseguem botar ovos (óvulos) sem a contribuição do macho, mas esses ovos não formam filhotes. Para que a galinha bote um ovo que possa se desenvolver em um filhote, ela tem que se relacionar com os galos (machos), que liberam sêmen durante a cópula (relação sexual).

(Q5)¹¹⁹ O microscópio foi inventado mais ou menos na década de 1590. Um dos primeiros modelos que foi criado foi o da figura 10, que é bastante diferente dos microscópios utilizados atualmente nas pesquisas. Esse modelo foi utilizado para a observação de vários materiais, como água, sangue e sêmen de várias espécies de animais.

A olho nú, o sêmen é um líquido esbranquiçado que sai do órgão reprodutor de alguns animais machos durante a reprodução. No caso do ser humano, por exemplo, o sêmen sai do pênis. Os primeiros registros que temos de observações do sêmen no microscópio são de dois pesquisadores que viveram na Holanda (figura 11). Um deles é o Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) e o outro é o Nicolas Hartsoeker (1656-1725) (figura 12). Leeuwenhoek relatou suas observações do sêmen em novembro de 1677, enquanto Hartsoeker fez observações muito semelhantes, de modo independente, em março de 1678.

Ao observar o sêmen de vários animais machos no microscópio esses dois pesquisadores viram pequenas partículas se mexendo, o que não é possível de ver a olho nú. Na época, eles não tinham como filmar o que eles estavam vendo, mas provavelmente o que eles viram foi algo semelhante ao que é mostrado no vídeo *Human sperm under the microscope*¹²⁰. Porém,

¹¹⁶ Q3: Como é chamado esse líquido?

¹¹⁷ Q4: O que acontece com esse líquido durante a reprodução?

¹¹⁸ Aqui está sendo usado um termo mais genérico para explicar fecundação porque o conhecimento de como isso ocorre será construído ao longo das aulas.

¹¹⁹ Q5: Quando vocês acham que o microscópio foi inventado?

¹²⁰ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JQ5RvbJWFtQ>>. Acesso em: dez. 2019. Esse vídeo é apenas uma sugestão. Ele foi escolhido porque nele é possível ver os espermatozoides em diferentes aumentos. É recomendado que seja mostrado um vídeo com aumento entre 50 e 300

esses pesquisadores fizeram alguns desenhos do que viram, alguns dos quais estão representados na figura 13.

(Q6)¹²¹ Quando Leeuwenhoek fez essas observações, ele achou que essas partículas se mexendo eram pequenos animais que surgiam de ovos presentes nos testículos dos machos. Por isso, ele deu a essas partículas o nome de “animálculos”. Foi apenas em 1827 que um pesquisador alemão chamado Carl Ernst von Baer mudou o nome dos animálculos para “espermatozoides”, que significa “animais do sêmen”.

Depois dessas primeiras observações, os “animálculos” foram observados no sêmen de vários animais, como artrópodes, moluscos, peixes, anfíbios e mamíferos.

(Q7)¹²² Os pesquisadores sabiam que no sêmen tinham animálculos se movendo. Então, o sêmen que antes era considerado apenas um líquido, passou a ser caracterizado como tendo uma parte líquida e animálculos se movendo. Porém, os pesquisadores não sabiam o que eram esses animálculos. Seriam eles pequenos animais? Seriam parasitas? Será que eles teriam alguma função na reprodução?

Alguns pesquisadores, como Leeuwenhoek e Hartsoeker eram animalculistas, ou seja, eles acreditavam que dentro dos animálculos havia um ser vivo pré-formado. Hartsoeker inclusive fez alguns desenhos ilustrando como seria esse ser pré-formado (figura 14). Para esses pesquisadores, a fêmea só tinha a função de dar os nutrientes necessários para o ser pré-formado crescer e se desenvolver.

Porém, outros pesquisadores defendiam uma ideia contrária a dos animalculistas. Eles acreditavam que dentro do óvulo das fêmeas é que tinha um ser vivo pré-formado e que esse ser só ia crescer e se desenvolver quando o óvulo entrasse em contato com o sêmen do macho. Por isso, esses pesquisadores eram chamados de ovistas. Para esses pesquisadores, os animálculos eram parasitas presentes no sêmen que não tinham nenhuma

vezes, pois esta era a capacidade média de aumento dos microscópios de Leeuwenhoek (Shannon e Ford, 2019)

¹²¹ Q6: Se vocês estivessem observando o sêmen de animais pela primeira vez e vissem essas partículas se movendo, o que vocês iam achar que elas eram?

¹²² Q7: Então, por volta de 1700, os pesquisadores sabiam que o sêmen tinha o que, além de um líquido?

participação na reprodução. Dois exemplos de pesquisadores que defendiam o ovismo são Charles Bonnet (nasceu em 1720 na Suíça) e Lazzaro Spallanzani (nasceu em 1729 na Itália).

Outros pesquisadores, no entanto, não acreditavam na existência de seres pré-formados. Eles acreditavam que um novo ser vivo era formado a partir da mistura do óvulo da fêmea ou de algum líquido que a fêmea produzia com o sêmen dos machos. Por isso, eram chamados de epigenistas. Dois exemplos de pesquisadores que defendiam o epigenismo são Pierre Maupertuis (nasceu em 1698 na França) e Georges Buffon (nasceu em 1707 na França)¹²³.

Esse debate entre animalculistas, ovistas e epigenistas durou mais de 100 anos. E esse debate envolveu pesquisadores de vários países, principalmente da Europa. E por que esse debate durou tanto tempo? Porque muitas descobertas e experimentos estavam sendo feitos e, dependendo dos resultados obtidos, alguns pesquisadores defendiam uma ideia, enquanto outros defendiam outra.

Nas próximas aulas (ou momentos), serão estudados alguns dos experimentos feitos para investigar se os animálculos teriam algum papel na fecundação. E alguns dos experimentos que vamos estudar vão ser os realizados por Lazzaro Spallanzani. Spallanzani (figura 15) era italiano (figura 16). Ele nasceu em 1729 e morreu em 1799. Ele foi um pesquisador muito famoso, que estudou diferentes aspectos do funcionamento do corpo dos animais. Dentre os aspectos estudados estão a geração de microrganismos, a regeneração, a digestão, circulação e reprodução. Ele era conhecido por realizar muitos experimentos. Todos os experimentos que ele fazia, ele repetia várias vezes para ter certeza do resultado. Ele também era muito admirado por outros outros investigadores da época, conforme ilustrado por esse relato:

“O Sr. é considerado o melhor observador da Europa. Todas as suas experiências foram feitas com a maior sagacidade. Quando um homem como o Sr. nos anuncia que ressucitou os mortos, é preciso acreditá-lo... Restam-me poucos dias de vida, Senhor, eu os passarei lhe lendo, lhe estimando e lhe tomando como o primeiro naturalista da Europa. Continue,

¹²³ Os pesquisadores mencionados nos últimos parágrafos como exemplos são apenas sugestões. O único que, obrigatoriamente, deve ser dado como exemplo é Spallanzani.

eu o suplico, Senhor, a honrar com suas bondades e instruções o velho doente de Ferney”¹²⁴

Com relação à reprodução animal, Spallanzani era ovista e acreditava que os animálculos eram pequenos animais, ou parasitas, presentes no sêmen dos machos, porque eles tinham características muito parecidas com alguns organismos microscópios que eles conheciam na época, como o movimento. Spallanzani fez muitos experimentos relacionados à reprodução animal, só que a maioria dos experimentos que ele fez foi usando um animal específico. Qual animal vocês acham que ele usou?

Depois de discutir as questões do texto com os alunos, o professor deve orientar os alunos a pensar em qual animal Spallanzani poderia ter usado em suas investigações. Para auxiliar os alunos a refletir sobre essa questão, algumas perguntas podem ser feitas, como:

- Vocês acham que Spallanzani fez seus experimentos com seres humanos? Por quê?
- Onde vocês acham que ele fez os experimentos dele?
- Como Spallanzani queria fazer experimentos com reprodução, ele ia ter que obter sêmen do macho, obter óvulos da fêmea e fazer alguns testes. É fácil pegar sêmen de macho humano? E pegar óvulos das mulheres?
- Então, quais animais vocês acham que ele poderia utilizar em sua pesquisa?

O animal que Spallanzani usou foi as rãs, que serão estudadas no próximo momento.

¹²⁴ Voltaire a Spallanzani, au Chateau de Ferney, 06 Juin 1766. In: SPALLANZANI, *Edizione...*, volume 11, p.p. 131 apud Prestes (2003).

Figura 9. Em (A), galinha com seus ovos. Em (B), tartaruga eclodindo de ovo. Em (C), sapo carregando ovos. Em (D), sistema reprodutor feminino.

Fonte: Figura (A), Freepik¹²⁵; (B), Gestão educacional¹²⁶; (C), Wikipedia¹²⁷; (D), Adaptado de: Freepik¹²⁸

¹²⁵Disponível em: <https://br.freepik.com/fotos-premium/galinha-com-ovos-estudio-de-tiro_2351378.htm>. Acesso em: 10 jan. 2020.

¹²⁶Disponível em: <<https://www.gestaoeducacional.com.br/animais-oviparos-quais-sao-caracteristicas/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

¹²⁷Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Oviparidade>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

¹²⁸Disponível em: <https://www.freepik.com/free-vector/female-reproductive-system_1024250.htm>. Acesso em: 10 jan. 2020.

Figura 10. Foto de um dos primeiros modelos de microscópios criados. Ele possui uma pequena lente de aumento e uma ponta afiada, onde o material a ser observado era colocado.

Fonte: Wikimedia Commons¹²⁹.

Figura 11. Mapa da Europa, com destaque para a Holanda.

Fonte: Adaptado de: Wikipedia¹³⁰.

¹²⁹ Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/de/Leeuwenhoek_Microscope.png>. Acesso em: 20 jun. 2019.

¹³⁰ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_europa.svg>. Acesso em: 20 jun. 2019.

Figura 12. À esquerda, Anton van Leeuwenhoek. À direita, Nicolas Hartsoeker.

Fonte: Esq: Wikimedia Commons¹³¹. Dir: Lens on Leeuwenhoek¹³²

Figura 13. Desenhos feitos por Leeuwenhoek das partículas que ele viu se mexendo no sêmen de coelho (1-4) e cachorro (5-8).

Fonte: Wikimedia Commons¹³³

¹³¹ Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jan_Verkolje_-_Antonie_van_Leeuwenhoek.jpg> . Acesso em: 20 jun. 2019.

¹³² Disponível em: <<https://lensonleeuwenhoek.net/content/nicolaas-hartsoeker>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

¹³³ Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leeuwenhoek,_Microscopic_observations_Wellcome_L0001349.jpg>. Acesso em: 20 jun. 2019.

Figura 14. Desenho feito por Hartsoeker para ilustrar a presença de um ser pré-formado nos animálculos. Essa representação ficou conhecida como homúnculo.

Fonte: Wikimedia Commons¹³⁴.

Figura 15. Lazzaro Spallanzani.

Fonte: Wikimedia Commons¹³⁵.

¹³⁴ Disponível em:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:N._Hartsoeker,_Essay_de_dioptrique_Wellcome_M0016638.jpg>. Acesso em: 20 jun. 2019.

¹³⁵ Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spallanzani.jpg>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

Figura 16. Mapa da Europa, com destaque para a Itália.

Fonte: Wikipedia¹³⁶.

¹³⁶ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_europa.svg>. Acesso em: 20 jun. 2019.

Figura 17. Exemplos de como a lousa pode ser organizada durante o momento 2 da sequência didática. Os símbolos em verde (Q1, Q2 Q3, Q4, Q5, Q6 e Q7) foram escritos apenas para indicar os momentos em que as perguntas (indicadas no texto *Reprodução animal nos séculos XVII e XVIII*) podem ser feitas aos alunos para auxiliar na construção desse resumo.

*COMO OS ESPERMATOZOÍDES AGEM DURANTE A REPRODUÇÃO?

A REPRODUÇÃO ANIMAL NOS SÉCULOS XVII E XVIII Q1
(1601 A 1800)

• REPRODUÇÃO SEXUADA: MACHO E FÊMEA Q2

Q3
SÊMEN OU ESPERMA
(LÍQUIDO ESBANQUIÇADO
QUE SAI DO ÓRGÃO REPRODUTOR
DURANTE A RELAÇÃO SEXUAL)

Q4
ÔNULO
OU
OVO

• INVENÇÃO DO MICROSCÓPIO: Q5

• ± 1590

• OBSERVAÇÃO DE ÁGUA, SANGUE,
SÊMEN DE VÁRIOS ANIMAIS

1677: HOLANDESES: LEEUWENHOEK
OBSERVARAM Q6 : HARTSOEKER

ANIMÁLCULOS = ESPERMATOZOÍDES
(1827)

• 1700: SABIAM QUE: Q7

SÊMEN = LÍQUIDO E ANIMÁLCULOS

O QUE SÃO? SÃO ANIMAIS?
SÃO PARASITAS? PARTICIPAM
DA REPRODUÇÃO?

<u>ANIMALCULISTAS</u>	<u>OVISTAS</u>	<u>EPIGENISTAS</u>
<ul style="list-style-type: none"> • LEEUWENHOEK , HARTSOEKER • DENTRO DOS ANIMÁLCULOS TEM UM SER PRÉ-FORMADO. • FÊMEA: NUTRE ESSE SER 	<ul style="list-style-type: none"> • LAZZARO SPALLANZANI (1729) • CHARLES BONNET (1720) • DENTRO DOS ÔVULOS TEM SER PRÉ-FORMADO. • SÊMEN: "ATIVA" O DESENVOLVIMENTO • ANIMÁLCULOS SEM PAPEL NA REPRODUÇÃO 	<ul style="list-style-type: none"> • PIERRE MAUPERTUIS (1698) • GEORGES BUFFON (1707) • NÃO HÁ PRÉ-FORMAÇÃO • SER É FORMADO PELA MISTURA DOS LÍQUIDOS DO MACHO E DA FÊMEA.

Momento 3 - O uso de rãs em experimentos sobre reprodução animal

Quadro 14. Aspectos gerais do momento 3

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> Pensando na SD como um todo, este momento se insere na fase de investigação. Porém, a atividade proposta neste momento possui diversas etapas que se inserem em todas as fases do ciclo de investigação. 	<ul style="list-style-type: none"> 35 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> Sala de aula; Imagens presentes ao longo do texto (impressas ou para projetar); Vídeos; Computador/projetor/internet; Lousa; Caderno; Lápis, caneta, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva e dialogada; Exibição de vídeo

Quadro 15. Objetivos do momento 3

Históricos	Científicos	Metacientíficos	Habilidades de investigação
<ul style="list-style-type: none"> Compreender algumas das razões pelas quais provavelmente Spallanzani escolheu fazer experimentos com rãs. 	<ul style="list-style-type: none"> Conhecer as características gerais da reprodução e do ciclo de vida das rãs; Compreender que em alguns animais a fecundação é externa; Compreender o conceito de cópula; Entender que alguns organismos passam por metamorfose; Compreender o que é um embrião e sua relação com a formação de um novo ser vivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de organismos modelo 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar quais características da reprodução e do ciclo de vida das rãs favorecem o uso desse animal em experimentos

Dinâmica:

Nesse momento, os alunos deverão refletir sobre as possíveis razões para Spallanzani ter usado rãs em seus experimentos sobre reprodução animal. Portanto, é aconselhável que o professor escreva a seguinte questão na lousa: “Por que Spallanzani usou rãs em seus experimentos sobre reprodução animal?”, para orientar

os alunos ao longo da atividade. Para que os alunos respondam a essa questão, eles precisam conhecer alguns aspectos gerais da reprodução e do ciclo de vida das rãs.

Abaixo, segue um texto intitulado *Ciclo de vida e reprodução das rãs*, que contém os conteúdos relevantes de serem trabalhados com os alunos. Este texto foi escrito para servir de apoio ao professor durante suas explicações¹³⁷. Ao longo do texto, são indicados os momentos nos quais algumas perguntas podem ser feitas aos alunos (Q1 a Q6), transformando um momento que seria apenas expositivo em expositivo e dialogado. No texto, também estão indicadas imagens e vídeos que podem ser usados como recurso visual em diferentes momentos da explicação, sendo que o professor tem autonomia para utilizar os recursos sugeridos ou outros que achar mais adequados.

Caso o professor deseje, podem ser registrados na lousa os principais conceitos estudados ao longo da aula, como cópula, metamorfose, fecundação externa e embrião para servir de orientação aos alunos durante a aula.

Ciclo de vida e reprodução das rãs

(Q1)¹³⁸ As rãs adultas vivem em ambientes úmidos, principalmente perto de lagos e lagoas. Na época de se reproduzir, o macho e a fêmea da mesma espécie se unem, como mostrado na figura 18 (Q2)¹³⁹. Esse ato é chamado de cópula ou acasalamento, que é a união de um macho com uma fêmea da mesma espécie em um ato que pode levar à formação de descendentes. (Q3)¹⁴⁰ Durante a cópula, a fêmea libera seus óvulos na água e o macho libera o sêmen em cima desses óvulos. Os óvulos da fêmea são produzidos dentro dos ovários. Dos ovários, os óvulos migram para os ovidutos e destes, para os úteros, que armazenam os óvulos por aproximadamente um dia até a cópula, quando migram até a cloaca. A cloaca é o orifício por onde os óvulos serão liberados no ambiente. O macho possui dois testículos, dois vasos eferentes (que estão conectados aos vasos dos

¹³⁷ Para mais informações características gerais de algumas espécies de anfíbios, consultar Instituto Rã-bugio para conservação da biodiversidade. Disponível em: <http://www.ra-bugio.org.br/anfibios_sobre_03.php>. Acesso em: 02 dez. 2019.

¹³⁸ Q1: Onde vivem as rãs adultas?

¹³⁹ Q2: Como é chamado esse ato?

¹⁴⁰ Q3: Nos encontros anteriores, o que a gente viu que a fêmea e o macho produzem na reprodução sexuada?

rins), dois ureteres e uma vesicula seminal, onde o sêmen fica guardado até o momento da cópula, quando ele sai pela cloaca¹⁴¹.

Nas rãs,(Q4)¹⁴², o sêmen dos machos entra em contato com os óvulos da fêmea fora do corpo. Por isso, é dito que nas rãs a fecundação¹⁴³ é externa. (Q5)¹⁴⁴. No vídeo *Frogs Fertilizing Eggs*¹⁴⁵, que tem menos de 2 minutos de duração, é possível ver cópula das rãs. Nesse vídeo é interessante observar a grande quantidade de óvulos que a fêmea libera durante a cópula e que os óvulos da fêmea são liberados no ambiente antes de entrarem em contato com o sêmen do macho.

Depois da fecundação, começam a acontecer algumas mudanças no óvulo, formando o embrião. Com o tempo, esse embrião começa a se desenvolver até o momento do nascimento do “filhote” da rã, que é chamado de girino. (Q6)¹⁴⁶ O girino é muito diferente da rã adulta e, por isso, falamos que o girino é a fase larval da rã. Por exemplo, o girino, quando nasce, respira por brânquias, tem cauda, não tem pernas e vive dentro da água. Conforme vai passando o tempo, o girino começa a sofrer mudanças em seu corpo e comportamento e, por isso, é dito que ele sofre metamorfose. Durante a metamorfose do girino, sua cauda é reabsorvida, as pernas surgem, as brânquias deixam de existir e são formados pulmões. Essas mudanças fazem com que a rã adulta respire ar atmosférico e viva fora da água, tendo também uma alimentação diferente da larva.

Do ovo fecundado até completar a metamorfose demora em torno de 3 meses, e a longevidade das rãs é, em média, de 12 anos¹⁴⁷. O vídeo *From*

¹⁴¹ É preferível que essas explicações sejam dadas com o apoio de um recurso visual. Sugere-se o uso das imagens encontradas no website Carlson Stock Art, disponível em: <<https://www.carlsonstockart.com/>>.

¹⁴² Q4: O contato do sêmen com o óvulo acontece dentro ou fora do corpo da fêmea?

¹⁴³ Ao final da sequência didática, depois de os alunos concluírem qual o papel dos espermatozoides na reprodução e na fecundação, pode ser apresentado aos alunos o conceito atual de fecundação, que envolve a penetração do espermatozoide no óvulo.

¹⁴⁴ Q5: No caso do ser humano, a fecundação é interna ou externa? (essa pergunta é feita para verificar se os alunos compreenderam o conceito)

¹⁴⁵ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=q50Yphp1gzI>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

¹⁴⁶ Q6: O girino é bastante parecido com a rã adulta? Quais são as diferenças?

¹⁴⁷ Esses valores podem variar bastante, principalmente a longevidade, dependendo da espécie e de fatores ambientais. Mais informações podem ser encontradas no site Frogland, nos links <<http://allaboutfrogs.org/weird/general/cycle.html>> e <<http://allaboutfrogs.org/weird/general/longevity.html>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

Egg to Frog in 7 Weeks! é uma sugestão de material a ser usado para ilustrar o desenvolvimento dos ovos em girinos¹⁴⁸.

Figura 18. Ciclo de vida das rãs.

Fonte: Estudo prático¹⁴⁹.

Após a explicação, o professor deve retomar a questão feita anteriormente: “Por que Spallanzani usou rãs em seus experimentos sobre reprodução animal?” E acrescentar a seguinte questão para orientar os alunos: “Quais características da reprodução das rãs tornam elas uma boa escolha para trabalhar?” Pode ser que em algumas turmas os alunos consigam elencar essas características com facilidade, no entanto, em outras turmas talvez seja necessária a intervenção do professor, fazendo perguntas para guiar os alunos. Algumas perguntas que podem ser feitas para orientar os alunos são:

- Para Spallanzani fazer experimentos com rãs, primeiramente ele tem que obter essas rãs de algum lugar. É fácil conseguir rãs? De onde ele poderia conseguir essas rãs?

¹⁴⁸ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wAcwjWi6l9Y&t=40s>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

¹⁴⁹ Adaptado de: <<https://www.estudopratico.com.br/anfibios-reproducao-alimentacao-e-outras-caracteristicas/>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

- Depois de conseguir as rãs, ele tinha que conseguir criar essas rãs e manuseá-las. É possível criar rãs? As rãs são animais fáceis de ser manuseados? Elas são perigosas, violentas?
- Como Spallanzani queria estudar reprodução, ele tinha que acompanhar as rãs desde a formação do ovo até pelo menos o nascimento do girino. Isso demora muito para acontecer?
- É fácil acompanhar o desenvolvimento do ovo das rãs em girinos? É possível ver o que acontece dentro do ovo?
- Se Spallanzani quisesse obter óvulos das fêmeas e sêmen dos machos, seria fácil fazer isso? É fácil conseguir bastante óvulos das fêmeas?

Sugere-se que as respostas dos alunos sejam anotadas na lousa para posterior registro no caderno. Algumas das possíveis razões para Spallanzani ter feito experimento com rãs são:

- Facilidade para obter as rãs, manipulá-las e criá-las;
- Grande quantidade de óvulos produzidos pelas fêmeas;
- Curto ciclo de vida;
- Ovo sem casca, o que possibilita observar o que ocorre dentro dele;
- Fecundação externa, que facilita obtenção de óvulos e sêmen;
- Facilidade em obter óvulos e sêmen.

O último aspecto listado acima, a facilidade em obter óvulos e sêmen, não é possível de concluir apenas com as imagens e vídeos exibidos. Portanto, esse aspecto pode ser mencionado pelo professor e, inclusive, exemplificado. Spallanzani obtinha óvulos não fecundados de fêmeas por meio da abertura do seu corpo e remoção dos óvulos dos ovidutos. Já o sêmen dos machos, era obtido por meio da abertura de suas vesículas seminais ou de seus testículos.

É importante ser mencionado, no entanto, que esses provavelmente não foram os únicos motivos de Spallanzani ter escolhido as rãs para fazer seus experimentos. Um outro aspecto, que será trabalhado mais adiante com os alunos, é que as rãs possuem semelhanças em seu modo de reprodução com outros animais, o que permitiria certa generalização dos resultados obtidos com elas para outros grupos.

Momento 4 – A elaboração dos experimentos de Spallanzani e levantamento de hipóteses

Quadro 16. Aspectos gerais do Momento 4

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> • Conceitualização 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de aula; • Questões impressas ou projetadas; • Folha de respostas; • Lousa; • Caderno; • Lápis, caneta, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva e dialogada; • Discussão aberta; • Discussão em pequenos grupos.

Quadro 17. Objetivos do Momento 4

Científicos	Metacientíficos	Habilidades de investigação
<ul style="list-style-type: none"> • Refletir como sêmen sem espermatozoides pode ser obtido; • Refletir sobre as implicações para a compreensão do fenômeno de fecundação de se conseguir fecundar óvulos sem espermatozoides. 	<ul style="list-style-type: none"> • Papel da criatividade e imaginação 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar experimento; • Levantar hipóteses;

Dinâmica:

É importante iniciar esse momento retomando com os alunos o contexto das investigações sobre reprodução animal nos séculos XVII e XVIII, em especial os questionamentos sobre o possível papel dos animálculos na reprodução. Também é importante retomar os principais assuntos investigados por Spallanzani e contar aos alunos que uma das questões que Spallanzani queria investigar era se os animálculos eram necessários para a fecundação dos óvulos.

Para guiar os alunos ao longo deste momento, é recomendado escrever na lousa a seguinte questão: “Os animálculos são necessários para a fecundação dos óvulos?” e, a partir daí, fazer uma discussão aberta com os alunos sobre como Spallanzani poderia responder essa questão. O objetivo da discussão é auxiliar os alunos a pensar que Spallanzani deveria fazer um experimento utilizando rãs, já que ele normalmente as utilizava em suas investigações. E que, para responder a essa questão, Spallanzani poderia, por exemplo, colocar sêmen sem animálculos em contato com óvulos e observar se eles se desenvolvem em girinos. Se o professor

preferir, ao invés de fazer uma discussão aberta, ele pode pedir, primeiro, para que os alunos discutam essa questão em pequenos grupos, e depois fazer a discussão com a sala toda.

O próximo passo será reunir os alunos em pequenos grupos para discutir e responder por escrito as questões 1 e 2 a seguir. Lembrando, que é sugerido que cada aluno receba uma folha de respostas (Apêndice A) para registrar suas respostas pessoais ao longo de toda a sequência didática. É sugerido que os alunos tenham, em média, 15 minutos para responder essas questões.

Questão 1 – Como Spallanzani poderia obter sêmen sem animálculos? Discuta essa questão com seu grupo e escreva o máximo de ideias que tiverem.

Questão 2 – Suponha que Spallanzani tenha conseguido obter sêmen sem animálculos e misturou esse líquido com óvulos que ele retirou de dentro do corpo das fêmeas usando o método visto anteriormente.

- a) Se esses óvulos se desenvolverem em girinos, isso significa que os animálculos provavelmente são necessários para a reprodução das rãs ou não?
- b) Se os óvulos não se desenvolverem em girinos, isso significa que os animálculos provavelmente são necessários para a reprodução das rãs ou não?

As respostas dos alunos para a questão 1 dependerão da imaginação de cada um deles e todas as respostas que estejam relacionadas com a pergunta devem ser consideradas adequadas. É importante que os alunos percebam que raramente é possível obter sêmen sem animálculos diretamente das rãs e que também não é possível retirar os animálculos um a um do sêmen.

Com relação à segunda questão, ela tem como objetivo auxiliar os alunos a levantar hipóteses sobre os possíveis resultados do experimento. Para a questão 2 (a), é esperado que os alunos mencionem que provavelmente os animálculos não são necessários, e para a questão 2 (b), é esperado que eles respondam que os animálculos provavelmente são necessários. O uso da palavra “provavelmente” aqui é importante, pois refere-se a uma inferência que está sendo feita a partir de um experimento.

Depois de os alunos discutirem essas questões em pequenos grupos, deve ser feita uma discussão com a sala toda, buscando levantar a diversidade de respostas presentes entre os grupos, bem como auxiliar os alunos na compreensão

da segunda questão, caso seja necessário. É sugerido discutir com os alunos nesse momento a questão da imaginação e criatividade na ciência, mais especificamente, aqui, na elaboração de experimentos.

Momento 5 - Análise dos experimentos de Spallanzani

Quadro 18. Aspectos gerais do Momento 5

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> Investigação 	<ul style="list-style-type: none"> 40 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> Sala de aula; Questões impressas ou projetadas Folha de respostas; Lousa; Caderno; Lápis, caneta, borracha. Material para a demonstração dos procedimentos dos experimentos de filtração: <ul style="list-style-type: none"> 2 potes com um pouco de água e sagu cozido sem sabor 1 pote com líquido branco/transparente para simular o sêmen. Sugestão: leite vegetal 1 pote vazio Papeis-filtro (pelo menos 7) Coador para servir de suporte aos papeis-filtro 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva e dialogada; Discussão aberta Discussão em pequenos grupos

Quadro 19. Objetivos do Momento 5

Históricos	Científicos	Metacientíficos	Habilidades de investigação
<ul style="list-style-type: none"> Conhecer alguns dos experimentos de Spallanzani para investigar se os animálculos tinham alguma participação na fecundação dos óvulos 	<ul style="list-style-type: none"> Conhecer diferentes formas de se obter sêmen sem espermatozoides Compreender como pode ser feita a fertilização artificial de óvulos de rãs 	<ul style="list-style-type: none"> Completeness de evidência 	<ul style="list-style-type: none"> Interpretar resultados de experimentos; Comparar resultados de experimentos; Elaborar uma conclusão a partir da análise de diferentes experimentos

Dinâmica:

Após retomar o que foi feito no Momento anterior, o professor deve explicar para os alunos que Spallanzani *disse* que conseguiu obter sêmen sem animálculos em três situações diferentes durante suas investigações, e que também obteve sêmen com animálculos “mortos” em uma situação. Nessa parte é importante falar que foi Spallanzani que relatou que os sêmens obtidos estavam sem animálculos ou que os animálculos estavam mortos, pois não é possível confirmarmos essa informação hoje.

Os alunos devem se reunir em pequenos grupos e o professor deve entregar para os alunos uma folha com a descrição dos experimentos realizados e a pergunta (questão 3) a ser respondida na aula, conforme ilustrado abaixo.

Durante seus estudos com rãs, Spallanzani obteve sêmen sem animálculos ou com animálculos mortos em 4 situações diferentes. Analise esses experimentos e responda a questão 3, ao final.

1 - Em duas situações, quando Spallanzani obteve o sêmen de rãs macho e analisou esse sêmen no microscópio, ele observou que não havia animálculos. Quando ele colocou esse sêmen em contato com óvulos das fêmeas, eles se desenvolveram em girinos.

2- Em uma outra situação, Spallanzani misturou vinagre com sêmen e observou que isso matou os animálculos. Quando ele colocou esse sêmen com animálculos mortos em contato com óvulos, os óvulos se desenvolveram em girinos.

3- Spallanzani colocou uma gota de sêmen em uma lâmina e o observou no microscópio. Conforme o sêmen foi evaporando, os animálculos migraram para a região central da gota e, com a ponta de uma agulha, ele pegou gotas do líquido sem animálculos e colocou em contato com os óvulos das rãs. Esses óvulos se desenvolveram em girinos.

4 – Depois de ter obtido os resultados acima, Spallanzani decidiu fazer um experimento para confirmar suas conclusões. Ele obteve sêmen da vesícula seminal de machos e óvulos do oviduto das fêmeas. Ele misturou o sêmen com um pouco de água e o passou por diversos papeis-filtro sobrepostos. Ele percebeu que, quanto mais papeis-filtro eram utilizados, menor era a capacidade do sêmen filtrado de fecundar os óvulos. Por exemplo, quando sêmen filtrado por apenas 1 papel-filtro foi colocado em contato com óvulos, esses óvulos se desenvolveram em girinos, mas quando sêmen filtrado com 7 filtros foi colocado em contato com ovos, nenhum ovo se desenvolveu em girino. Spallanzani também observou que, ao colocar o papel-filtro contendo o resíduo de sêmen em contato com óvulos, estes óvulos se desenvolviam em girinos.

Questão 3 – Com base nesses experimentos, você diria que os animálculos são

necessários para a fecundação dos óvulos, ou seja, para a formação de girinos? Justifique sua resposta com base na descrição dos experimentos acima e com base nos resultados obtidos.

É recomendado que o professor faça uma leitura junto com os alunos e que demonstre para eles o que foi feito no experimento de filtração, já que experimento semelhante será retomado nas aulas seguintes. Devido à impossibilidade prática e legal (o Artigo 1º da Lei no 11.794/2008 veta a utilização de animais vertebrados em atividades no ensino básico) de replicar em sala de aula experimentos utilizando animais vertebrados, é proposto que seja feita uma simulação dos procedimentos adotados pelos pesquisadores utilizando materiais que remetam fisicamente aos materiais originalmente utilizados. O objetivo, ao fazer essa demonstração, é tornar mais real para os alunos os materiais e procedimentos envolvidos, por exemplo, misturar óvulos com o sêmen. No apêndice B, há fotos ilustrando os materiais que podem ser usados e também um resumo dos procedimentos a ser adotados. Esse material, além de ser usado para replicar o experimento de filtração de Spallanzani, pode ser usado nos Momentos seguintes para replicar os experimentos de Newport e Prévost e Dumas. Outra utilização desses materiais pode ser também para ilustrar os procedimentos adotados nos outros experimentos abordados nessa aula, caso o professor deseje (como pegar o sêmen com uma agulha e passar nos óvulos).

Depois de demonstrar o(s) experimento(s) para os alunos, o professor deve deixá-los discutir a questão 3 nos pequenos grupos. Os alunos devem ter em torno de 15 minutos para responder a questão. Nessa atividade em particular é importante que o professor circule pelos grupos e verifique as respostas dadas pelos alunos. Essa atividade é uma boa oportunidade para se trabalhar com os alunos a elaboração de conclusões baseadas em informações (neste caso, resultados de experimentos), e não apenas em opiniões. É esperado que os alunos identifiquem uma contradição nos resultados dos experimentos 1 a 3, que indicam que os espermatozoides não são necessários para a reprodução, e nos resultados do experimento 4, que indicam que os espermatozoides são importantes para a fecundação (pelo menos para nós, que assumimos que os espermatozoides têm algum papel na reprodução).

Depois de transcorrido o tempo delimitado para os alunos responderem as questões em grupo, deve ser feita uma discussão aberta, para os alunos compartilharem suas conclusões com a classe. Nessa etapa, o professor pode anotar

na lousa as diferentes respostas dadas pelos alunos, como um modo de organizar a discussão. As respostas compartilhadas pelos alunos serão utilizadas no Momento seguinte.

Momento 6 – Análise das conclusões de Spallanzani

Quadro 20. Aspectos gerais do Momento 6

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> Investigação 	<ul style="list-style-type: none"> 20 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> Sala de aula; Questões impressas ou projetadas Folha de respostas; Lousa; Caderno; Lápis, caneta, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva e dialogada; Discussão aberta; Interações com trechos de trabalhos originais Discussão em pequenos grupos

Quadro 21. Objetivos do Momento 6

Históricos	Metacientíficos	Habilidades de investigação
<ul style="list-style-type: none"> Conhecer a conclusão de Spallanzani com relação ao papel dos animálculos na reprodução 	<ul style="list-style-type: none"> Determinação teórica sobre a investigação empírica; Explicações alternativas 	<ul style="list-style-type: none"> Comparar diferentes conclusões para um mesmo experimento; Analisar fatores que possam influenciar nas diferentes interpretações de um experimento

Dinâmica:

Caso os alunos não tenham ficado com cópias das descrições dos experimentos e da questão do Momento anterior, o professor deve entregar essas cópias para os alunos para que eles possam relembrar com mais facilidade dos experimentos analisados.

Após retomar as análises dos alunos da aula anterior, o professor deve explicar aos alunos que agora, eles vão conhecer qual foi a conclusão de Spallanzani depois de realizar os experimentos estudados. O professor pode iniciar a discussão com a sala retomando as ideias defendidas por Spallanzani – ele era ovista e achava que os espermatozoides eram parasitas do sêmen que não tinham papel nenhum na reprodução. A partir dessas informações, o professor pode perguntar aos alunos se eles acham que Spallanzani continuou defendendo essas ideias depois de realizar os experimentos descritos.

Em seguida, o professor deve entregar aos alunos, ou projetar, a conclusão de Spallanzani, que aqui foi adaptada para facilitar a compreensão dos alunos: “isso

prova que a filtração remove da água espermática [sêmen] seu poder fertilizante na medida em que o líquido seminal que ficou preso nos papeis-filtro foi capaz de estimular o desenvolvimento dos óvulos”.

Provavelmente a explicação de Spallanzani não é semelhante a de nenhum grupo de alunos, porque, em sua explicação, Spallanzani usa ideias que fazem parte de seu conhecimento prévio e de suas crenças a respeito da reprodução (que eram compartilhadas também por outros pesquisadores da época), às quais os alunos não estão familiarizados. Da mesma forma, as explicações dadas pelos alunos podem ter sido influenciadas pelo conhecimento prévio deles a respeito da necessidade de espermatozoides para a reprodução.

Para os alunos, talvez os resultados dos experimentos 1, 2 e 3 sejam vistos como contraditórios aos resultados do experimento 4. Porém, Spallanzani não interpretou tais resultados como sendo contraditórios, pois ele assumiu a existência de um poder fecundante presente no sêmen, que ficaria retido nos filtros junto com os animálculos. Esse poder fecundante no sêmen foi assumido por Spallanzani devido à sua crença, que também era a crença de uma grande quantidade de pesquisadores de sua época de que os animálculos eram parasitas do sêmen e que, portanto, não teriam papel na reprodução. Então, esse é um momento no qual pode ser discutido com os alunos um aspecto específico de natureza da ciência, que é a influência das teorias nas investigações empíricas.

O professor deve fazer algumas perguntas aos alunos para que eles reflitam sobre esses aspectos da conclusão do Spallanzani e possam depois, responder em grupos, as últimas questões da aula. Aqui é sugerido que essas discussões sejam feitas com a sala toda por meio da mediação do professor, porque, na aplicação em sala de aula da segunda versão desta sequência didática, os alunos não conseguiram refletir sobre esses aspectos sozinhos. Mas caso o professor deseje, essas questões podem ser entregues aos alunos para que eles as discutam em pequenos grupos.

Abaixo seguem sugestões de perguntas a serem feitas com algumas possíveis respostas em parênteses

- De acordo com Spallanzani, os espermatozoides são necessários para a reprodução, ou seja, para que sejam formados girinos? (Não)
- Algum grupo aqui da sala chegou a uma conclusão igual ou parecida com a do Spallanzani?

- Que palavras ou ideias chamam a atenção de vocês na conclusão de Spallanzani? (filtros retêm também a parte líquida do sêmen)
- Por que vocês acham que a conclusão do Spallanzani foi tão diferente da de vocês se está todo mundo analisando os mesmos resultados? (por que Spallanzani interpretou o resultado dos experimentos com base no que ele acreditava do ovismo e também em sua crença de que os animálculos eram parasitas do sêmen sem papel para a reprodução, enquanto os alunos interpretaram os resultados dos experimentos ou com base nos conhecimentos prévios deles da necessidade dos espermatozoides para que ocorra a fecundação dos óvulos)

Para finalizar a aula, o professor deve entregar aos alunos a questão 4 para ser respondida individualmente.

Questão 4 - Usando como exemplo a atividade da aula de hoje, reflita: os resultados de um experimento são sempre interpretados da mesma forma por qualquer pessoa? Quais são os fatores que podem influenciar na interpretação de experimentos e no estabelecimento de conclusões a partir deles?

Momento 7 – Reprodução animal no século XIX

Quadro 22. Aspectos gerais do Momento 7

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> Investigação 	<ul style="list-style-type: none"> 15 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> Sala de aula; Lousa; Projeto (opcional); Caderno; Caneta, lápis, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva e dialogada.

Quadro 23. Objetivos do Momento 7

Históricos	Científicos	Metacientíficos
<ul style="list-style-type: none"> Compreender que mudanças em diferentes áreas do conhecimento impactaram as pesquisas sobre reprodução animal no século XIX; Compreender o impacto das mudanças nos microscópios e do desenvolvimento da teoria 	<ul style="list-style-type: none"> Compreender que os óvulos e espermatozoides são células 	<ul style="list-style-type: none"> Tentatividade

celular nas pesquisas sobre reprodução animal; • Conhecer George Newport.		
--	--	--

Descrição da atividade:

Concluídos os estudos sobre Spallanzani, esse Momento é dedicado para apresentar aos alunos algumas mudanças que ocorreram ao longo do século XIX e que impactaram as pesquisas sobre reprodução animal e também apresentar aos alunos quem foi George Newport. Da mesma forma que no Momento 2, apresento abaixo um texto intitulado “Reprodução animal no século XIX”, que contém o conteúdo relevante de ser trabalhado com os alunos. Novamente, este texto foi escrito para servir de apoio ao professor durante suas explicações. Ao longo do texto, são indicados os momentos nos quais algumas perguntas podem ser feitas aos alunos (Q1 a Q3), transformando um momento que seria apenas expositivo em expositivo e dialogado. Aqui não são apresentadas imagens, pois não foram encontradas fotos de George Newport.

É importante que, durante a explicação, o professor coloque na lousa as informações centrais do que está sendo explicado, conforme ilustrado na figura 19. Caso o professor prefira, ao invés de construir um resumo na lousa, ele pode preparar slides para projetar, seguindo a mesma ideia de que esse é um momento dialogado com os alunos.

Título: Reprodução animal no século XIX (Q1)¹⁵⁰
(1801-1900)

Spallanzani trouxe importantes contribuições às investigações sobre reprodução animal. Alguns de seus experimentos, que foram estudados nos Momentos anteriores, foram interpretados à favor do ovismo e contra o papel dos espermatozoides na reprodução, duas ideias difundidas em alguns países da Europa no século XVIII. Depois que Spallanzani fez seus experimentos, várias mudanças aconteceram nas investigações sobre a reprodução animal, principalmente durante o século XIX. Na década de 1820, novos tipos de lentes para microscópios foram criadas. Essas lentes diminuía as aberrações de cores que existiam nos microscópios anteriores, possibilitando melhor observação dos

¹⁵⁰ Q1: O século XIX se refere a quais anos?

materiais. Cada vez mais os pesquisadores estavam usando os microscópios em suas pesquisas, inclusive para observar os óvulos e os espermatozoides. Conforme já foi visto, no século XVIII, muitos pesquisadores achavam que os espermatozoides eram pequenos animais ou parasitas. Mas, no século XIX, com mais investigações, alguns pesquisadores começaram a acreditar que eles eram produzidos nos testículos. Na mesma época em que estavam havendo investigações sobre reprodução animal, também estavam ocorrendo muitas investigações sobre as células. Entre 1838 e 1842, dois pesquisadores chamados Matthias Schleiden (1804-1881) e Theodor Schwann (1810-1882) propuseram a Teoria Celular (Q2)¹⁵¹, que dizia que todos os tecidos, em plantas ou animais, se originam apenas de células. A partir da proposta dessa Teoria, os pesquisadores que investigavam a reprodução animal passaram a considerar que os óvulos das fêmeas e os espermatozoides dos machos eram células. Albert von Kölliker (1817-1905), em 1841, ao estudar as características dos testículos, observou que algumas de suas células eram convertidas em espermatozoides, um indício de que os espermatozoides seriam células móveis. Dessa forma, os espermatozoides e os óvulos passaram a ser considerados células: os espermatozoides são formados a partir de células existentes nos testículos e os óvulos são formados a partir de células dos ovários (Q3)¹⁵².

Conforme novas pesquisas sobre reprodução iam sendo feitas, novas evidências faziam com que cada vez menos pesquisadores acreditassem na pré-formação de seres vivos e mais pesquisadores passassem a acreditar que é a partir da mistura do óvulo da fêmea com o sêmen do macho que novos seres vivos são formados. e na necessidade dos espermatozoides para a reprodução.

Porém, alguns pesquisadores ainda não estavam convencidos da necessidade dos espermatozoides para a fecundação dos óvulos e nem tinham certeza do modo de ação deles. Ao mesmo tempo, alguns pesquisadores, como Martin Barry (1802-1855), começaram a afirmar que estavam vendo espermatozoides dentro dos óvulos e até mesmo um orifício nos óvulos por onde os espermatozoides entram.

Havia um pesquisador inglês, chamado George Newport (1803-1854) que também se dedicou a investigar se os espermatozoides são os responsáveis pela

¹⁵¹ Q2: Vocês sabem o que é a Teoria Celular?

¹⁵² Q3: Se os espermatozoides e os óvulos são células, o que tem dentro deles? – com essa pergunta, é esperado que os alunos retomem os conhecimentos que provavelmente já possuem sobre as células e relacionem a estrutura interna delas com a dos espermatozoides e óvulos. Nesse momento, é esperado que os alunos mencionem a presença de núcleo (e talvez DNA) e algumas organelas.

fecundação dos óvulos das fêmeas, ou seja, que sem os espermatozoides não é possível haver reprodução. Newport tinha bastante conhecimento sobre as investigações que tinham feitas até então e disse que:

Embora grande atenção tenha sido dada pelos fisiologistas durante os últimos 30 anos a quase todos os pontos de questionamento conectados com a produção e composição física do fluido seminal dos animais, e sua relação com a fecundação do óvulo, permanecemos até o presente momento sem nenhuma prova reconhecida, nem da participação que os diferentes constituintes desse fluido têm na fecundação, nem do modo pelo qual ele realiza a fecundação (adaptado de Newport, 1851, p. 169)

Figura 19. Exemplo de como a lousa pode ser organizada durante o Momento 7 da sequência didática. Os símbolos em verde (Q1, Q2 e Q3) foram escritos apenas para indicar os momentos em que as perguntas (indicadas no texto *Reprodução animal no século XIX*) podem ser feitas aos alunos para auxiliar na construção desse resumo. Esses símbolos não precisam ser escritos na lousa durante a aula com os alunos.

Momento 8 – Experimento de filtração do sêmen realizado por George Newport

Quadro 24. Aspectos gerais do Momento 8.

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
• Investigação	• 20 minutos	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de aula; • Questões impressas ou projetadas • Folha de respostas; • Lousa; • Caderno; 	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva e dialogada; • Discussão aberta; • Interações com trechos de trabalhos originais

		<ul style="list-style-type: none"> • Lápis, caneta, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão em pequenos grupos
--	--	--	--

Quadro 25. Objetivos do Momento 8.

Históricos	Metacientíficos	Habilidades de investigação
<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer os experimentos de Newport 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação teórica sobre a investigação empírica; • Explicações alternativas 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar diferentes conclusões para um mesmo experimento; • Analisar fatores que possam influenciar nas diferentes interpretações de um experimento

Dinâmica:

Nesse Momento, o professor deve apresentar aos alunos os experimentos de filtração do sêmen realizados por Newport. É importante mencionar que ele não conhecia os experimentos de filtração realizados por Spallanzani, apesar de conhecer muitas outras investigações realizadas por ele. É interessante que o professor leia ou projete para os alunos lerem, qual era o objetivo de Newport ao realizar seus experimentos de filtração:

me empenhar em fornecer provas a partir de experimentos reais de que os espermatozoides sozinhos, em todos os casos de comunhão dos sexos, são os únicos agentes da fecundação do óvulo; e além disso, que a fecundação não pode ser realizada pelo líquido seminal (adaptado de: Newport, 1851, p. 172).

Caso o professor deseje, ele pode replicar os experimentos de Newport, assim como fez com os experimentos de Spallanzani. Porém, como Newport traz mais detalhes sobre seu experimento, como a quantidade de óvulos utilizados e também descrições sobre os espermatozoides observados também é importante entregar para os alunos o esquema presente na figura 20, que resume os experimentos realizados por Newport. O professor pode deixar os alunos tentarem interpretar o que foi feito sozinhos ou pode ir explicando para os alunos: George coletou o sêmen de uma rã macho, misturou o sêmen com água para facilitar a filtração e passou esse sêmen por um filtro. Ao analisar no microscópio o que ficou retido nesse filtro, ele observou vários espermatozoides em movimento. Então, ele pegou esse filtro e colocou em contato com vários óvulos que estavam na água. Dias depois, quase todos os óvulos deram origem a girinos com as características usuais. Depois, Newport pegou o líquido que tinha atravessado o primeiro filtro e fez esse líquido

passar por mais dois filtros. Depois, ele pegou o que ficou retido nesse segundo filtro e analisou no microscópio, observando alguns espermatozoides sem movimento. Ele, então, colocou esse filtro em contato com vários óvulos que estavam na água e dias depois, apenas 4 desses óvulos deram origem a girinos. Por fim, George pegou o líquido que tinha passado por esses 3 filtros e passou de novo por um quarto filtro. Esse líquido filtrado quatro vezes foi analisado no microscópio e não foi encontrado nenhum espermatozoide nele. Esse líquido foi colocado em contato com vários óvulos e nenhum deles foi fecundado.

Em seguida, o professor deve pedir para os alunos se reunirem nos mesmos grupos das aulas anteriores e deve entregar para eles as questões a serem respondidas (questões 5 a 7). Os alunos devem ter por volta de 20 minutos para responder as questões.

Na questão 5, é esperado que os alunos respondam que os experimentos indicam que os espermatozoides são necessários para a fecundação porque os óvulos do experimento só se desenvolveram em girinos quando eles foram colocados em contato com sêmen que tinha espermatozoides em movimento.

Na questão 6, os principais aspectos a serem percebidos são que o Newport detalha a quantidade de óvulos utilizados e a quantidade de embriões e girinos formados, enquanto isso não é apresentado por Spallanzani. Outra diferença é a quantidade de filtros utilizados. Porém, uma semelhança fundamental, que deve ser notada, é que, em ambos os experimentos, quanto mais o sêmen é filtrado, menor é a sua capacidade de fecundação de óvulos.

Depois de os alunos responderem a essas questões em grupo, é sugerido que o professor as discuta com a sala toda antes de entregar aos alunos a questão 7. Essa questão foi elaborada para que os alunos reflitam sobre o significado da palavra “prova” e nas implicações delas para as investigações científicas. É importante que eles reconheçam que nenhum dos pesquisadores provou nenhuma teoria. Essa última questão deve ser discutida com os alunos depois de eles a responderem. Deve ser discutido o cuidado no uso da palavra prova nas investigações científicas. Na época desses pesquisadores isso era comum, mas hoje é mais adequado falarmos em evidências. O professor pode pedir para os alunos explicarem a diferença entre prova e evidência. Para facilitar a compreensão dos alunos sobre a diferença entre esses termos, exemplos de outras áreas, mais relacionadas ao cotidiano deles,

podem ser fornecidos, como a análise de cenas de crime que aparecem nos filmes e séries.

Figura 20. Esquema ilustrando um dos experimentos de filtração do sêmen realizados por George Newport.

Questão 5 – Analise o experimento de Newport e responda: Com base nesses experimentos, você diria que os animálculos são necessários para a fecundação dos óvulos, ou seja, para a formação de girinos? Justifique sua resposta com base na descrição dos experimentos acima e com base nos resultados obtidos.

Questão 6 – Compare o experimento de Newport com o de Spallanzani. O que eles tem em comum? O que eles tem de diferente?

Questão 7 – A conclusão a que Spallanzani chegou quando ele fez seus experimentos foi: “isso prova que a filtração remove da água espermática [sêmen] seu poder fertilizante na medida em que o líquido seminal que ficou preso nos papeis-filtro foi capaz de estimular o desenvolvimento dos óvulos”.

A conclusão a que Newport chegou depois de fazer seu experimento foi:

“Os experimentos confirmaram da maneira mais completa, e provaram, satisfatoriamente, que os espermatozoides sozinhos são as partes do sêmen que realizam a impregnação do ovo. Tendo repetido a filtração em cinco conjuntos separados de experimentos, em diferentes ocasiões e com exatamente os mesmos resultados gerais, eu não posso mais cogitar qualquer dúvida sobre a ação direta dos espermatozoides” (Adaptado de: Newport, 1851, p. 210).

Tanto Spallanzani quanto Newport dizem que com seus experimentos eles “provaram” alguma coisa. Você acha que algum deles “provou” qual é o papel dos espermatozoides na reprodução? Por quê?

Momento 9 – George Newport e suas relações com outras pesquisas realizadas na época

Quadro 26. Aspectos gerais do Momento 8.

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> Investigação 	<ul style="list-style-type: none"> 45 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> Sala de aula; Questões impressas ou projetadas Folha de respostas; Lousa; Caderno; Lápis, caneta, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva e dialogada; Discussão aberta; Interações com trechos de trabalhos originais Discussão em pequenos grupos

Quadro 27. Objetivos do Momento 8.

Históricos	Científicos	Metacientíficos
<ul style="list-style-type: none"> • Conhecer as pesquisas de Prévost e Dumas; • Conhecer a conclusão final a que Newport chegou sobre a atuação dos espermatozoides 	<ul style="list-style-type: none"> • Compreensão do conceito de fecundação 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação teórica sobre a investigação empírica; • Explicações alternativas; • Normas para manusear dados científicos; • Explicações alternativas; • Acurácia e precisão • Completude de evidência; • Robustez, replicação e tamanho da amostra; • Espectro das motivações para fazer ciência; • Organismos modelo

Em seguida, o professor deve dizer aos alunos que, depois de ter feito esse experimento, George escreveu um artigo para divulgar aos outros pesquisadores o que ele encontrou. Em seu artigo, George diz que, logo depois que ele terminou de fazer esses experimentos, ele leu um artigo de dois pesquisadores franceses chamados Prévost e Dumas. E nesse artigo, esses pesquisadores relatam terem feito um experimento que era muito parecido ao de Newport. O professor pode entregar a descrição do experimento para os alunos e ler junto com eles o que Prévost e Dumas fizeram e as conclusões a que chegaram. A descrição do experimento é a seguinte: *Prévost e Dumas fizeram o experimento de filtração duas vezes. Eles pegaram sêmen de uma rã macho e passaram esse sêmen por cinco filtros encaixados uns nos outros. As primeiras porções de sêmen que passaram pelo filtro foram filtradas novamente. Depois de uma hora, foram obtidos 10g de líquido filtrado, que foi depositado em um vaso limpo. Esse filtrado foi analisado em busca de animálculos, mas nenhum foi encontrado. Em seguida, esse filtrado foi colocado em contato com 15 ovos, os quais “estragaram” ao final de alguns dias. O líquido que sobrou no filtro foi despejado sobre uma massa com centenas de outros ovos, os quais foram fecundados* (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016).

Para Prévost e Dumas, por meio desses experimentos eles constataram “de maneira bem satisfatória, a necessidade dos animálculos no que se refere às fecundações artificiais” (Prévost e Dumas, 1824 *apud* Janczur, 2016, p. 13),

Depois de ler essa descrição com os alunos, e se quiser, novamente replicar fisicamente o experimento, o professor deve discutir com os alunos as semelhanças entre esse experimento e o que Newport realizou, chegando à conclusão de que o

experimento de Newport e os resultados que ele encontrou não eram inovadores. Então, o professor deve perguntar aos alunos:

- Como vocês acham que Newport se sentiu quando ele descobriu que outros pesquisadores já tinham feito o mesmo experimento que ele anos antes e obtido resultados muito parecidos?

Provavelmente os alunos vão falar que George deve ter ficado muito bravo e decepcionado, então, o professor deve pedir para os alunos se reunirem em grupos para responder a algumas questões sobre isso (questão 8 a 11) Deve ser dado aos alunos por volta de 15 minutos para responder essas questões e depois, ser feita uma discussão com eles. Essas questões tratam de importantes aspectos de natureza da ciência, conforme citados no quadro 27. É importante que o professor, na discussão com a sala, ajude os alunos a compreender a importância de haver diferentes pesquisadores obtendo resultados semelhantes para dar mais “força” a suas pesquisas. Também devem ser discutidos com os alunos os modos pelos quais os pesquisadores divulgavam seus trabalhos no passado e atualmente.

Questão 8 – Como você acha que Newport se sentiu quando ele descobriu que outros pesquisadores já tinham feito o mesmo experimento que ele e obtido resultados muito semelhantes?

Questão 9 - Sabendo que outros pesquisadores já tinham feito o mesmo experimento que Newport, você acha que o experimento dele foi inútil?

Questão 10: Pensando na enorme quantidade de pesquisadores que existem no mundo vivendo em diferentes lugares, responda:

Você acha que é comum ter dois ou mais pesquisadores fazendo a mesma pesquisa ao mesmo tempo sem saber? O que é importante que os pesquisadores façam para evitar esse tipo de situação?

Questão 11 – Quando Newport fala em seu artigo que Prévost e Dumas já tinham feito o mesmo experimento que ele anos antes, ele não diz que ficou decepcionado e nem bravo e nem que seu experimento foi inútil. George diz que o fato de Prévost e Dumas terem encontrado os mesmos resultados que ele de forma independente reforça as conclusões de sua pesquisa. Ou seja, ajudam a fortalecer a ideia de que os espermatozoides são, de fato, responsáveis pela fecundação dos óvulos. Você concorda com essa afirmação de George? Justifique sua resposta.

Em seguida, o professor deve explicar para os alunos quais foram as outras investigações que George fez para tentar descobrir o modo de ação dos espermatozoides durante a fecundação. Depois de ter feito o experimento de filtração, para Newport estava muito claro que os espermatozoides eram os responsáveis pela fecundação dos óvulos. Só que agora ele queria investigar como que os espermatozoides interagem com os óvulos. Ele queria saber, por exemplo, se os espermatozoides entravam dentro dos óvulos durante a fecundação. E Newport estava bastante atento ao que os outros pesquisadores da época estavam encontrando em suas pesquisas. Tinham vários pesquisadores que falavam que tinham feito observações cuidadosas dos óvulos e espermatozoides no microscópio durante a fecundação e afirmaram terem visto orifícios nos óvulos por onde os espermatozoides entrariam. No entanto, outros pesquisadores afirmavam não terem visto nenhum orifício nos óvulos, mas falavam que tinham visto espermatozoides entrando nos óvulos no momento da fecundação. Então, Newport também tentou fazer essas observações, porém, não obteve sucesso. Ele não conseguiu ver nenhum orifício e não via espermatozoides entrando nos óvulos durante a fecundação. E isso deixava ele muito frustrado. Ele tinha feito alguns experimentos buscando evidências de que era possível espermatozoides entrarem nos óvulos, mas os resultados não foram conclusivos.

Nesse momento, o professor deve perguntar aos alunos e pedir para eles discutirem nos grupos, mas sem a necessidade de entregar a resposta por escrito:

- Diante disso, o que vocês acham que Newport deveria ter feito? Desistir? Acreditar na palavra dos colegas pesquisadores? Continuar tentando? Continuar tentando até quando?

O professor deve dar aos alunos por volta de 5 minutos para discutirem e depois pedir para que compartilhem suas opiniões. Em seguir, deve contar aos alunos o que Newport fez: Ele passou mais ou menos um ano tentando fazer essas observações e ele mudou algumas técnicas que ele usava para fazer observações no microscópio. No fim, ele não observou nenhum orifício nos óvulos, mas observou a entrada de espermatozoides no óvulo durante a fecundação, confirmando as observações de seus colegas. E ele ainda afirmou que os espermatozoides entram nos óvulos por seu próprio movimento. Essa discussão pode ser usada para discutir com os alunos o espectro das motivações para se fazer ciência – Newport poderia

ter desistido de realizar suas observações e acreditar nas observações dos colegas, mas ele persistiu.

Por fim, o professor deve discutir com os alunos a seguinte questão:

- As investigações que Newport fez foi com rãs. Então, ele descobriu que os espermatozoides penetram nos óvulos das rãs. Mas como podemos saber se isso acontece com outros animais também?

Com essa questão, é esperado que os alunos reflitam sobre como os resultados das pesquisas são generalizados. É esperado que, por meio da discussão, os alunos percebam que não é necessário fazer isso com todos os animais. Essa generalização pode ser feita a partir de características semelhantes encontradas nos grupos. Por exemplo, presença de óvulos, presença de espermatozoides, fecundação externa, fecundação interna, oviparidade, viviparidade. Por isso, é importante que a investigação seja feita com alguns animais representativos dos grandes grupos, mas sem necessidade de realizar todas as espécies que existem.

Para finalizar a SD, o professor deve apresentar aos alunos o conceito atual de fecundação. Ele pode contar aos alunos outros detalhes que foram descobertos sobre a fecundação anos depois e que fazem parte da explicação que damos hoje para o fenômeno. Por exemplo, anos depois, com o avanço dos microscópios e criação de corantes, foi possível observar que, durante a fecundação, apenas um espermatozoide entra no óvulo. Depois que esse espermatozoide entra, forma-se um envoltório ao redor do óvulo que impede a entrada de outros espermatozoides. Hoje também sabemos que, quando o espermatozoide entra no óvulo, o núcleo do espermatozoide se une ao núcleo do óvulo. Essa informação é importante para que os alunos compreendam aspectos relacionados à genética e transmissão de características aos filhos quando forem estudar esses assuntos mais adiante na vida escolar.

Ao longo de toda a explicação, o professor deve registrar na lousa as informações mais importantes para guiar o pensamento dos alunos e para que eles possam anotar no caderno ao final da aula.

Momento 10 – Avaliação individual

Quadro 28. Aspectos gerais do Momento 11

Fase do ciclo de investigação	Duração prevista	Espaços e materiais sugeridos	Estratégias de ensino
<ul style="list-style-type: none"> • Conclusão • Discussão 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 minutos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de aula; • Folha de questões • Folha de caderno em branco; • Caneta, lápis, borracha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resolução de questões individual

Quadro 29. Objetivos do Momento 11

Objetivos Gerais	Metacientíficos
<ul style="list-style-type: none"> • Refletir sobre os conhecimentos adquiridos nas últimas aulas; • Aplicar os conhecimentos adquiridos na resolução de questões. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tentatividade

Esse último Momento da sequência deve ser dedicado a fazer um fechamento de alguns dos principais aspectos estudados ao longo da sequência didática e de fazer uma avaliação individual dos alunos para verificar a aprendizagem de alguns conteúdos conceituais e de aspectos da natureza da ciência. Dependendo do desempenho dos alunos nessa avaliação, alguns tópicos podem ser retomados nas aulas seguintes.

A proposta é que a atividade seja feita sem consulta, mas que o professor ajude os alunos na resolução da atividade, se necessário.

Responda as questões abaixo com base no que foi estudado nas últimas aulas.

- 1) O que são os óvulos? O que são os espermatozoides?
- 2) Explique como ocorre a fecundação dos óvulos.
- 3) Baseando-se no conhecimento que temos hoje sobre como ocorre a fecundação, como você explicaria os resultados de Spallanzani nos três experimentos estudados:

1 - Em duas situações, quando Spallanzani obteve o sêmen de rãs macho e analisou esse sêmen no microscópio, ele observou que não havia animálculos. Quando ele colocou esse sêmen em contato com óvulos das fêmeas, eles se desenvolveram em girinos.

2- Em uma outra situação, Spallanzani misturou vinagre com sêmen e observou que isso matou os animálculos. Quando ele colocou esse sêmen

com animálculos mortos em contato com óvulos, os óvulos se desenvolveram em girinos.

3- Spallanzani colocou uma gota de sêmen em uma lâmina e o observou no microscópio. Conforme o sêmen foi evaporando, os animálculos migraram para a região central da gota e, com a ponta de uma agulha, ele pegou gotas do líquido sem animálculos e colocou em contato com os óvulos das rãs. Esses óvulos se desenvolveram em girinos.

- 4) Suponha que você explicou para alguém da sua família como ocorre a fecundação dos óvulos, mas essa pessoa não acreditou muito na sua explicação e perguntou para você como você pode *provar* que isso é verdade. O que você responderia para essa pessoa? Como você convenceria ela da sua explicação? (lembre das nossas discussões sobre a diferença entre prova e evidência)
- 5) Hoje temos um modo de explicar como a fecundação ocorre. Você acha que essa explicação continuará a mesma para sempre ou ela pode mudar em algum momento? Por quê?
- 6) Qual a importância de conhecermos como ocorre a fecundação?

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação envolveu pesquisa integrada em história da ciência e em ensino de ciências. A pesquisa em história da ciência consistiu em discutir como as investigações do pesquisador Inglês George Newport (1803-1854) com anfíbios se inserem no contexto de investigações sobre reprodução animal que vinham sendo realizadas desde o século XVII. Os resultados da pesquisa histórica foram então analisados com o objetivo de oferecer uma proposta sobre como as pesquisas de Newport podem contribuir com o processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos atuais relacionados à reprodução animal, bem como com o desenvolvimento de concepções fundamentadas sobre aspectos de natureza da ciência. A coordenação entre as duas pesquisas levou à produção de uma sequência didática para alunos dos anos finais do ensino fundamental construída por meio da abordagem do ensino por investigação, que foi submetida a um procedimento de validação.

Desde as primeiras observações dos espermatozoides, em meados do século XVII, surgiram questionamentos acerca de sua natureza e papel na reprodução. Os séculos XVII e XVIII foram marcados por diversas investigações empíricas que buscaram elucidar essas questões, bem como se existiam germes pré-formados dos seres vivos dentro dos óvulos, dentro dos espermatozoides ou se não havia pré-formação.

Apesar de todos os esforços, a natureza dos espermatozoides e seu papel na reprodução só começaram a ser elucidados no século XIX, devido à duas contribuições importantes de outras áreas do conhecimento. O desenvolvimento das lentes acromáticas para microscópios na década de 1820, possibilitou melhores observações de tecidos e células, e o desenvolvimento da teoria celular no início da década de 1840, juntamente com estudos histológicos dos testículos, contribuíram com a elucidação da natureza celular dos espermatozoides.

Com os espermatozoides sendo considerados células, tornou-se mais plausível atribuir a eles um papel central na fecundação. Dessa forma, nas décadas de 1840 e 1850 começam a ser propostos diferentes mecanismos para explicar o modo de atuação dos espermatozoides na fecundação. É nesse contexto que George Newport desenvolve suas pesquisas com reprodução e desenvolvimento embrionário de anfíbios.

Conhecedor desse contexto complexo de investigações sobre a reprodução animal, Newport sabia quais questões ainda não haviam sido solucionadas. Dessa forma, ele afirma em seu primeiro artigo sobre o tema, publicado em 1851, que seu objetivo principal é obter “provas” de que os espermatozoides são a única parte do sêmen responsável pela fecundação dos óvulos. Para atingir seu objetivo, Newport realiza uma grande quantidade de experimentos, muitos dos quais já haviam sido realizados anteriormente, por exemplo, por Spallanzani e Prévost e Dumas, e com os quais Newport compara seus resultados. O principal experimento realizado por Newport para responder especificamente a essa questão dos espermatozoides, é o experimento que envolve a filtração do sêmen. Ao realizar esse experimento, Newport conclui que os espermatozoides são a única parte do sêmen responsável pela fecundação dos óvulos e que os espermatozoides contribuem com a formação material do novo ser. No entanto, quando Newport realizou este experimento, ele não sabia que Prévost e Dumas e Spallanzani já tinham feito experimentos muito semelhantes, com resultados parecidos. É interessante também que o mesmo ocorreu com Prévost e Dumas. Quando esses pesquisadores realizaram seus experimentos com filtração do sêmen, eles também ainda não tinham tomado conhecimento dos experimentos similares de Spallanzani.

As próximas investigações de Newport focaram em elucidar os mecanismos pelos quais os espermatozoides agem na fecundação. À princípio, Newport não conseguiu observar a entrada de espermatozoides nos óvulos e nem obteve evidências experimentais de que isso poderia ocorrer. Portanto, seu primeiro modelo para a fecundação não menciona a penetração de espermatozoides no óvulo. No entanto, diante de relatos de outros pesquisadores da época, que diziam ter visto espermatozoides dentro dos óvulos, Newport persiste em suas investigações, mudando as técnicas utilizadas em suas observações no microscópios. Enfim, Newport relata ter observado a penetração de diversos espermatozoides até o vitelo do ovo e propõe que um dos mecanismos da fecundação é a penetração dos espermatozoides até o vitelo, e que a fecundação como um todo envolveria mecanismos físicos e químicos.

A proposta de Newport não representa uma ruptura com o conhecimento da época, uma vez que outros pesquisadores fizeram propostas semelhantes às dele. Porém, seu trabalho trouxe contribuições importantes, ao fornecer evidências robustas do papel dos espermatozoides na reprodução, principalmente diante do

contexto de incertezas que ainda havia na comunidade científica acerca do modo de ação dos espermatozoides na fecundação e da contribuição material dos espermatozoides para a formação de novos indivíduos.

Na sequência didática foram incorporados os seguintes aspectos investigados na pesquisa histórica: (1) com alguns aspectos gerais do contexto das investigações sobre reprodução animal que estavam sendo realizadas entre os séculos XVII e XIX, (2) com os experimentos de filtração do sêmen realizados por Spallanzani, Prévost e Dumas e Newport, de modo comparativo e (3) outros experimentos que foram importantes para a elaboração do conceito atual de fecundação. A análise do episódio histórico incorporado na sequência didática permite afirmar que ela tem o potencial de favorecer o processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos, como óvulo, espermatozoide, sêmen e fecundação, e de aspectos de natureza da ciência, como o papel da criatividade e imaginação dos cientistas, o papel da determinação teórica sobre a investigação empírica, explicações alternativas, completude de evidência, espectro das motivações para fazer ciência, mudança conceitual e modelos e organismos modelo.

A aplicação exploratória da sequência didática ofereceu evidências preliminares de seu potencial para o ensino de reprodução. Durante a aplicação da SD em sala de aula, ela suscitou questionamentos que poderiam ter levado a outros ciclos de investigação. Por exemplo, quando os alunos descobriram que apenas um espermatozoide entra no óvulo, a pergunta imediata que apareceu foi “mas, então, como são formados os gêmeos?”. A razão para a pergunta é que a maioria dos alunos acreditava que a formação de gêmeos ocorria quando dois espermatozoides entravam no óvulo.

Os conteúdos conceituais trabalhados ao longo da sequência didática podem ser aplicados no estudo de outros temas relacionados à reprodução animal, como a formação de gêmeos, a eficácia de diferentes métodos contraceptivos, as técnicas de reprodução assistida, a transmissão de características dos pais para os filhos e por que a reprodução sexuada aumenta a variabilidade genética das populações.

A compreensão dos aspectos de natureza da ciência abordados na sequência didática, assim como de outros aspectos a serem trabalhados ao longo da vida escolar, pouco a pouco, vai ajudando os alunos a compreenderem como o conhecimento científico é produzido, tornando-se informados para a cotidiana

tomada de decisões diante de alegações científicas, de produtos de consumo, de políticas públicas, seja sobre temas diretamente relacionados à reprodução, como métodos contraceptivos ou reprodução assistida, seja sobre os assuntos relevantes de cada época e lugar, como os muito atuais temas das causas do aquecimento global, do papel da ciência na sociedade, dos embates entre ciência e religião.

Espera-se, como continuação do desenvolvimento desta pesquisa, iterar a sequência didática proposta, desta vez, fazendo uma análise mais aprofundada de suas potencialidades para o ensino de conceitos científicos e aspectos de natureza da ciência. Espera-se, também, com esse trabalho, incentivar outras pesquisas na área de ensino de ciências que abordem as temáticas de história da ciência, natureza da ciência e ensino por investigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL-KHALICK, F. et al. Inquiry in science education: International perspectives. **Science education**, v. 88, n. 3, p. 397-419, 2004.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542. 2010a.

_____. From rhetoric to resources: new historical problem-based case studies for nature of science education. In: **1ª Conferencia Latino Americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group. Atas da Conferencia Latino Americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group**. 2010.

_____. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179-195, 2004.

_____. **Teaching the Nature of Science: Perspectives and Resources**. Saint Paul: SHiPS Education Press, 2013.

AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE [AAAS]. **Benchmarks for science literacy**. New York: Oxford University Press. 2009.

ARAÚJO, A.M.S. Plasma Seminal (Revisão). **PUBVET**, Londrina, V. 8, N. 18, Ed. 267, Art. 1775, 2014.

BALINSKY, B. I. **An Introduction to Embryology**. Saunders, 1950.

BARRY, M. On the penetration of spermatozoa into the interior of the ovum; a note showing this to have been recorded as an established fact in the philosophical transactions for 1843. In: **Abstracts of the Papers Communicated to the Royal Society of London**. London: The Royal Society, 1854. p. 295-295.

BELL, T. Anniversary Meeting: May 24. **Proceedings of the Linnean Society**, v. p. 296-304, 1854.

BENNET, J. J. Anniversary Meeting: May 24. **Proceedings of the Linnean Society**, v. p. 304-326, 1854.

BERÇOT, Filipe Faria. **História da biologia e natureza da ciência na formação inicial de professores: uma sequência didática sobre reprodução animal no século XVIII nos estudos de Charles Bonnet e Abraham Trembley**. 2018. 350p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

BRASIL. **Lei Nº 11.794, de 8 de Outubro de 2008**. Regulamenta o inciso VII do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelecendo procedimentos para o uso científico de animais; revoga a Lei nº 6.638, de 8 de maio de 1979; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11794.htm> Acesso em: 12 nov. 2019.

_____. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Componente Ciências (6º ao 9º ano). Brasília, 2017. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/download-da-bncc> > Acesso em: 28 jul. 2018.

_____. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental, Ciências Naturais. Brasília, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf> >. Acesso em: 10 dez.

CAPES. Banco de Teses e Dissertações. Disponível em: <[http://bancodeteses.capes.gov.br/banco-teses/#!/>](http://bancodeteses.capes.gov.br/banco-teses/#!/). Acesso em: fev. 2017.

CARDOSO, M. J. C.; SCARPA, D. L. Diagnóstico de Elementos do Ensino de Ciências por Investigação (DEEnCI): Uma Ferramenta de Análise de Propostas de Ensino Investigativas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1025-1059, 2018.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018.

_____. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. Cap. 1. P. 1-20 In: CARVALHO, A.M.P. (org.) **Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. 2013

CASTAÑEDA, L. A. **As ideias pré-mendelianas de herança e sua influência na teoria de evolução de Darwin**. 1992. 323p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de Genética e Evolução) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

CASTAÑEDA, L. A. História natural e as ideias de geração e herança no século XVIII: Buffon e Bonnet. **História, Ciências, Saúde–Manguinhos**, v. 2, n. 2, p. 33-50, 1995.

CHAKRAVARTTY, A. "Scientific Realism", **The Stanford Encyclopedia of Philosophy** (Summer 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/scientific-realism/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

CLARKE, E.; Newport, G. In: **Complete Dictionary of Scientific Biography**, 2008. Disponível em: <<http://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/newport-george>>. Acesso em: 5 abr. 2017

CLARKE, G. N. ART and history, 1678–1978. **Human Reproduction**, v. 21, n. 7, p. 1645-1650, 2006.

COGGON, J. D.; Newport, G. In: **Oxford Dictionary of National Biography**, 2004. Disponível em:

<<http://www.oxforddnb.com/view/10.1093/ref:odnb/9780198614128.001.0001/odnb-9780198614128-e-20034>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

COLE, F. J. **Early Theories of Sexual Generation**. Oxford: Clarendon Press, 1930.

CORTEZ, E. P. M. **Descobrimos a seleção natural: uma proposta de ensino baseada na história da ciência**. 2018. 258p. Mestrado - Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

DAGHER, Z. R.; ERDURAN, S. Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, 25: 147-164, 2016

DARWIN, C. [carta] 12 ago. 1851a. Down, Kent [para] NEWPORT, George. Londres. 7 p. Devolve a tesoura com agradecimentos. Disponível em: <<https://www.darwinproject.ac.uk/letter/DCP-LETT-1450.xml>> Acesso em: 30 jul. 2018.

_____. [carta] 24 jul. 1851b. Down, Kent [para] NEWPORT, George. Londres. 8 p. Pede emprestado um par de tesouras antiga para dessecação para que John Weiss e Son usem como modelo. Disponível em: <<https://www.darwinproject.ac.uk/letter/DCP-LETT-1445.xml>> Acesso em: 30 jul. 2018.

DESMOND, A. **The politics of evolution: morphology, medicine, and reform in radical London**. University of Chicago Press, 1989.

DICTIONNAIRE UNIVERSEL FRANÇOIS ET LATIN: vulgairement appelé dictionnaire de Trévoux. Paris: Antoine Fournier et Libraires Associés, 1771.

DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. Two views about explicitly teaching nature of science. **Science & Education**, v. 22, n. 9, p. 2109-2139, 2013.

ELINSON, R. P. Amphibians. In: GILBERT, Scott F.; RAUNIO, Anne M (Ed.). **Embriology: Constructing the Organism**. Sunderland: Sinauer Associates, 1997. cap. 20, p. 409-436.

ENCYCLOPEDIA.COM. Disponível em: < <http://www.encyclopedia.com/>>. Acesso em: fev. 2017.

FARLEY, J. **Gametes & Spores: Ideas about Sexual Reproduction 1750-1914**. Baltimore e London: The Johns Hopkins University Press, 1936.

FIORESI, C. A.; SILVA, H. C. **Textos de Divulgação Científica: Uma análise sobre a Natureza da Ciência**, 2017. completar

GENTLEMAN'S MAGAZINE. London: John Bowyer Nichols and Sons, v. 41, jul. 1854. p. 660-661. Disponível em: <<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=pst.000068790820>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

GILBERT, S. F.. **Biologia do desenvolvimento**. Artmed Editora, 2003.

GIORDAN, M.; GUIMARÃES, Y. A. F. Estudo dirigido de iniciação à sequência didática. **São Paulo: Universidade de São Paulo**, 2012.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Elementos para Validação de Sequências Didáticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Atas...** Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2013.

HANKINS, T. L. **Science and the Enlightenment**. Cambridge History of Science Series. 20ª ed. Cambridge University Press, 2010. 161 p.

HISTORY OF SCIENCE SOCIETY. Isis Current Bibliography. Disponível em: <<https://hssonline.org/resources/isiscb-explore-bibliographic-search/>>. Acesso em: fev. 2017.

HODSON, D. Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases. In: **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Springer, Dordrecht, 2014. p. 911-970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações. Disponível em: <<http://bdtd.ibict.br/vufind/>>. Acesso em: fev. 2017.

JANCZUR, C. A contribuição de Prévost e Dumas para a compreensão do papel dos 'animálculos do sêmen' no processo de fecundação. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, vol. 10, n. 3, p. 9-16, set. 2016. Disponível em: <<http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-10-n3-Set-2016.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2017.

JENKINS, E. W. The 'nature of science' in the school curriculum: the great survivor. **Journal of Curriculum Studies**, v. 45, n. 2, p. 132-151, 2013.

JENSEN, G. M.; PRESTES, M. E. B. Regnier de Graaf e a descoberta dos ovos feminos. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, v. 5, n. 4, pp. 15-20, dez. 2011. Versão online disponível em: <<http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-05-n4-Dez-2011.pdf>>. Acesso em dd/mm/aaaa

KESELMAN, A. Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 9, p. 898-921, 2003.

KHISHFE, R; ABD-EL-KHALICK, F. Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 39, n. 7, p. 551-578, 2002.

KRAGH, H. **An introduction to the historiography of science**. New York: Cambridge University Press, 1987.

KRUSE, J. W. **Historical short stories in the post-secondary biology classroom: Investigation of instructor and student use and views**. 2010.

LaHBE, Laboratório de História da Biologia e Ensino. Instituto de Biociências, USP. Disponível em <<http://lahbe.ib.usp.br/usp.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; SMITH, M. U. Teaching Nature of Scientific Knowledge to Kindergarten Through University Students. **Science & Education**, v. 28, p. 197-203, 2019.

LEDERMAN, N. G. et al. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of research in science teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LEDERMAN, Norman G. Nature of science: past, present, and future. In: ABELL, Sandra K.; LEDERMAN, Norman G. (org.). **Handbook of research on science education**. New York: Routledge, 2007. cap. 28, p. 831-879.

_____. Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 29, n. 4, pp. 331-359, 1992.

_____. Students' and teachers' understanding of the nature of science: A reassessment. **School Science and Mathematics**, v. 86, n. 2, pp. 91-99, 1986.

MACEDO, R. S. **O ensino de ciências por investigação e a prática pedagógica de professores licenciados no IF-UFBA**. 2015. 361p. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

MARTINS, L. A. C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

_____. A história da ciência e o ensino da biologia. **Ciência & Ensino**, Bauru, v. 5, n. 1, p. 18-21, 1998.

MARTINS, L. A. C. P.; BRITO, A. P. O. P. M. A história da ciência e o ensino da genética e evolução no nível médio: um estudo de caso. In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. cap. 13, p. 245-264.

MARTINS, R. de A. **Aristóteles e o estudo dos seres vivos**. Raleigh: Lulu, 2012.

_____. História e História da Ciência: encontros e desencontros. In: **Actas do 1º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica**. 2001. p. 11-45

MARTINS, R. A.; MARTINS, L. A. C. P. Uma leitura biológica do 'De Anima' de Aristóteles. **Filosofia e História da Biologia**, v. 2, n. 1, p. 405- 426, 2007.

MARTINS, R. A. Seria possível uma história da ciência totalmente neutra, sem

qualquer aspecto whig. **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, v. 4, n. 3, p. 4-7, 2010

MATTHEWS, M. Changing the focus from Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). Pp. 3-26, In: Khine, M. S. **Advances in Nature of Science Research**. Springer, 2012.

_____. **Science teaching**: The role of history and philosophy of science. Psychology Press, 1994.

McCOMAS, W. Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da história da ciência na formação científica: implicações para a pesquisa e desenvolvimento. In: SILVA, Cibelle Celestino; PRESTES, Maria Elice Brzezinski. (org.). **Aprendendo ciência e sobre sua natureza**: abordagens históricas e filosóficas. São Carlos: Tipographia, 2013. p. 425-450.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.

MEYER, A. W. Changing ideas of impregnation or fertilization. In: _____. **The Rise of Embryology**. Stanford: Stanford University Press, 1939. cap. 10, p. 154-194.

MOORE, J. A. Science as a way of knowing: Developmental biology. **American zoologist**, v. 27, n. 2, p. 415-573, 1987.

NEWPORT, G.; ELLIS, G. V. Researches on the Impregnation of the Ovum in the Amphibia; and on the Early Stages of Development of the Embryo. (Third Series). **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 144, p. 229- 244, 1854. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/108499>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

NEWPORT, G. Notes on the Impregnation of the Ovum in the Amphibia: In a Letter to Thomas Bell, Esq., Sec. R.S. **Abstracts of the Papers Communicated to the Royal Society of London**, v. 6, p. 171–172, 1852. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/111182?seq=1#page_scan_tab_contents>. Acesso em: 18 mai. 2017.

_____. On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia (First Series). **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 141, p. 169–242, 1851a. Disponível em: <www.jstor.org/stable/108395>. Acesso em: 10 mai. 2017.

_____. On the Impregnation of the Ovum, in the Amphibia (Second Series), and on the Nature of the Impregnating Influence. **Proceedings of the Royal Society of London**, vol. 6, p. 82–84, 1851b. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rspl.1850.0032>>. Acesso em: dez. 2019

_____. On the Impregnation of the Ovum in the Amphibia. (Second Series, Revised.) And on the Direct Agency of the Spermatozoon. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 143, p. 233-290, 1853. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/108564>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

_____. On the Structure, Relations, and Development of the Nervous and Circulatory Systems, and on the Existence of a Complete Circulation of the Blood in Vessels, in Myriapoda and Macrourous Arachnida. First Series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 133, p. 243- 302, 1843.

_____. The Bakerian Lecture: On the Organs of Reproduction, and the Development of the Myriapoda. First Series. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 131, p. 99-130, 1841

OLIVEIRA, B. J. Cinema e imaginário científico. **História, ciências, saúde-manguinhos**, v. 13, p. 133-150, 2006.

PEDASTE, M. et al. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational research review**, v. 14, p. 47-61, 2015.

PEREIRA, M. R. **História da Ciência no Ensino Médio: experimentos de Lazzaro Spallanzani sobre reprodução animal**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PÉREZ, D. G. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

PLARR, V. et al. **Plarr's Lives of the Fellows of the Royal College of Surgeons of England**. Printed and Published for the Royal College of Surgeons by John Wright. London: Simpkin Marshall Ltd, 1930. v. 2, p. 95–96. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/bjs.1800187221>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

PRESTES, M. E. B. **A biologia experimental de Lazzaro Spallanzani (1729-1799)**. 2003. 393p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PRESTES, M. E. B.; CALDEIRA, A. M. A. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e história da biologia**, v. 4, n. 1, p. 1-16, 2009.

_____. Observações e experiências sobre a geração dos animalículos das infusões realizadas por Lazzaro Spallanzani (1729-1799) e sua utilização no ensino de Biologia. **Atas**, 2011.

_____. O whiggismo proposto por Herbert Butterfield. *Boletim de História e Filosofia da Biologia*, v. 4, n. 3, p. 2-4, 2010.

_____. **Teoria celular: de Hooke a Schwann**. São Paulo: Scipione, 1997.

PROCEEDINGS OF THE LINNEAN SOCIETY OF LONDON. Londres, v. 2, p. 309–312, 1855. Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org/item/34958#page/7/mode/1up>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY OF LONDON. Londres, v. 7, p. 278–285, 1856.
Disponível em: <<https://www.biodiversitylibrary.org/item/60968#page/9/mode/1up>>
Acesso em: fev. 2018.

RAMOS, M. de C. A Vênus física de Maupertuis: antigas idéias sobre a geração reformadas pelo mecanicismo newtoniano. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 1, p. 79-101, 2005.

_____. Geração orgânica, acidente e herança na Carta XIV de Maupertuis. **Scientiae Studia**, v. 2, n. 1, p. 99-128, 2004.

RISKIN, J. **The Restless Clock**: a history of the Centuries-Long Argument over What Makes Living Things Tick. Chicago: The University of Chicago Press, 2016.

RUDGE, D. W.; HOWE, E. M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. **Science & education**, v. 18, n. 5, p. 561-580, 2009.

SANDLER, I. The re-examination of Spallanzani's interpretation of the role of the spermatocidal animalcules in fertilization. **Journal of the History of Biology**, v. 6, n. 2, p. 193-223, 1973.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Educação. Coordenadoria Pedagógica. **Currículo da cidade**: Ensino Fundamental: Ciências da Natureza. 2.ed. São Paulo: SME/COPED, 2019.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 17, n. spe, p. 49-67, 2015.

SASSERON, L. H.; BRICCIA, V.; CARVALHO, A. M. P. Aspectos da natureza das ciências em sala de aula: exemplos do uso de textos científicos em prol do processo de alfabetização científica dos estudantes. In: SILVA, Cibelle C.; PRESTES, Maria Elice B. (org.). **Aprendendo ciência e sobre sua natureza**: abordagens históricas e filosóficas. São Carlos: Tipographia, 2013. p. 265-276.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

_____. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin. **Ciência e Educação**, v. 17, p. 97-114, 2011.

SASSERON, L. H. Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, p. 41-62, 2013.

SCARPA, D. L.; SILVA, M. B. A Biologia e o ensino de Ciências por investigação: dificuldades e possibilidades. **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**, 2013.

SCHOENWOLF, G. C. et al. Gametogenesis, Fertilization, and First Week. In:_____. **Larsen's human embryology E-book**. 4. ed. Elsevier Health Sciences, 2014. cap. 1, p. 15-50.

SHAVER, J. R. Studies on the initiation of cleavage in the frog egg. **Journal of Experimental Zoology**, v. 122, n. 1, p. 169-192, 1953.

SOARES, N.; TRIVELATO, S. F. ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO–REVISÃO E CARACTERÍSTICAS DE TRABALHOS PUBLICADOS. **Atas de Ciências da Saúde (ISSN 2448-3753)**, v. 7, n. 1, p. 45, 2019.

THE LANCET. Londres, v. 30, n. 764, p. 118-120. 1838. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014067360295703X>>. Acesso em: jul. 2018.

_____. Londres, v. 66, n. 1684, p. 554, dez. 1855. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673602699854>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

THE MEDICAL TIMES AND GAZETTE: A journal of medical science, literature, criticism and news. London: J. & A. Churchill, p. 392-393. 1854. Disponível em: <<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015049027462;view=1up;seq=398>>. Acesso em: jan. 2018.

ZABALA, A. A função social do ensino e a concepção sobre os processos de aprendizagem: instrumentos de análise. In:____. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998. cap. 2.

APÊNDICES**Apêndice A. Folha de respostas dos alunos.****Questão 1**

Questão 2

Questão 3

Questão 4

Questão 5

Questão 6

Questão 7

Questão 8

Questão 9

Questão 10

Questão 11

Apêndice B. Materiais e Procedimentos para demonstração dos experimentos de filtração.

Materiais necessários

1 copo com leite vegetal representando o sêmen das rãs macho

Pelo menos 7 papeis-filtro em um suporte apoiados em um pequeno copo vazio

Dois potes com um pouco de água e sagu sem sabor cozido, representando os óvulos das rãs fêmeas

Resumo dos Procedimentos

1. Transferir o leite (sêmen) para os filtros.

2. Colocar o filtro em contato com os sagus (óvulos) de um dos potes e o líquido filtrado (que passou por vários filtros) em contato com os sagus (óvulos) de outro pote.

3. Os óvulos que entraram em contato com os filtros se desenvolveram em girinos, enquanto os óvulos que entraram em contato com o líquido filtrado não formaram girinos.

ANEXOS

Anexo A – Prancha de George Newport ilustrando o sistema circulatório de um escorpião.

Fonte: Newport (1843)

Anexo B – Prancha de George Newport ilustrando a anatomia interna de rãs e os diferentes estágios de desenvolvimento de seus ovos.

Fonte: Newport (1851a).

Anexo C. Formulário para analisar os elementos estruturantes da SD

Adaptado de: Giordan e Guimarães (2012)

Estrutura e Organização	1	2	3	4	5
A proposta de ensino apresentada na SD é original.	1	2	3	4	5
A redação dos elementos contempla todas as informações requeridas.	1	2	3	4	5
O Público Alvo está descrito adequadamente.	1	2	3	4	5
O referencial (Teórico e Bibliográfico) apresentado está apropriado.	1	2	3	4	5
O tempo previsto é condizente com a proposta apresentada.	1	2	3	4	5
Problematização	1	2	3	4	5
A problemática articula todos os elementos da SD.	1	2	3	4	5
A problematização propõe uma questão desencadeadora.	1	2	3	4	5
A problematização está relacionada com situações sociais, culturais, políticas ou do cotidiano.	1	2	3	4	5
A proposta encaminha para uma resolução (ou posicionamento crítico) do problema.	1	2	3	4	5
Conteúdos	1	2	3	4	5
Os conteúdos indicados estão de acordo com a BNCC	1	2	3	4	5
Os conteúdos indicados estão de acordo com o ano (série) em que a SD será desenvolvida.	1	2	3	4	5
Os conteúdos estão diretamente vinculados aos objetivos.	1	2	3	4	5
Além dos conteúdos conceituais também são abordados conteúdos atitudinais e/ou procedimentais.	1	2	3	4	5
Os conteúdos selecionados são apropriados à problematização.	1	2	3	4	5
Metodologia de Ensino	1	2	3	4	5
As atividades são diversificadas.	1	2	3	4	5
As atividades são inovadoras.	1	2	3	4	5
A metodologia de ensino proposta está apropriada para alcançar o objetivo geral da SD.	1	2	3	4	5
Há relação direta entre a dinâmica das atividades e a problematização.	1	2	3	4	5
A dinâmica das atividades promove participação ativa dos alunos.	1	2	3	4	5
O espaço físico indicado está adequado para se desenvolver as atividades planejadas.	1	2	3	4	5
Avaliação da aprendizagem	1	2	3	4	5
Os instrumentos de avaliação estão descritos na SD.	1	2	3	4	5
A avaliação é citada na dinâmica das atividades.	1	2	3	4	5
A avaliação está condizente com os objetivos específicos.	1	2	3	4	5
Está previsto feedback da avaliação para os alunos.	1	2	3	4	5
A avaliação está distribuída ao longo da SD.	1	2	3	4	5

Anexo D. Formulário para analisar a presença de elementos do ensino por investigação na sequência didática

Ferramenta de Diagnóstico de Elementos do Ensino de Ciências por Investigação, instrumento de validação pelos membros do grupo de pesquisa e professores especialistas (Adaptado de CARDOSO e SCARPA (2018), por Luana Beatriz Xavier Nunes)

TEMA	ELEMENTOS		AVALIAÇÃO		
A. Introdução à investigação	A SD estimula o interesse dos alunos sobre o tópico de investigação?		SIM	NÃO	N/A
B. Apoio à investigação dos alunos	Problema/questão	B1 Há definição de um problema ou questão de investigação.	SIM	NÃO	N/A
		B1.1 A SD envolve os alunos na definição do problema/questão de investigação?	SIM	NÃO	N/A
	Hipótese/previsão	B2 Há definição de hipótese ou previsão para a investigação?	SIM	NÃO	N/A
		B2.1 A SD envolve os alunos na definição de hipótese e/ou previsão?	SIM	NÃO	N/A
		B2.2 A SD envolve os alunos na justificação da hipótese e/ou previsão definidos?	SIM	NÃO	N/A
	Planejamento	B3 Há definição de procedimentos para a investigação?	SIM	NÃO	N/A
		B3.1 A SD envolve os alunos na definição dos procedimentos de investigação?	SIM	NÃO	N/A
		B3.2 Os procedimentos de investigação definidos são apropriados ao problema e/ou questão?	SIM	NÃO	N/A
	Coleta de dados	B4 Há coleta de dados durante a investigação?	SIM	NÃO	N/A
		B4.1 A SD envolve os alunos durante a coleta de dados?	SIM	NÃO	N/A
		B4.2 A SD estimula os alunos a manterem notas e registros durante a coleta de dados?	SIM	NÃO	N/A

		B4.3 A SD encoraja os alunos a checarem os dados?	SIM	NÃO	N/A
		B4.4 Os dados coletados permitem o teste de hipótese e/ou previsão?	SIM	NÃO	N/A
C. Guia às análises e conclusões	C1 A SD encoraja os alunos a analisarem os dados coletados?		SIM	NÃO	N/A
	C2 A SD encoraja os alunos a elaborarem conclusões?		SIM	NÃO	N/A
	C3 A SD encoraja os alunos a justificarem suas conclusões com base em conhecimentos científicos?		SIM	NÃO	N/A
	C4 A SD encoraja os alunos a verificarem se suas conclusões estão consistentes com os resultados?		SIM	NÃO	N/A
	C5 A SD encoraja os alunos a compararem as suas conclusões com a hipótese e/ou previsão?		SIM	NÃO	N/A
	C6 A SD encoraja os alunos a considerarem as suas conclusões em relação ao problema e/ou questão de investigação?		SIM	NÃO	N/A
	C7 A SD encoraja os alunos a refletirem sobre a investigação como um todo?		SIM	NÃO	N/A
D. Incentivo à comunicação e trabalho em grupo	A SD estimula os alunos a trabalharem de forma colaborativa e em grupo?		SIM	NÃO	N/A
	A SD encoraja os alunos a relatarem seu trabalho?		SIM	NÃO	N/A
	A SD encoraja os alunos a se posicionarem frente aos relatos dos colegas sobre a investigação?		SIM	NÃO	N/A
E. Estágios futuros à investigação	A SD encoraja os alunos a aplicarem o conhecimento construído em novas situações?		SIM	NÃO	N/A
	A SD encoraja os alunos a identificarem ou elaborarem mais questões a partir da investigação?		SIM	NÃO	N/A
F. História da Ciência no ensino e Natureza da Ciência	A SD introduz o episódio histórico de forma contextualizada?		SIM	NÃO	N/A
	O episódio histórico abordado na SD contribui para a compreensão de conhecimentos científicos atuais?		SIM	NÃO	N/A
	O episódio histórico abordado na SD contribui para a construção de concepções informadas de NdC?		SIM	NÃO	N/A