



TÉRCIO AUGUSTO PENTEADO BARBOSA

Historicidade e atualidade do estudo da célula nos livros didáticos de ciências do ensino fundamental

CAMPINAS

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

TÉRCIO AUGUSTO
PENTEADO BARBOSA

**HISTORICIDADE E ATUALIDADE DO ESTUDO DA
CÉLULA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE CIÊNCIAS DO
ENSINO FUNDAMENTAL**

Orientador(a): Prof. Dr. Eduardo Galembeck

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, na área de concentração de Ensino de Ciências e Matemática.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO TERCIO AUGUSTO PENTEADO
BARBOSA. E ORIENTADA PELO PROF.DR. EDUARDO
GALEMBECK

Assinatura do Orientador

CAMPINAS
2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Educação
Gildenir Carolino Santos - CRB 8/5447

B234h Barbosa, Tercio Augusto Penteado, 1979-
 Historicidade e atualidade do estudo da célula nos livros didáticos de ciências
 do ensino fundamental / Tercio Augusto Penteado Barbosa. – Campinas, SP :
 [s.n.], 2014.

 Orientador: Eduardo Galembeck.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
 Educação.

 1. Programa Nacional do Livro Didático. 2. Biologia - História. 3. Células. 4.
 Livros didáticos. I. Galembeck, Eduardo, 1968-. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Historicity and relevance of the study of the cell in the textbooks of elementary school science

Palavras-chave em inglês:

National Textbook Program

Biology - History

Cells

Textbooks

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Titulação: Mestre em Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

Banca examinadora:

Eduardo Galembeck [Orientador]

Jorge Megid Neto

Edson Rosa Pimentel

Data de defesa: 31-01-2014

Programa de Pós-Graduação: Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

HISTORICIDADE E ATUALIDADE DO ESTUDO DA CÉLULA
NOS LIVROS DIDÁTICOS DE CIÊNCIAS DO ENSINO
FUNDAMENTAL

Autor : Tércio Augusto Penteado Barbosa
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Galembeck

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação
defendida por Tércio Augusto Penteado Barbosa e
aprovada pela Comissão Julgadora.

Data: 31/ 01/ 2014

Assinatura:.....

Orientador

COMISSÃO JULGADORA:





À minha irmã Ana Cláudia (*in memoriam*).

Agradecimentos

Primeiramente agradeço muito à minha família: à meu irmão Eduardo, minha cunhada Rita, e especialmente aos meus pais, Claudionor e Cleusa, por todo o amor, dedicação, apoio e paciência, e por sempre estarem prontos para me ajudar, naquilo que eu precisasse, e por me possibilitarem todos os meios para que eu pudesse estar aqui onde estou, fazendo o que estou fazendo.

Agradeço muito ao meu orientador, Eduardo Galembeck, por acreditar em mim, por ter me acolhido e aceito o desafio de me orientar, e por toda a paciência que teve durante a realização dessa dissertação.

Agradeço muito à todos os professores da Pós-graduação, por todos os aprendizados que me proporcionaram nas disciplinas, e por serem a melhor referência que eu poderia vir a ter do que é ser um pesquisador: Samuel, Ângelo, Inês, Rúbia, Maurício, Dora e Sílvia, a todos vocês um muito obrigado. E em especial agradeço aos professores Jorge e Hernandes, pelas valiosas orientações dadas durante o exame de qualificação.

Agradeço a todos os colegas do PECIM, pelo ótimo convívio, por todas as conversas que me proporcionaram muitos aprendizados, e que me fazem hoje ser capaz de entender um pouco mais a linguagem da área de Ensino de Ciências.

Agradeço a toda a equipe da Secretaria de Pós-graduação da FE, em especial à Nadir, à Rita e à Cleonice, por toda a atenção e as orientações dadas durante o curso.

Agradeço aos colegas professores, funcionários e equipe gestora das escolas municipais Integração e Ricardo Junco Neto, pelo apoio e suporte dados durante todo o tempo em que estive cursando o mestrado.

Agradeço à amiga Luciana Borges, pelas orientações dadas à escrita da dissertação; ao amigo Guilherme Trento, pela grande ajuda na elaboração e montagem da linha do tempo; e especialmente ao amigo de longa data, Peter Trento, pelas incontáveis conversas, por ser pra mim um exemplo do que é um grande professor, me ajudando assim a manter firme a vontade de me dedicar aos estudos, e ter me proporcionado a experiência do que é ter um irmão mais novo.

E por último um agradecimento muito especial à Marta, por ter dado um novo colorido à minha vida, e por ter feito os últimos meses de trabalho nesta dissertação muito mais agradáveis de se viver, compartilhando comigo muitos momentos e me suportando em todas as minhas chatices e irritações.

Resumo

BARBOSA, T. A. P. **Historicidade e atualidade do estudo da célula nos livros didáticos de ciências do ensino fundamental**. 2014. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Orientador: Prof. Dr. Eduardo Galembeck.

Considerando a importância das células como unidades fundamentais da vida, estas se tornam uma questão central no ensino de ciências, sendo um dos conceitos mais complexos para o aluno de ensino fundamental ao se iniciar o estudo dos seres vivos. A dificuldade de abstração dos estudantes para compreendê-las e contextualizá-las se torna frequentemente um problema, pois estes estão acostumados ao que é concreto em seu cotidiano, mas as células, pelo seu tamanho, somente são vistas com auxílio de microscópios. Portanto, é necessária uma ruptura com as ordens de grandeza e o senso comum dos estudantes, sendo essencial que entendam a importância das células para os seres vivos também através de uma perspectiva histórica. Para que isso ocorra, os estudantes devem substituir sua visão da ciência como uma coleção de fatos e teorias estagnadas pela compreensão de que o conhecimento científico é passível de contínua correção temporal. Atualmente diversas pesquisas mencionam a importância e a relevância da história da ciência nas salas de aula, nos diversos níveis de ensino, podendo esta ser um instrumento importante ao professor que, utilizando-se de fontes adequadas e atualizadas, pode promover aos seus alunos uma visão mais crítica em relação à ciência e a construção do conhecimento científico. Constatamos, neste trabalho, que ainda é pequena a presença desses conteúdos nas escolas. Isto se deve, principalmente, à escassez de material disponível, tanto ao professor quanto às escolas. Buscando superar esse hiato, realizamos uma extensa pesquisa bibliográfica da história do descobrimento das células, suas estruturas e funções, estabelecendo uma linha do tempo com diversos episódios históricos que permitiram o avanço do conhecimento sobre as células, evitando um recorte histórico comparativo. Em seguida, fizemos uma análise do conteúdo das coleções didáticas de ciências melhor avaliadas pelo PNLD (2011/2013), objetivando descrever a estrutura e o padrão de distribuição do conteúdo sobre células, destacando suas características e propriedades. Além disso, buscamos descrever as unidades e/ou capítulos específicos dessas obras didáticas que tratem a história do descobrimento e desenvolvimento dos estudos sobre células, buscando identificar o tipo de abordagem histórica (internalista ou externalista) presente nessas unidades e/ou capítulos, quando houve. Em nossa avaliação dos livros didáticos verificamos que há uma grande deficiência de conteúdos contextualizados sobre as células e sua historicidade. Acreditamos que uma abordagem que considere uma perspectiva histórica, e que relacione descobertas importantes com tecnologias presentes em nosso cotidiano, poderia contribuir de forma significativa com a compreensão dos conceitos fundamentais relacionados à biologia da célula compatíveis com o currículo de ciências do Ensino Fundamental.

Palavras-chave: História da Biologia, Teoria Celular, Livros didáticos, PNLD.

Abstract

BARBOSA, T. A. P. **Historicity and relevance of the study of the cell in the textbooks of elementary school science.** 2014. 125 p. Dissertation (Masters in Science and Mathematics Teaching). Faculty of Education, State University of Campinas. Campinas, Advisor: Prof. Dr. Eduardo Galembeck.

Considering the importance of cells as the fundamental units of life, they become a central issue in science education, being one of the more complex concepts for student teaching in the beginning of living things study. The student's abstraction difficulty in understanding and contextualizing cells often becomes a problem, because they are accustomed to what is concrete in their daily lives, and cells, because of their size, are only seen with the aid of microscopes. Therefore, to break these orders of magnitude and common sense, it is essential that students understand the importance of the cells also through a historical perspective. Thus, it must be avoided the exclusive study of cell structures and teaching just the scientific results. For this to occur, students must replace their vision of science as a collection of facts and stagnant theories by a comprehension that scientific knowledge is subject to continuous temporal correctness. Currently, several studies mention the relevance and importance of science history in the classroom in various levels of education, which may be an important tool to the teacher that, using updated and appropriate sources, can promote in the students a more critical vision of science and the construction of scientific knowledge. We noticed, in this research, that such contents are poorly present in schools. This is mainly due to the scarcity of available material, both to teachers and schools. In order to overcome this gap, we conducted an extensive literature review of the history of cells discovery, their internal structures and functions, establishing a timeline with several historical episodes that allowed the advancement of knowledge about cells, avoiding a comparative historical view. Then we did a content analysis of the school textbooks best evaluated by the brazilian government PNLD science program (2011/2013), aiming to describe the structure and pattern of distribution of content over cells, highlighting its characteristics and properties. In addition, we seek to describe the units and/or chapter specific to those textbooks that address the history of the discovery and development of studies on cell, seeking to identify the type of historical approach (internalist or externalist) present in these units and/or chapters, when there. In our review of the textbooks we find that there is a great deficiency of contextualized content on cells and its historicity. We believe that an approach that considers a historical perspective, and linking major breakthroughs with technologies present in our daily lives, could contribute significantly to the understanding of the fundamental concepts related to cell biology compatible with the curriculum of elementary school science.

Keywords: History of Biology, Cell Theory, School textbooks, PNLD.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Detalhe do grande incêndio de Londres em 04/09/1666	27
Figura 2: Animálculos de Leeuwenhoek	29
Figura 3: Microscópio de Leeuwenhoek	29
Figura 4: Ilustração do <i>Micrographia</i>	31
Figura 5: As células de cortiça observadas por Hooke	31
Figura 6: Desenhos de esperma de coelho (1 a 4) e de cachorro (5 a 8)	32
Figura 7: Desenho de homúnculo em esperma humano	32
Figura 8: Microscópio de Robert Brown	34
Figura 9: Células observadas utilizando o microscópio de Robert Brown	34
Figura 10: Comparação entre fotos com e sem aberração cromática	36
Figura 11: Microscópio de 1830 fabricado por Lister	36
Figura 12: Estruturas celulares desenhadas por Schwann, 1839	38
Figura 13: Desenhos de células do livro de Schleiden e Schwann, 1843	38
Figura 14: Desenhos de Louis Pasteur dos frascos de pescoço de cisne	39
Figura 15: Divisão celular desenhada por Remak	42
Figura 16: Ilustração do livro de Rudolf Virchow, 1847	42
Figura 17: Divisão celular em <i>Ascaris megalocephala</i>	46
Figura 18: Presença anormal de 4 centrosomos em uma célula	46
Figura 19: <i>Drosophila</i> mutante e selvagem	50
Figura 20: Herança ligada ao sexo da mutação de olhos brancos	50
Figura 21: Esquema mostrando o experimento de Griffith	51
Figura 22: Rosalind Franklin (1920 – 1958)	58
Figura 23: Fotografia 51, mostrando difração de raio X de DNA	58
Figura 24: Modelo de DNA feito por Linus Pauling em 1953	59
Figura 25: O modelo de dupla hélice de DNA de Watson e Crick	59
Figura 26: Mosca da fruta normal (a) e mutante (b)	61
Figura 27: Distribuição dos genes <i>homeobox</i>	62
Figura 28: Mutantes com DNA de rato, possuindo múltiplos olhos	62

Figura 29: Fotossíntese nas plantas em diferentes escalas de tamanho	72
Figura 30: Alga <i>Euglena</i> , em imagem obtida em microscópio óptico	73
Figura 31: Legenda presente no início da coleção <i>Ciências Naturais</i>	87
Figura 32: Imagens de <i>Paramecium</i> em reprodução assexuada	89

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: Lista das três obras didáticas escolhidas para a pesquisa	21
TABELA 2: Distribuição dos conteúdos de células no volume 2 (7º Ano) da coleção <i>Ciências</i> .	74
TABELA 3: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção <i>Ciências</i> .	75
TABELA 4: Distribuição dos conteúdos de células no volume 3 (8º Ano) da coleção <i>Ciências</i> .	76
TABELA 5: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção <i>Ciências</i> .	77
TABELA 6: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 1 (6º Ano) da coleção <i>Construindo Consciências</i> .	80
TABELA 7: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 1 (6º Ano) da coleção <i>Construindo Consciências</i>	81
TABELA 8: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção <i>Construindo Consciências</i>	82
TABELA 9: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção <i>Construindo Consciências</i>	83
TABELA 10: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção <i>Construindo Consciências</i>	84
TABELA 11: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção <i>Construindo Consciências</i>	85
TABELA 12: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 1 (6º Ano) da coleção <i>Ciências Naturais</i>	88
TABELA 13: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção <i>Ciências Naturais</i>	90
TABELA 14: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção <i>Ciências Naturais</i>	91
TABELA 15: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção <i>Ciências Naturais</i>	92
TABELA 16: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção <i>Ciências Naturais</i>	93
TABELA 17: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 4 (9º Ano) da coleção <i>Ciências Naturais</i>	94

TABELA 18: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 4 (9º Ano) da coleção *Ciências Naturais* 94

TABELA 19: Somatória total da distribuição das imagens de células obtidas por microscopia nas coleções didáticas analisadas na pesquisa 98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
HFC	História e Filosofia da Ciência
MEC	Ministério da Educação e Cultura
MCF	Microscopia por Contraste de Fase
MET	Microscopia Eletrônica de Transmissão
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF	Microscopia de Fluorescência
MOC	Microscopia Óptica Comum
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PNLD	Parâmetros Curriculares Nacionais

SUMÁRIO

1. PERCURSO ACADÊMICO E PROFISSIONAL	1
2. HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS	9
2.1 A história da ciência e os livros didáticos.....	11
3. PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	17
3.1 A relevância da HFC e o estudo da célula no ensino.	17
3.2 Justificativa da HFC no ensino.	18
3.3 Metodologia do levantamento de trabalhos de interesse histórico	19
3.4 Metodologia de análise das coleções didáticas do PNLD	20
3.4.1 Definição das unidades de análise	22
3.4.2 Definição das categorias de análise	23
4. UMA BREVE HISTÓRIA DA CÉLULA VISTA PELO HOMEM	25
4.1 O surgimento da ciência moderna.....	25
4.2 Os pioneiros: Robert Hooke e Antoine van Leeuwenhoek.	28
4.2 Da descoberta do núcleo da célula à Teoria Celular	33
4.3 Sobre genes e cromossomos.....	43
4.4 O DNA e a Química da Vida	55
4.5 E atualmente?	63
4.6 O surgimento da biologia sintética	68
5. ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS – PNLD CIÊNCIAS.....	71
5.1 Coleção: <i>Ciências</i> . Carlos Barros e Wilson Paulino.....	71
5.2 Coleção: <i>Construindo Consciências</i> . Carmen de Caro <i>et al.</i>	79
5.3 Coleção: <i>Ciências Naturais</i> . Olga Santana <i>et al</i>	86
5.4 Considerações sobre as coleções didáticas	95
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
APÊNDICE 1	113
APÊNDICE 2 – Ciências (Barros & Paulino) -7º Ano.....	114
APÊNDICE 3 – Ciências (Barros & Paulino) – 7º Ano.....	115
APÊNDICE 4 – Ciências (Barros & Paulino) – 8º Ano.....	116
APÊNDICE 5 - Ciências (Barros & Paulino) – 8º Ano.....	117

APÊNDICE 6 – Ciências (Barros & Paulino) – 9º Ano.....	118
APÊNDICE 7 – Ciências (Barros & Paulino) – 9º Ano.....	119
APÊNDICE 8 – Construindo Consciências – 6º Ano.....	120
APÊNDICE 9 – Construindo Consciências – 6º Ano.....	121
APÊNDICE 10 – Construindo Consciências – 7º Ano.....	122
APÊNDICE 11 – Construindo Consciências – 7º Ano.....	123
APÊNDICE 12 – Construindo Consciências – 8º Ano.....	124
APÊNDICE 13 – Construindo Consciências – 8º Ano.....	125
APÊNDICE 14 – Construindo Consciências – 9º Ano.....	126
APÊNDICE 15 – Construindo Consciências – 9º Ano.....	127
APÊNDICE 16 – Ciências Naturais – 6º Ano.....	128
APÊNDICE 17 – Ciências Naturais – 6º Ano.....	129
APÊNDICE 18 – Ciências Naturais – 7º Ano.....	130
APÊNDICE 19 – Ciências Naturais – 7º Ano.....	131
APÊNDICE 20 – Ciências Naturais – 8º Ano.....	132
APÊNDICE 21 – Ciências Naturais – 8º Ano.....	133
APÊNDICE 22 – Ciências Naturais – 9º Ano.....	134
APÊNDICE 23 – Ciências Naturais – 9º Ano.....	135
ANEXO A – Coleções didáticas aprovadas pelo PNLD 2011/2013	136
ANEXO B	137

PERCURSO ACADÊMICO E PROFISSIONAL

Do kit de Química a professor de Ciências

Em um dia qualquer de 1991, quando ainda tinha 12 anos de idade e morava em Oliveira (MG), pedi aos meus pais um daqueles kits de pequeno cientista, que se chamava algo como “o pequeno químico” ou “pequeno laboratório de química”. Eu o tinha visto numa loja de brinquedos no centro da cidade, e me chamou muito a atenção. A foto na caixa era bonita e até meio enganosa, com um monte de vidrarias que nem sequer estavam incluídas no brinquedo. Acho que eles estranharam esse pedido, pois afinal, no início da era dos videogames, quantas crianças você imagina que iriam querer brincar com esse tipo de coisa? Enfim, eu me lembro que nesse kit tinha haviam vários frascos com reagentes, uns tubinhos de vidro com um suporte e até mesmo um manual com dezenas de experiências... No apartamento onde morávamos havia um sótão, onde eu adorava ficar várias tardes fazendo as experiências daquele “pequeno grande manual”. Esse kit foi meu primeiro contato formal com a química. À época, era mais uma curiosidade que um sentimento de “vocação”, por assim dizer. Eu até gostava das aulas de ciências na escola, mas na 6ª série, eu tinha certeza que, quando crescesse, trabalharia com algo relacionado à matemática, já que meus pais eram formados em contabilidade e o meu irmão mais velho estava terminando o curso de engenharia elétrica. Talvez por essa influência familiar ou por ter tido uma boa formação em matemática nos primeiros anos do ensino fundamental, naquela série eu era considerado um ótimo aluno em matemática, e tinha facilidade em fazer as contas até mesmo de cabeça, o que fazia a professora me elogiar nas aulas e eu, como um adolescente, me achar o máximo por isso.

Por conta do cargo que meu pai ocupava no Banco do Brasil, fomos transferidos em 1992 para Paulínia (SP), e no ano seguinte, já na 8ª série, vi uma divulgação sobre cursos técnicos juntamente com o ensino médio em algumas escolas técnicas públicas em Campinas, tais como o Colégio Técnico de Campinas (Cotuca), e as Escola Técnica Estaduais “Conselheiro Antônio Prado” (Etecap) e Bento Quirino (conhecida como “Bentão” em Campinas). Foi então que ouvi pela primeira vez a palavra “vestibulinho”,

nome usado para o exame de seleção desses cursos. Fui muito estimulado pelo meu irmão a cursar eletroeletrônica ou processamento de dados (imagino o porquê...), porém na 8ª série o meu interesse por química já tinha se tornado maior que pela matemática, e estava pensando em estudar algo relacionado a isso. Acredito que isso ocorreu em parte porque, naquele ano, eu comecei a estudar um pouco de química nas aulas de ciências, e estava gostando muito! Além disso, minha crescente dificuldade em matemática já não me tornava mais o melhor aluno da sala.

Após ser aprovado em alguns “vestibulinhos”, em 1994 escolhi fazer o curso técnico em Bioquímica na Etecap. Como a escola era em um bairro afastado de Campinas, e sobretudo, longe de onde eu morava em Paulínia, percebi que aquela seria uma grande mudança na minha rotina diária, já que eu estava acostumado, desde pequeno, a ir a pé para as escolas onde estudei, pois morava relativamente perto de todas elas. E para ir à Etecap, eu teria que tomar diariamente dois ônibus, saindo de casa mais de uma hora antes da aula para ter tempo de chegar. Lá, a primeira impressão que tive foi a de estar naquelas escolas de filmes norte-americanos; pois, afinal de contas, nós estudávamos em período integral, tínhamos armários para guardar nossas coisas, almoçávamos em um refeitório e até tínhamos que tomar banho após as aulas de Educação Física. Foi um choque para mim, acostumado a estudar meio período, em escolas pequenas em cidades pequenas... agora estudando em uma grande escola de uma cidade grande, tendo contato com gente de todo tipo. A escola tinha uma ótima estrutura, laboratórios de química, física, biologia, microbiologia, análises clínicas... além de ótimos professores, e pelo fato de ficarmos o dia inteiro lá, tínhamos diversas atividades como aulas de teatro, grêmio estudantil, treinos físicos. Na própria escola já fazíamos as pesquisas, trabalhos e relatórios e até mesmo participávamos de festivais literários e gincanas culturais nos fins de semana. Nessa época também tive minha maior frustração escolar, pois fiquei de recuperação em matemática logo ao fim do 1º colegial. Foi outro choque pra mim, e talvez uma pequena decepção aos meus pais, pois eles queriam que eu me tornasse um engenheiro, como meu irmão se tornou. Felizmente foi a única vez que isso aconteceu. Acredito que ao fim desse período eu aprendi muito, não só como estudante, mas como pessoa, ficando mais independente e confiante após os três anos na Etecap.

Após a formatura do ensino médio em dezembro de 1996, iniciei em seguida o meu estágio obrigatório no laboratório de microbiologia do CPQBA-Unicamp¹, para assim obter o diploma de técnico em bioquímica. Foi outra ótima experiência, pois foi meu primeiro contato com pesquisas e pesquisadores de uma universidade. Durante o estágio, aproveitava as horas livres para começar a ler os livros exigidos pelos Vestibulares. Em julho de 1997 entreguei à Etecap meu relatório final de estágio e passei a me dedicar integralmente aos vestibulares. À época eu já estava querendo estudar Biologia apesar de minha família insistir por alguma Engenharia, mesmo lhes dizendo que ciências exatas não eram para mim. Enfim, em 1998 fui aprovado na Unicamp. Nesse mesmo ano meu pai se aposentou e meus pais se mudaram para Vinhedo. E fui morar em uma república em Barão Geraldo, para ficar próximo à universidade.

Durante a graduação fiz iniciação científica em alguns laboratórios da Unicamp, todos eles na área de microbiologia, pois eu tinha mais afinidade com esta área desde o curso técnico. Nessa época nem pensava em ser professor, tanto que ao final de 2001, formei-me somente como bacharel, sem terminar as disciplinas da licenciatura. Naquele ano, eu fazia iniciação científica em genética de micro-organismos da Fundação André Tosello em Campinas, com o Prof. Gilson Manfio, participando do Projeto Genoma financiado pelo CNPq², que à época fazia o sequenciamento do genoma da bactéria *C. violaceum*. Eu já estava certo que faria meu mestrado lá. Porém, problemas financeiros e internos fizeram com que a fundação fechasse. Nesse período conturbado, o prof. Gilson me recomendou que terminasse a licenciatura e procurasse outro orientador, para que eu não “perdesse” o ano de 2002. Com isso aproveitei o primeiro semestre para cursar as duas disciplinas que me faltavam para concluir a licenciatura, e em uma delas fiz meu estágio na Escola Estadual Hilton Federici, no distrito de Barão Geraldo. Foi o meu primeiro retorno a uma escola pública desde que terminei o ensino médio, e foi bem tranquilo, pois ia apenas uma vez por semana à escola, no período noturno, durante as aulas da Educação de Jovens e Adultos (antigo supletivo).

¹Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas, localizado no distrito de Betel em Paulínia (SP).

² Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Após concluir a licenciatura em Julho de 2002, no segundo semestre iniciei um estágio no Centro de Biologia Molecular e Engenharia Genética (CBMEG) da Unicamp, para pesquisar o RNA de fungos contaminantes da madeira usada na indústria de papel. Sendo assim, naquele semestre me dediquei quase exclusivamente a preparar o projeto de pesquisa e estudar para o processo seletivo do mestrado em genética na Unicamp. Ao ser aprovado no processo seletivo, cursei as disciplinas da pós-graduação sem maiores dificuldades, pois realmente gostava de estudar genética e microbiologia. Porém, se por um lado na teoria o meu mestrado estava indo bem, ao começar a parte prática, apresentou sérios problemas, já que os experimentos não estavam funcionando, pois estava tendo dificuldades em obter as amostras de RNA. Estava começando a achar tudo aquilo muito repetitivo, tecnicista e...nada estimulante intelectualmente, pois o que eu basicamente fazia era preparar soluções e fazer as extrações de DNA e RNA seguindo protocolos de experimentos, repetindo-os seguidamente com algumas modificações...aquilo não tinha nada a ver com o que eu imaginava que seria o trabalho de um geneticista ou de um microbiologista pois, além de tudo, dava uma visão muito reducionista de Ciência, já que eu tinha que me preocupar exclusivamente com os problemas daqueles experimentos. Conversei com minha orientadora a respeito... que eu não estava feliz com aquilo...e resolvi trancar a matrícula no fim de 2004. Foi nessa época que um amigo me ofereceu algumas aulas por semana como professor de Fisiologia e Microbiologia em cursos técnicos no Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC) de Campinas.

As aulas do SENAC foram minha primeira experiência “real” como professor. Mas foi tranquila, pois as turmas eram pequenas e os alunos eram bem interessados, embora tivessem dificuldades para entender conceitos em biologia que para mim pareciam ser simples. O problema é que essas aulas funcionavam como um contrato por tempo determinado a cada módulo semestral, o que não dava segurança alguma que se mantivessem no próximo semestre. Por isso fui em busca de outras maneiras para me sustentar financeiramente. Com isso, além das aulas, eu trabalhava em um curso pré-vestibular de Campinas, revendia produtos da Natura, fui garçom de um bar em Barão Geraldo...e até mesmo *roadie* algumas vezes na banda de um amigo músico! Pena que ele não ficou famoso com essa banda... Ao final de 2005 fui chamado para

trabalhar como vendedor em uma grande *pet shop* de um shopping center de Campinas, algo inusitado para mim, pois os “produtos” que basicamente eu venderia aos clientes (inclusive com metas a atingir) eram simplesmente os animais da loja, tais como gatos, cachorros, roedores, pássaros, peixes e até mesmo animais exóticos como furões, iguanas e jibóias. Entretanto, esse emprego me pagava pouco e me tomava muito tempo nos fins de semana. E como eu havia gostado da minha experiência como professor, enviei dezenas de currículos a escolas da região de Campinas, até que, em março de 2006, fui chamado para dar algumas aulas como professor substituto de Biologia, em duas escolas particulares de Campinas. Como eu achava que já estava ganhando razoavelmente bem (para meus padrões da época) como garçom e revendedor da Natura, vi aí uma oportunidade para poder voltar a estudar e trabalhar com algo que fosse mais compensador e ligado à minha formação. Decidi então pedir demissão da loja, apesar da insistência do gerente para que eu continuasse. Agora eu tinha bem mais tempo livre para estudar para alguns concursos públicos na região, tendo sido aprovado na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) e na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). Como o concurso da Cetesb era para cadastro-reserva e o da Sabesp era para início imediato, aceitei este último emprego e fui trabalhar em Itatiba.

Na Sabesp, inicialmente eu trabalhei algumas semanas na Estação de Tratamento de Água, mas logo fui transferido para a nova Estação de Tratamento de Esgoto, que ainda estava em fase de testes. Dessa época eu nem gosto de me lembrar, pois eu chegava diariamente do trabalho com um cheiro horrível nas roupas, e meus pais temiam pela minha saúde, por eu estar trabalhando em um local tão insalubre como aquele. Obviamente que eu também não gostava, mas o salário era bom e o serviço não era difícil, e a grande vantagem dele é que entre os testes e análises que fazia na Estação, tinha tempo livre para estudar para outros concursos. Foi justamente nesse período de 2006 que eu soube que a prefeitura de Vinhedo faria um concurso público para professores efetivos na rede municipal. Seria a chance que eu teria para finalmente poder trabalhar em minha área de formação universitária e de poder morar perto de onde trabalharia. Assim, após prestar as provas ao final daquele ano, fiquei sabendo logo no início de 2007 que havia sido aprovado e convocado. Pedi demissão

da Sabesp para assumir as aulas em Vinhedo. Logo de início, ofereceram-me muitas aulas nos três períodos, desde a 5ª série até o 3º ano do ensino médio à noite. E foi assim pelos três anos seguintes, com isso minha renda aumentou bastante, e pude juntar dinheiro para iniciar a compra de um apartamento.

Porém, como diz o ditado que “dinheiro não traz felicidade”, senti a necessidade, após esse período de três anos, de voltar a estudar, porque sentia que estava entrando em uma rotina que me tomava muito tempo e me afastava dos estudos. Por isso, no início de 2010, ao buscar vídeos sobre biologia na internet, encontrei o *site* do Prof. Dr. Eduardo Galembeck da Unicamp, e entrei em contato com ele. Começamos a discutir a possibilidade de eu fazer um mestrado na área de ensino de ciências, e ele me recomendou que eu cursasse algumas disciplinas, como aluno especial, no Programa de Pós-Graduação Interunidades (CPGI) da Universidade de São Paulo, para ver se essa era mesmo a área que eu gostaria de seguir. E foi o que fiz naquele ano, o que foi muito estimulante intelectualmente, pois voltei a ler artigos e livros científicos, preparar seminários, assistir a palestras e ter contato com pesquisadores da área. Nessa época eu também comecei a me envolver mais com a educação, tendo me candidatado e sido eleito em 2011 representante dos professores de ensino fundamental no recém-criado Conselho Municipal de Educação de Vinhedo.

No início de 2011 soube que um novo curso de pós-graduação seria aberto na Unicamp (justamente o PECIM) com isso eu passei a pensar em um projeto de pesquisa para preparar-me para o processo seletivo. A ideia do projeto surgiu após estar trabalhando há 6 anos como professor, e sentir que havia uma grande deficiência em uma parte essencial do meu material pedagógico: o livro didático. Na verdade, achava que pouca coisa havia mudado nos livros desde o período que eu era estudante até o período que me tornei professor, impressão aliás que mantenho até hoje. Por isso, eu e o Prof. Eduardo Galembeck decidimos verificar uma dessas deficiências em um dos conceitos mais fundamentais no ensino de ciências, a célula.

Nosso problema de pesquisa sofreu algumas mudanças, pois nossa ideia inicial era de somente analisar o estudo da célula nas coleções de livros didáticos de Ciências do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do período de 2011 a 2013. Porém, dada a escassez de estudos históricos sobre o descobrimento e desenvolvimento do

conhecimento sobre a célula, a pesquisa se voltou para a história do descobrimento da célula, seguida de uma análise de como esta aparece nas coleções do PNLD.

A dissertação está estruturada em quatro capítulos. Os dois primeiros compreendem o quadro teórico, descrevendo a metodologia e o *corpus* da análise dessa dissertação. O terceiro aborda a história do descobrimento da célula e suas estruturas, desde a sua descoberta no século XVII até chegar aos mais recentes avanços. O quarto capítulo descreve a análise de conteúdo, juntamente com a discussão sobre as coleções didáticas avaliadas. Por fim, as considerações finais sobre a pesquisa encerram a dissertação.

2. HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ENSINO DE CIÊNCIAS

O ensino de ciências deve ser realizado principalmente por uma atitude crítica em relação a conhecimentos estabelecidos (GEWANDSNAJDER, 2010). Para isso ocorrer com os estudantes, deve-se trocar a visão da ciência como uma coleção de fatos e teorias estagnados por um conhecimento racional, passível de contínua correção. Entretanto, em certas situações, o ensino do conhecimento científico encontra dificuldades por lidar com processos que, embora sejam testáveis, são essencialmente de caráter não-observável, ou por ocorrerem em uma escala de tempo na qual não estamos habituados, ou por serem invisíveis a olho nu. Como exemplos disso, podemos citar diversas reações químicas, o estudo das ondas, as eras geológicas e a evolução das espécies.

A relativa eficiência do senso comum, de caráter essencialmente prático e imediatista, deve-se ao fato que ele, assim como o conhecimento científico, também é, em um certo grau, um conhecimento crítico, por poder ser modificado e corrigido por tentativas e erros. Porém, o mesmo autor observa que em muitas situações esse nível crítico de conhecimento é inferior ao conhecimento científico por ser, dentre outras razões, fruto de se permanecer “no nível das aparências, em vez de procurar causas não observáveis, mas que geram previsões testáveis.” (GEWANDSNAJDER, 2010; p.125). Além disso, muitas teorias científicas, por sua complexidade, exigem alto grau de abstração, sendo difíceis de serem comunicadas aos alunos de ensino fundamental. Como exemplos de diferentes áreas da Ciência na busca de causas não observáveis, porém testáveis, pode-se citar na medicina a teoria dos germes, e na química a teoria atômica.

Algumas das maiores dificuldades no aprendizado de Ciências pelos alunos devem-se justamente ao excesso de uso do senso comum, atrapalhando o entendimento de conceitos científicos fundamentais. Nesse contexto, Araújo-Jorge et al. (2004) afirmam que um grande desafio no ensino de biologia celular é o de popularizar os conceitos básicos de estruturas e funções das células vivas, para introduzir as pessoas ao método científico, estimular a investigação, e analisar e sintetizar conceitos e paradigmas.

Segundo Martins (2005), parte desse problema deve-se a uma introdução tardia na escola de alguns conceitos científicos, pois somente nos livros de terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental (6º ao 9º ano) que encontramos uma “discussão mais abrangente acerca de aspectos da natureza da ciência e da atividade científica” (MARTINS, 2005, p.38). De acordo com Clément (2007), o conceito de célula, por exemplo, não é construído pelas crianças em suas observações diárias, mas sim posteriormente na escola, quando as primeiras imagens de células que lhes são apresentadas é que as ajudarão a estruturar a sua concepção de células. Martins (2005) defende que uma iniciação precoce ao discurso científico seria uma forma de construção de uma identidade em relação a esse tipo de conhecimento.

Autores como Del Pino e Strack (2012) afirmam que os currículos tradicionais enfatizam aspectos formais das ciências naturais, contribuindo para transformar a cultura da ciência escolar em algo desvinculado de suas origens científicas e de qualquer contexto social ou tecnológico, o que dificulta a inter-relação entre conteúdos fundamentais. Afirmam também que “o ensino tradicional deixa de lado os fenômenos reais. É uma ciência de quadro-negro, na qual tudo é possível” (p.11). Segundo estes autores, os conteúdos fundamentais permeiam os temas estruturantes e possibilitam que os estudantes façam conexões entre os conceitos e fenômenos. Portanto, não podem ser trabalhados de maneira isolada, mas sim interrelacionados, permitindo aos estudantes desenvolver habilidades e competências que se tornam mais complexas à medida que avançam em seus estudos na escola básica.

Este também é o caso do ensino da célula. Sua importância como unidade fundamental da vida é uma questão central no ensino de ciências, sendo um dos conceitos mais complexos que se ensina ao aluno de ensino fundamental, ao se iniciar o estudo dos seres vivos. A dificuldade de abstração dos alunos para compreendê-lo e contextualizá-lo torna-se frequentemente um problema, visto que estão acostumados àquilo que é concreto no seu cotidiano, e a célula, por ser microscópica, só é vista com auxílio de microscópios. Nesse sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) afirmam que “é essencial que o estudante entenda a importância da célula para a vida, e não somente estude as suas estruturas morfológicas, ou mesmo os seus processos biológicos internos” (BRASIL, 1998, p. 75).

Alguns dos principais objetivos estabelecidos pelos PCN são o ensino de Ciências com uma perspectiva crítica, formando um cidadão crítico. Para isso, buscam “identificar relações entre conhecimento científico, produção de tecnologia e condições de vida, no mundo de hoje e em sua evolução histórica, e compreender a tecnologia como meio para suprir necessidades humanas, sabendo elaborar juízo sobre riscos e benefícios das práticas científico-tecnológicas” (BRASIL, 1998, p.33). De acordo com Bizzo (2012), um grande desafio seria, portanto, construir um ensino de ciências que vá além do modelo tradicional, o qual é essencialmente passivo e expositivo para o estudante, substituindo por um ensino que se insira no contexto atual, caracterizado pela invasão da tecnologia.

O professor também deve possuir uma perspectiva crítica em relação aos currículos estabelecidos, refletindo sobre sua própria prática docente, não somente para tornar mais efetiva a reprodução de práticas definidas em esferas fora das escolas, como ocorre em muitas reformas curriculares (LOPES e MACEDO, 2011). Essa reflexão deve ser no sentido de um questionamento e produção de conhecimentos relevantes por parte dos professores e alunos, seja em relação aos métodos de ensino, porém principalmente em relação aos conteúdos. Silva (2011) nos lembra que não podemos mais olhar os currículos escolares com a mesma inocência de antes, pois “o currículo tem significados que vão muito além daqueles aos quais as teorias tradicionais nos confinaram. O currículo é lugar, espaço, território, o currículo é relação de poder” (p.150).

2.1 A história da ciência e os livros didáticos

Apesar de atualmente diversos pesquisadores² mencionarem a importância e a relevância da História e Filosofia da Ciência (HFC) nas salas de aula dos diversos níveis de ensino, ainda é pequena a presença desses conteúdos nas escolas. Essas pesquisas indicam que a HFC pode ser um instrumento importante ao professor em sala de aula, o qual, utilizando-se de fontes adequadas e atualizadas, pode promover

² Como exemplos podemos citar BARROS, 1998; BIZZO, 2012; BELTRAN, 2011; CLEMENT, 2007; DEL PINO e STRACK, 2012; GOODAY, 2008; LEITE, 2002; MARTINS, R. 1990 & 2006; PESSOA Jr, 1996; PRESTES, 2009 .

entre os seus alunos uma “visão mais crítica em relação à ciência e à construção do conhecimento científico” (BELTRAN, 2011, p. 119). Entretanto, a mesma autora nos lembra que o maior problema encontrado pelos professores ao se introduzir nas aulas um pouco de HFC é que, quando esta é abordada nos livros didáticos, é de forma separada do conteúdo, apresentando pequenas biografias daqueles que foram considerados os “grandes gênios da ciência”, ou então concebida como uma coleção de curiosidades científicas, utilizadas como fonte de exemplos.

A autora Lopes (2007) afirma que nos processos de organização dos conteúdos, a própria disciplina escolar é tida como distinta da disciplina científica e que essa presença marcante das disciplinas “tende a fazer com que cada uma delas, bem como a própria organização disciplinar, seja tratada como destituída de uma história” (p.198). Mesmo nos livros-textos mais utilizados nos cursos de graduação em ciências biológicas, como Alberts (2010), Raven (2007) e Junqueira & Carneiro (2012) verificamos que há muito pouca ênfase histórica. E esta, quando se apresenta, é vista como algo secundário, de pouca importância no aprendizado dos cursos de licenciatura, como afirmam Martins (2006) e Pessoa Jr. (1996). Além disso, são poucas as licenciaturas na área de ciências biológicas com disciplinas sobre história da ciência, e há pouco material bibliográfico disponível no Brasil em língua portuguesa. Sobre a HFC é importante lembrar que, como relata Pessoa Jr. (1996), faltam traduções para o português de diversos livros e, principalmente, dos textos originais dos cientistas.

Mais recentemente, Martins (2006) afirma que o problema não é a quantidade, e sim a qualidade do material disponível. O autor também afirma que para se relacionar a história da célula com o ensino, deve-se evitar uma abordagem historiográfica (ou internalista) e enfatizar uma abordagem mais externalista (ou social, como outros estudiosos preferem), levando em consideração que os conhecimentos científicos são influenciados, assim como influenciam, a sociedade da época.

Apesar de toda essa análise favorável à presença de HFC nas escolas, os documentos oficiais oferecem pouca orientação aos professores. Como lembra Beltran (2011, p.130), ao se considerar os poucos trechos dos PCN que se referem à história da ciência, notam-se neles marcas nítidas de perspectivas historiográficas tradicionais. E segundo a mesma autora, mesmo com essas poucas considerações sobre o uso da

HFC no ensino, não surgiram, nem nos PCN nem nas posteriores Orientações Curriculares Nacionais (BRASIL, 2006) maiores discussões ou sugestões mais claras de como os professores poderiam aplicar essas propostas em sala de aula. Com isso a autora afirma que “apenas o reconhecimento da importância que a história da ciência teria no ensino não garante a necessária construção de interfaces e propostas viáveis para a sala de aula” (BELTRAN, 2011, p. 132).

Acreditamos que essas sejam as principais razões para a pouca ênfase que se dá ainda hoje ao estudo da história do descobrimento das células nos livros didáticos de ensino fundamental. Partindo da premissa que a comunidade científica atualmente aceita o *status* das células como unidades fundamentais da vida (ALBERTS, 2010; CARVALHO e RECCO-PIMENTEL, 2013; RAVEN, 2007), defendemos que, potencialmente, o ensino da célula, da história do seu descobrimento e evolução nos permite uma compreensão ampla de um conceito central da biologia e da construção de um eixo organizador do conhecimento biológico, tanto para a ciência de referência, quanto para a disciplina escolar.

Certamente que, conforme Martins (2007) afirma, a resolução dos problemas escolares, a produção de material didático de qualidade e a simples presença de disciplinas sobre HFC na formação inicial dos professores não serão suficientes para a melhoria do ensino das células no ensino fundamental. É preciso refletir sobre como fazer esse ensino. Pois quando se concebe a HFC apenas como tarefas extras que devem ser cumpridas pelos professores, a limitação de tempo e a necessidade de cumprir o conteúdo programado acabam se tornando grandes obstáculos para que se aplique efetivamente a HFC nas salas de aula.

Tendo em vista a existência destes obstáculos, buscamos contribuir para a superação de algumas destas dificuldades na formação inicial de professores de ciências. Vemos a HFC como uma forma de contextualizar as discussões a respeito da natureza da ciência e também como uma estratégia didática para ensinar biologia celular. Assim, são importantes exemplos de episódios históricos em seu contexto social, sem os quais a natureza da ciência e de sua história se restringiria a memorização de fatos e datas.

Desse modo, a análise dos livros do Programa Nacional para o Livro Didático (PNLD) de Ciências, baseada na investigação da história do descobrimento da célula, pode se tornar uma ferramenta essencial na sugestão de mudanças e/ou melhorias desses livros que serão usados futuramente pelos alunos de Ensino Fundamental. Os livros didáticos são instrumentos básicos para informação científica do professor e dos alunos, os quais didatizam o saber científico e disponibilizam-no para a população escolar em geral. Consequentemente, o conteúdo relacionado à célula presente nesses materiais didáticos influencia direta ou indiretamente o desenvolvimento do raciocínio científico dos jovens em idade escolar. A análise dos livros didáticos destinados ao Ensino Fundamental feita pelo governo federal através do PNLD vem induzindo melhorias na qualidade dos mesmos. No caso do estudo da célula, este usualmente se inicia nos livros de ciências dos anos finais do ensino fundamental, em geral no 6º ou no 7º ano, seguindo as recomendações dos PCN do Ensino Fundamental.

Segundo Lopes (2011), os livros didáticos compõem um tipo de saber único em seu gênero a ser ensinado, ou seja, a lógica do conhecimento a ser ensinado não é a mesma lógica do conhecimento acadêmico, por isso argumenta que o conhecimento escolar não é produto unicamente de uma seleção de conteúdos advinda de qualquer que seja a sua referência científica e social, mas, sim, produto de um processo de reorganização, reestruturação e ressignificação de saberes, de forma a torná-lo mais acessível à população escolar. Autores como Seles e Ferreira (2004) e Fracalanza & Megid-Neto (2006), reforçam que os livros didáticos são utilizados como fonte primária de conhecimento e de referência de pesquisa, tanto para alunos e professores, como base para seleção e organização de currículo, fonte de exercícios e atividades em sala de aula, e referência metodológico-pedagógica. Além disso, os livros didáticos constituem mecanismos de mediação entre o conhecimento escolar e o conhecimento científico. Para Lopes (2011), a natureza do conhecimento escolar das disciplinas científicas, materializada nos livros didáticos, se constrói entre as relações dos diferentes conhecimentos sociais, como o conhecimento cotidiano, didático e científico.

Portanto, os livros didáticos de Ciências divulgam o conhecimento biológico de forma didatizada à população escolar. Sendo assim, pressupõe-se que esses livros constituam importantes objetos de estudo porque influenciam a prática docente e

promovem a construção do conhecimento científico escolar dos alunos, devendo ser constantemente analisados.

Desde o ano de 1994 o Ministério da Educação e Cultura (MEC) desenvolve o PNLD, que avalia trienalmente as coleções didáticas destinadas ao Ensino Fundamental. Segundo Fracalanza e Megid-Neto (2006), essa avaliação trienal favoreceu o progresso da produção editorial nacional, pois os livros didáticos positivamente avaliados diminuíram significativamente a quantidade de erros conceituais considerados graves pela equipe de avaliação, pois foram submetidos a critérios que consideram a adequação metodológica, utilização da linguagem correta e de conteúdo atualizado, a precisão conceitual, a valorização do conteúdo integrado, entre outros.

Apesar dessas mudanças, os mesmos autores consideram que a especificidade do ensino de ciências prevista nas pesquisas acadêmicas da área e nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) foi diminuída em detrimento a um processo avaliativo homogêneo em relação às outras disciplinas escolares. Megid-Neto e Fracalanza (2003) fazem as seguintes afirmações (p. 165) a respeito das obras didáticas de Ciências atuais:

1. Naturalizam equívocos, estereótipos e mitos sobre o conhecimento científico.
2. Elas “mantêm uma estrutura programática e teórico-metodológica mais próximas das orientações curriculares veiculadas nos anos 60 e 70”, refletindo uma incapacidade de materializar mais de uma década de mudanças de princípios educacionais discutidos em âmbito acadêmico e dos programas curriculares oficiais.
3. Não houve mudanças significativas quanto ao conhecimento científico veiculado nos livros didáticos, de forma que esses materiais privilegiam o produto final da Ciência, originado de um único processo de produção científica (o método empírico-indutivo).

O guia trienal de livros didáticos de Ciências do PNLD do período de 2011-2013 (BRASIL, 2010) tem como objetivo recomendar e orientar a escolha de um livro didático, por meio de comentários da equipe avaliadora sobre a estrutura e os aspectos conceituais, metodológicos e éticos. O guia também explica resumidamente como foi o

processo de avaliação e os principais critérios utilizados, tais como conteúdo, proposta pedagógica, projeto gráfico e manual do professor.

Quanto aos aspectos positivos comunicados pelos autores do guia do PNLD, eles afirmam que de um modo geral as onze obras didáticas aprovadas permitem a sua utilização pelos alunos e professores, desde que os professores considerem que há variabilidade na qualidade geral, embora todas tenham alcançado os critérios mínimos (BRASIL, 2010, p.19). A ficha de avaliação, que visaria unificar o “olhar” de cada avaliador em torno das diversas coleções, foi organizada em torno de seis características gerais de análise, apresentadas no guia (BRASIL, 2010, p. 21-26).

3. PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

3.1 A relevância da HFC e o estudo da célula no ensino.

Ainda que a biologia celular contemporânea tenha se tornado muito técnica, de forma que um reduzido número de especialistas seja capaz de entendê-la profundamente, os conceitos básicos podem ser ensinados de maneira qualitativa ou através de analogias. Especificamente sobre célula, os PCN (BRASIL, 1998) orientam: “Não tem significado para os estudantes do terceiro ciclo estudar funções e estruturas internas da célula, mas sim seu papel como componente fundamental dos tecidos de um modo geral.” (p. 75). No quarto ciclo, os PCN orientam que “uma aproximação ao conceito de célula pode ser sistematizada neste ciclo, associando-se conhecimentos de vários estudos.” (BRASIL, 1998, p. 102). Entretanto, não há nenhuma menção ao contexto da história do descobrimento das células.

Mas afinal, para que estudar a história do descobrimento da célula? Por que queremos saber sobre o que aconteceu há centenas de anos? O ensino de história da ciência não pode ser justificado com argumentos exclusivamente utilitaristas, como a utilização prática no dia a dia, ou como forma de preparar o indivíduo para o mercado de trabalho.

Em relação à essa questão, Gooday (2008) argumenta que a exposição à história da ciência ajuda os estudantes a entenderem a ciência como uma carreira na qual se pensa, se questiona e se exploram os conceitos de diferentes assuntos, o que permite que entendam como a ciência funciona e é conduzida. O autor também acredita que a história da ciência fornece importantes formas de conhecimento e entendimento desta, que não podem ser obtidas efetivamente por outras maneiras. Assim como Martins (2006) e Prestes (2011), afirmam que ao se entender a ciência como um processo de contínua inovação, isso favoreceria as expectativas dos estudantes para contribuir para sua mudança, pois assim conseguiriam perceber mais facilmente a incompletude e falibilidade de modelos e teorias que terão que descartar regularmente ao longo de sua carreira. Finalmente, Gooday (2008) considera que, em ao menos uma

área específica do ensino de ciências, o uso de sua história mostrou benefícios: o ensino de evolução. Entretanto, contemporiza afirmando que é necessário se produzirem mais evidências da eficácia educacional do pensamento histórico sobre a ciência.

Os PCN propõem algumas competências e habilidades que o ensino de ciências deve buscar desenvolver nos alunos, dentre as quais está uma diretamente relacionada à história e filosofia da ciência (HFC): “reconhecer que a humanidade sempre se envolveu com o conhecimento da natureza e que a Ciência, uma forma de desenvolver este conhecimento, relaciona-se com outras atividades humanas.” (BRASIL, 1998, p. 60). Segundo Martins (2007), a biologia nos força a examinar nossas crenças mais profundas. Um de seus papéis no ensino é propiciar aos jovens o contato com a visão de mundo científica, que envolve conhecer um conjunto de descrições e explicações a respeito do universo e da posição do homem no mesmo.

Myrian Krasilchik (2008) afirma que “a falta de integração intradisciplinar é fonte de grandes dificuldades no aprendizado da biologia. O conteúdo é apresentado dividido em compartimentos estanques, sem propiciar aos alunos oportunidades de sintetizar e dar coerência ao conjunto.” (KRASYLCHIK, 2008, p. 50) . A autora, dentre outros exemplos, cita o caso da biologia celular, que é um segmento do curso que aparenta se encerrar em si mesmo, sem que, ao analisar a fisiologia no nível de organização do organismo, os alunos tenham oportunidade de relacioná-lo com o nível celular. Por fim, ela lembra que cabe ao professor mostrar as relações entre os vários conceitos e fenômenos, de modo que estes formem um quadro conexo, com os professores construindo um quadro de referência, de modo a orientar os alunos a construírem os seus.

3.2 Justificativa da HFC no ensino.

Como visto, apesar de vários autores defenderem a presença da HFC nas salas de aula dos diversos níveis de ensino, ainda é pequena a presença desses conteúdos nas escolas. Segundo Fracalanza e Megid-Neto (2006), algumas das razões para isso são as mesmas que afetam o ensino em geral: os baixos salários dos professores, alunos com graves problemas que afetam seu desempenho escolar, a precariedade de

infra-estrutura de muitas escolas públicas, as salas de aula com grande número de alunos e a necessidade de cumprir o conteúdo previsto nos currículos. Também acreditamos que estes sejam os problemas mais urgentes a ser enfrentados no ensino. Entretanto, além destes problemas, podemos citar que há falta de preparo dos professores em relação aos conteúdos e formas de ensinar utilizando a HFC, quanto em relação ao ensino de conteúdos de biologia celular. Martins (2006) também lembra que há poucos professores com formação adequada na área de HFC trabalhando no ensino fundamental e médio.

Por outro lado, enfatizar excessivamente esses problemas pode levar a uma perspectiva passiva e improdutiva. Tendo em vista a existência destes obstáculos, nesta pesquisa buscamos contribuir para a superação de algumas destas dificuldades na formação inicial de professores de ciências. Neste trabalho vemos a HFC como uma forma de contextualizar as discussões a respeito da natureza da ciência e também como uma estratégia didática para ensinar biologia celular. Portanto, esta pesquisa visa estudar aspectos da história do descobrimento da célula desde o século XVII, buscando questões sobre a natureza da ciência que possam ser inseridas nas salas de aulas, dentro ou conjuntamente com os livros didáticos. Assim, são importantes exemplos de episódios históricos em seu contexto social, sem os quais, como já dissemos, a natureza da ciência e de sua história se restringiria à memorização de fatos e datas (MARTINS, 2006, p. 31).

3.3 Metodologia do levantamento de trabalhos de interesse histórico

Como forma de contextualizar o problema dessa pesquisa, fizemos uma revisão bibliográfica seguindo a metodologia proposta por Alves-Mazzotti e Gewandsnajer (2002), iniciando pelas publicações mais recentes (artigos e revisões) e, a partir destes, buscamos outros citados nas respectivas bibliografias. Em seguida, complementamos essas revisões com obras de referência em biologia celular e HFC. Em alguns episódios históricos, foram revisados inclusive os artigos e livros originais dos autores.

Com o intuito de encontrar trabalhos que fornecessem elementos a respeito da história do descobrimento da célula, construiu-se a metodologia de pesquisa de revisão bibliográfica descrita a seguir.

Primeiramente, procurou-se sistematizar critérios de seleção, processo esse que resultou em um total de três critérios básicos:

a) Trabalhos que fizessem uma revisão bibliográfica de algum episódio específico da história do descobrimento da célula, contextualizando sua importância na atualidade.

b) Trabalhos que fizessem revisão histórica sobre alguma descoberta tecnológica relacionada ao estudo das células e suas estruturas

c) Trabalhos de cunho educacional, com fins de divulgação de episódios de história da ciência e/ou biologia para o ensino.

Tal conjunto de critérios de seleção levantou cerca de 26 livros e 58 artigos nesta investigação. Através desta revisão, estabelecemos uma linha do tempo histórica, descrita no Apêndice 1, a qual se inicia na primeira utilização do termo *célula* por Robert Hooke (1665) e na visualização dos primeiros micro-organismos por Antoni van Leeuwenhoek em 1673, até chegarmos aos avanços mais recentes da área da biologia sintética, tais como a criação de uma célula artificial por Gibson *et al.* (2010) utilizando-se um genoma inteiramente criado em computador.

3.4 Metodologia de análise das coleções didáticas do PNLD

Há diversos aspectos relevantes sobre o tema “Célula” que foram investigados até o presente momento, tais como: as concepções prévias dos alunos, as concepções dos professores, as estratégias de ensino, as mudanças conceituais dos alunos durante o processo de ensino e aprendizagem, entre outros. Entretanto nesta investigação optou-se por responder a pergunta: ***Como o estudo da célula e da história de seu descobrimento e desenvolvimento são apresentados nos livros didáticos de Ciências avaliados e recomendados pelo Programa Nacional de Livro Didático 2011?***

Buscando responder esta questão, utilizamos o item 16 do guia do PNLD - Ciências 2011, presente no critério geral *Proposta Pedagógica*, o qual, dentre os 44 itens do guia, avalia especificamente a questão da historicidade das coleções didáticas através do seguinte questionamento:

“A coleção evidencia a historicidade do conhecimento científico, considerando que novas teorias e conhecimentos têm múltiplas autorias e se concretizam em contextos históricos?” (BRASIL, 2010, p. 22)

Como *corpus* de análise desta pesquisa, selecionamos as duas coleções didáticas melhor avaliadas (ANEXO 1) no contexto do item 16 do Guia do PNLD, além da coleção didática mais vendida nesse período, segundo dados do Fundo Nacional para o desenvolvimento da Educação (FNDE). Estas coleções se encontram descritas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Lista das três obras didáticas avaliadas pelo PNLD 2011 e escolhidas para a pesquisa.

Título da Coleção	Autores	Ano e Edição	Editora
Ciências	Carlos Barros Wilson Paulino	2010, 6ª edição	Ática
Ciências Naturais	Olga Santana Aníbal Fonseca Erika Mozena	2010, 3ª edição	Saraiva
Construindo Consciências	Carmen Maria de Caro Helder de Figueiredo e Paula Mairy Barbosa Loureiro dos Santos Maria Emília Caixeta de Castro Lima Nilma Soares da Silva Orlando Gomes de Aguiar Júnior Ruth Schmitz de Castro Selma Ambrosina de Moura Braga	2010, 2ª edição	FTD

Objetivou-se assim:

- Reconstruir uma breve história do desenvolvimento do conhecimento sobre as células.
- Descrever e analisar a estrutura e o padrão de distribuição do conteúdo sobre células dentre os livros didáticos de Ciências avaliados e recomendados pelo PNLD 2011, destacando as características e propriedades das células.
- Descrever e analisar as unidades e/ou capítulos específicos dessas obras didáticas que tratem a história do descobrimento e desenvolvimento da célula como objeto de estudo.
- Identificar o tipo de abordagem histórica (internalista ou externalista/social) presente nessas unidades e/ou capítulos, se houver.
- Comparar as análises realizadas sobre a abordagem de célula nas coleções didáticas com as respectivas resenhas do Guia do PNLD 2011.

3.4.1 Definição das unidades de análise

Segundo Oliveira (2003), a análise de conteúdo é um instrumento de análise interpretativa, e uma das técnicas de pesquisa mais antigas, remontando os primórdios de sua utilização a 1787 nos Estados Unidos, e emergindo como método de estudo na década de 1920, com o desenvolvimento das Ciências Sociais.

O termo análise de conteúdo, segundo Bardin (2004, p 37) é: *Um conjunto de técnicas de análise de comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens*”. Portanto, a abordagem de análise de conteúdo tem por finalidade, a partir de um conjunto de técnicas, explicar e sistematizar o conteúdo da mensagem e o significado desse conteúdo, tendo como referência sua origem (no caso o livro didático) e o contexto da mensagem.

Após uma leitura flutuante do *corpus* dessa análise, optamos por definir o termo *célula* como unidade de registro pertinente a esta pesquisa. Uma vez definida esta unidade de registro, procedemos conforme descreve Oliveira et al. (2003), por reconhecimento desta unidade, buscando situá-las nos textos dos livros didáticos.

Como um dos objetivos desta pesquisa, buscamos analisar quantitativamente como esta unidade aparece ao longo das unidades e capítulos dos livros didáticos.

Para esta análise também foram consideradas as derivações do termo *célula*, tais como *celular*, *unicelular*, *pluricelular*, *intercelular*, *extracelular* e *intracelular*. Além disso, ao se fazer as análises dos livros desta coleção didática, também foram considerados os títulos, tabelas e legendas de figuras, por se considerar que estes também fazem parte do texto.

Como unidade de contexto, utilizamos os capítulos e unidades dos livros didáticos que, conforme Franco (2005) afirma, são consideradas como unidades básicas para a codificação das unidades de registro, essenciais para a compreensão do significado exato da unidade de registro.

Portanto, como afirma Oliveira (2003), o objetivo da análise de conteúdo é fornecer indicadores úteis aos objetivos da pesquisa. Mesmo sendo imperfeita, a interpretação baseada em frequências é um modo de definir o conteúdo relacionado a determinado assunto e se configura como um procedimento confiável para atingir as linhas mestras de um texto. Podemos assim interpretar os resultados obtidos relacionando-os ao próprio contexto de produção dos livros didáticos e aos objetivos dos indivíduos ou instituições que os elaboraram.

3.4.2 Definição das categorias de análise

Optamos por utilizar categorias criadas *a priori*, que segundo Franco (2005) são predeterminadas em função da busca a uma resposta específica do investigador. O primeiro objetivo foi quantificar o padrão de distribuição das unidades de registro entre os quatro livros de cada coleção didática. Para isso, iniciou-se uma análise exploratória do conteúdo do livro do aluno, comum a professores e alunos, desconsiderando-se o manual do professor. Nesses materiais foi possível analisar diferentes recursos gráficos e textuais, os quais constituem o texto principal; intertextos de outros autores, geralmente apresentados como leitura suplementar; e caixas de texto curto, que têm como função complementar o texto principal através de informações adicionais, ou mesmo exercícios e atividades propostas.

O segundo objetivo foi descrever as unidades e/ou capítulos específicos destas obras didáticas que tratem a história do descobrimento da célula como objeto de estudo, por meio da identificação das categorias e os respectivos conteúdos. Consideraram-se na análise apenas os textos e as figuras, com exceção das atividades e dos exercícios. Nesse sentido utilizamos as seguintes categorias:

→ **A célula em um contexto anatômico/fisiológico**, utilizada para descrever suas funções, tipos e diferenças, ciclo celular ou como parte de organismos pluricelulares.

→ **A célula em um contexto histórico**, relatando episódios da história de seu descobrimento e funções, episódios do descobrimento de suas organelas e suas funções, além de episódios relacionados à história da microscopia.

→ **Representações fotográficas de células**, utilizando ilustrações e fotomicrografias das células, através de diferentes técnicas de microscopia, explicitadas ou não nas coleções didáticas analisadas.

4. UMA BREVE HISTÓRIA DA CÉLULA

4.1 O surgimento da ciência moderna

A ideia de que todas as criaturas vivas, de bactérias a humanos, são feitas de células, é fundamental para a biologia. É a base dessa área da ciência. Entretanto, a história de como a humanidade veio a entender as células é raramente contada. Essa história tem a ver com o próprio mistério de como é, e como surgiu a vida. E por isso é talvez a mais poderosa história dessa ciência pois, segundo Braga *et al.* (2010), desde a Antiguidade diversos pensadores já haviam escrito sobre o tema. Aristóteles, por exemplo, reconhecia que a maior parte dos seres vivos originava-se de outros seres vivos, mas admitia também a possibilidade da “geração espontânea”, ou seja, de surgir vida a partir de matéria inanimada.

Segundo os mesmos autores, a ciência moderna não surgiu por acaso na Europa, pois durante o período entre os séculos XV e XVII, esse continente passou por uma transformação sem precedentes em sua história. No campo filosófico, o interesse pela teologia perdeu terreno para os estudos de filosofia natural - que posteriormente seria chamada de ciência moderna - a qual, com métodos próprios de investigação, introduziu na Europa um novo olhar sobre o mundo.

A utilização da matemática e da experimentação deu outro caráter à ciência que se estabelecia no século XVII, pois fornecia bases completamente diferentes das anteriores para o estudo da natureza. Os conhecimentos teóricos e práticos, antes desvinculados, começaram a se relacionar no processo de construção da ciência moderna. Nesse processo, o uso de instrumentos na investigação da natureza e do livro impresso para a divulgação de novos conhecimentos foram fatores que contribuíram para delinear o perfil dessa nova ciência (BELTRAN, 2010).

A partir do século XVII, a ciência passou a servir-se de aparatos e instrumentos que viriam a se tornar não somente mediadores entre a natureza e o homem, mas também condição essencial na construção do conhecimento científico. Nesse contexto é que diversos instrumentos, como a bússola, relógio, a luneta e o microscópio foram desenvolvidos. Embora estudos de óptica, realizados na Idade Média, já permitissem o

conhecimento das propriedades de ampliação das lentes, foi somente a partir do século XVII que os filósofos naturais começaram a utilizar o microscópio na observação de fenômenos (BRAGA, 2010; BELTRAN, 2010).

Naquele mesmo período, as imagens incorporadas ao livro impresso passaram a ser valorizadas como forma de registro e transmissão de informações visuais. Além disso, a crescente presença de imagens impressas em textos sobre a natureza e as artes contribuíram para estabelecer padrões de linguagem visual. Dessa forma, pode-se notar que instrumentos e imagens, produtos do trabalho artesanal, tornaram-se parte representativa das propostas de novas formas de elaboração de conhecimentos sobre a natureza e as artes. Se por um lado, estava surgindo uma enorme quantidade de “verdades” oriundas de uma busca cada vez maior pelo saber científico, por outro lado, o conhecimento prático dos artesões, outrora desprezado, era cada vez mais valorizado e reconhecido pela sociedade. Esta atitude aproximou as ideias entre o saber científico e o saber técnico em quase todas as áreas do conhecimento (BELTRAN, 2010).

Ao final do século XVI e início do século XVII houve um crescente interesse do Estado pela ciência (RONAN, 2001). As novas relações econômicas estabelecidas pelo grande desenvolvimento comercial, o projeto de expansão atlântica e as novas técnicas dos artistas do Renascimento foram algumas das engrenagens que se relacionaram de maneira bastante próxima com a construção da ciência moderna na Europa. Entretanto, no campo da educação formal, as tradicionais instituições universitárias ainda estavam impregnadas das velhas ideias, o que tornava difícil renová-las por dentro. Era necessário construir novas instituições que permitissem o encontro e o diálogo dos adeptos da nova ciência (BRAGA, 2010)

Portanto, a partir do início do século XVII começaram a ser fundadas as sociedades científicas em diversos países da Europa. A princípio eram confrarias de amigos que promoviam reuniões de interessados no novo saber, sem muitos compromissos formais. Assim, na França, surgiu a *Académie des Sciences* em 1666, na Itália a *Accademia del Cimento* em 1657 e na Inglaterra a *Royal Society* em 1662 (RONAN, 2001). Com o tempo as academias foram ganhando importância social e política e passaram a dinamizar as suas tarefas, transformando-se em polos de difusão da produção e organização de conhecimentos (BRAGA, 2010).

Apesar do nome, a *Royal Society* não recebia nenhum financiamento do governo. Todos os gastos eram bancados pelos próprios associados. A tradição empírica britânica concedeu à instituição o caráter de dedicação à ciência experimental. Sendo assim, seus associados reuniam-se para discussões que invariavelmente levavam à elaboração de experimentos. Com o tempo a *Royal Society* passou a realizar experimentos públicos e palestras, com o intuito de aumentar o interesse da população pelo saber científico (BRAGA, 2010). Nesse contexto, a *Royal Society* inventou a publicação científica e o *peer review*, além de ter sido a principal responsável em tornar a língua inglesa como a principal língua no discurso científico, no lugar do Latim. Também sistematizou a experimentação e a clareza na linguagem. Logo no início, os membros dessa sociedade se interessaram por diversos assuntos, como o manejo de florestas, comportamento dos gases, desenvolvimento do relógio de bolso e, claro, a microscopia (BRYSON, 2010).

Em 1666, a cidade de Londres, recém saída da peste que durou dois anos e que matou 75 mil de seus 460 mil habitantes, sofreu um grave incêndio (figura 1), que havia iniciado em uma padaria e que se propagou durante 4 dias, destruindo mais de 13 mil casas (BBC, 2011). Entretanto na história da ciência, esse foi um período de grandes descobertas. É nesse período histórico que iremos estabelecer o início da história do descobrimento da célula.



Figura 1: Detalhe do grande incêndio de Londres representando o fogo como seria na noite de 4 de setembro de 1666, visto de um barco nas proximidades da Torre Wharf (Fonte : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Great_Fire_London.jpg)

4.2 Os pioneiros: Robert Hooke e Antoni van Leeuwenhoek.

O nosso ponto de partida será em setembro de 1674, quando uma bolsa havia chegado à *Royal Society* de Londres, viajando por 5 dias pelos mares do norte por navio e depois a cavalo, desde a Holanda. Dentro dessa bolsa haviam cartas, escritas por Antoni Van Leeuwenhoek, um comerciante de tecidos com interesse por lentes nas suas horas vagas, e que havia desenhado o mais poderoso microscópio desde então (RONAN, 2001). Nestas cartas, ele descrevia milhares de *animálculos* (que hoje conhecemos como protozoários) que se movimentavam na água, tão pequenos que, segundo Leeuwenhoek, poderia colocar “um milhão deles em uma gota d’água” (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006). Os desenhos desses *animálculos* (fig. 2) vieram em cartas posteriores à *Royal Society*.

Os cientistas da *Royal Society* já tinham seus próprios microscópios³ que já existiam desde o começo do século XVII (BRYSON, 2011). Porém nunca tinham visto esses *animálculos* que Leeuwenhoek afirmava ter descoberto, e por isso suspeitaram inicialmente das suas afirmações. Isso porque Leeuwenhoek não era um cientista, e sim um comerciante que usava lentes para inspecionar os tecidos que vendia, e a Holanda era pioneira na fabricação dessas lentes (SERAFINI, 1993).

Antoni van Leeuwenhoek viveu até os 91 anos, tendo nascido em 1632 e morrido em 1723. Embora não tivesse uma boa formação acadêmica, era respeitado como homem de integridade entre os cidadãos de Delft, especialmente entre os governantes (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006). Devido a seu trabalho como lojista ser pouco exigente, isso lhe permitia ter bastante tempo livre para fabricar os seus próprios microscópios e escrever cartas para a *Royal Society*. Com isso, ele se tornou um obcecado por lentes, fabricando suas próprias lentes e usando-as em seus microscópios. Leeuwenhoek sabia que a curvatura de uma lente fazia a luz mudar o ângulo através dela, fazendo com que o objeto observado pareça ser maior. E pelo fato de ser um mestre artesão, ele podia curvar a lente melhor que qualquer outro, quase ao ponto de ser esférica (fig. 3), o que permitia aumentar os objetos em até 300 vezes

³ Os primeiros microscópios provavelmente foram criados pelos holandeses fabricantes de óculos Hans e Zacharias Jansen em 1595, embora não hajam registros de observações que tenham sido feitas usando o aparelho desenvolvido por eles. (Fonte: ROSENTHAL, 2009)

(MARTINS, 2006; CROFT, 2006). Com isso Leeuwenhoek pôde observar de tudo, de pulgas a ferrão de abelhas, mas foi o que ele viu dentro da água de um lago perto de onde vivia que chamou sua atenção.

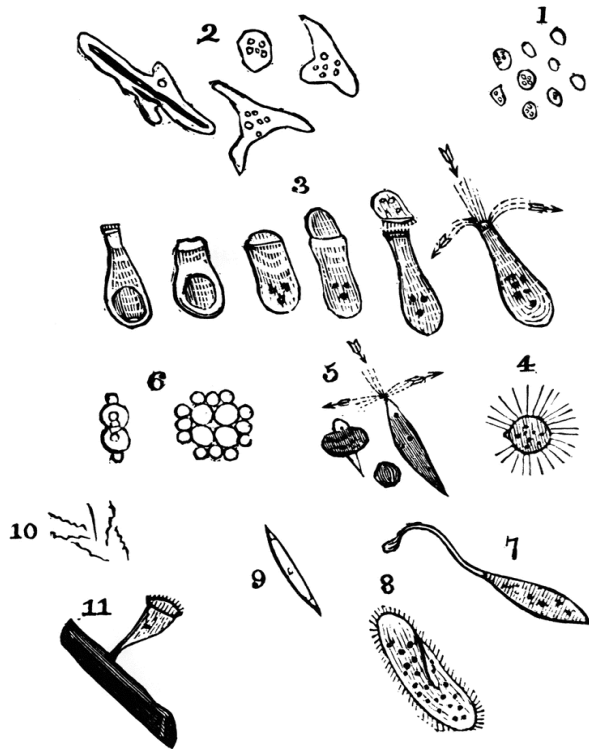


Figura 2: Animálculos de Leeuwenhoek

(Fonte: <http://leeuwenhoek.wordpress.com/tag/bacteria/>)

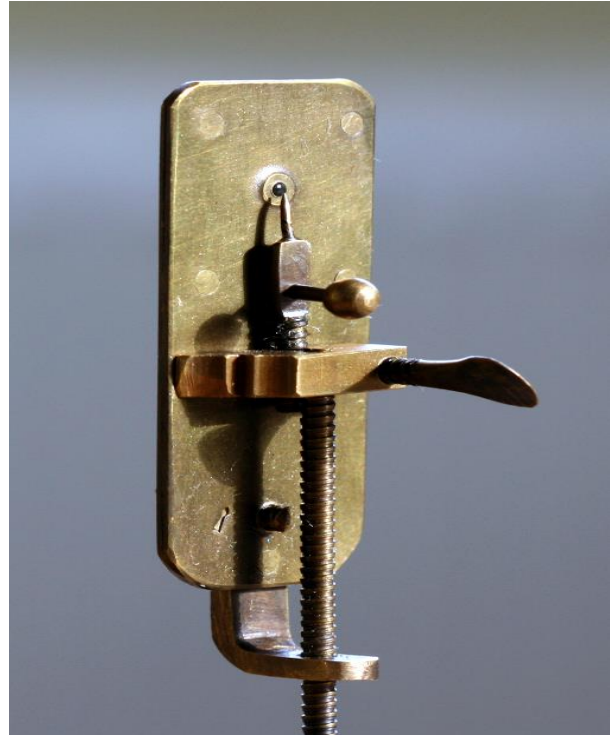


Figura 3: Microscópio de Leeuwenhoek

(Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Antonie_van_Leeuwenhoek)

Até a época de Van Leeuwenhoek, aparentemente ninguém havia tido a curiosidade de observar e relatar o que havia dentro da água. Ele construiu cerca de 250 microscópios durante mais de 50 anos de sua vida (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006), mas não contou a ninguém como os fazia:

*“My method for seeing the very smallest animalcules I do not impart to others; nor how to see very many animalcules at one time. This I keep for myself alone.”*⁴ (Carta à Royal Society, 1676).

Leeuwenhoek foi provavelmente a primeira pessoa a ver células vivas individualmente, seres vivos que hoje chamamos *unicelulares*. Ele temia ser ignorado em suas descobertas, justamente por não ser um cientista, e por isso enviou suas

⁴ Meu método para ver os menores animálculos eu não transmito aos outros, nem como ver muitos animálculos ao mesmo tempo. Isto eu guardo só para mim. (Tradução livre)

anotações à *Royal Society*. Os membros da Sociedade foram bastante céticos a respeito dessas anotações, mesmo assim as entregaram ao curador de experimentos da *Royal Society*, Robert Hooke (GEST, 2004). Quase uma década antes, Hooke havia desenhado seu próprio microscópio fazendo suas próprias descobertas. Esse livro, o *Micrographia* (1665), foi um dos mais importantes para o início da Biologia, não somente pelo que ele viu, mas também por como ele descreveu e desenhou suas observações. Foi o primeiro livro escrito sobre microscopia.

Robert Hooke começou a desenvolver seu microscópio composto em 1660. A versão final ilustrada no *Micrographia* contém apenas duas lentes, uma objetiva menor, plano-convexa, virada para o objeto, e uma ocular maior plano convexa virada para o olho. O tubo contendo as duas lentes era preenchido com água para aumentar a claridade. Hooke tentou utilizar uma terceira lente entre a objetiva e a ocular, mas percebeu que isso produzia muita dispersão de luz (HARRIS, 2000). O seu interesse não era especificamente biológico, e sim microscópico. Ele observou todo tipo de coisa ao microscópio, como fios de seda, areia, vidro e carvão. Porém, muitas das 60 observações descritas no livro são de objetos biológicos.

Os desenhos do *Micrographia* já o tornam especial, pois o livro possui excelentes ilustrações, devido ao dom artístico de Hooke em transformar imagens confusas produzidas em seu microscópio em belas figuras nítidas e convincentes (MARTINS, 2011). Vários desenhos, como os de um piolho e de uma pulga (fig. 4), são extremamente detalhados e bem feitos, de um ponto de vista artístico, dando a impressão de estarmos vendo um objeto tridimensional. Mesmo com os melhores microscópios ópticos atuais é impossível chegar ao nível de nitidez e detalhamento obtido por Hooke em seus desenhos, e portanto isso exigiu um enorme talento e dedicação na execução destes por parte de Hooke (MARTINS, 2011).



Figura 4: Ilustração de pulga no *Micrographia*
(Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke)

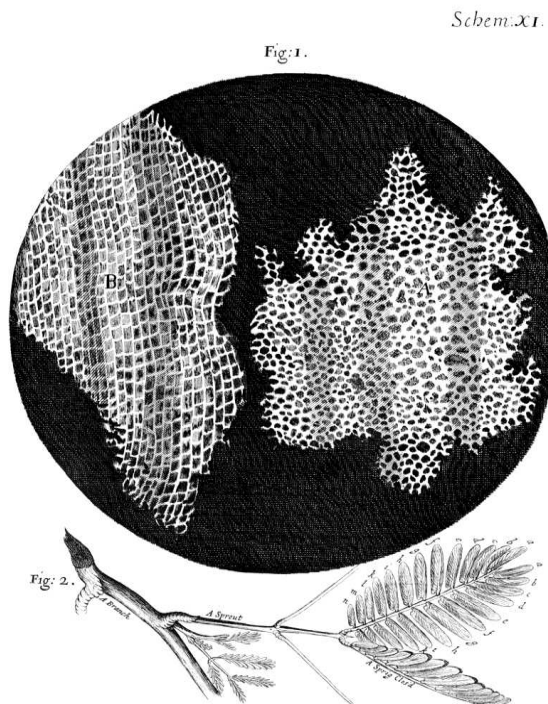


Figura 5: As células de cortiça observadas por Hooke
(Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke)

Porém, foi a terminologia usada nesse livro que o tornou um ponto de referência em ciência, pois foi ao observar cortiça (Fig. 5) que Hooke cunhou o termo *cell* (célula, em português) para as unidades individuais que fazem a estrutura da cortiça:

*“Partitions of those pores were near as thin in proportion to their pores as those thin films of wax in a honeycomb, which enclose and constitute the hexangular **cells**. Next, these pores or **cells** were not very deep, but consisted of a great many little boxes”*⁵ (HOOKE, R. *Micrographia*, p. 563).

Entretanto, em 1664, Hooke pensava que estava vendo algo totalmente diferente: Canais ou tubos estreitos que levavam a seiva para cima ou para baixo da planta. E em lugar algum do seu livro Hooke descreve os *animálculos* que Van Leeuwenhoek havia descrito, porque Hooke jamais os havia visto (GEST, 2004). Portanto Hooke decidiu ele mesmo colher amostras do Rio Tâmis e observá-las, mas não encontrou nada. E por isso fez o seguinte comentário acerca do ocorrido:

⁵ “Partições desses poros eram tão finas na proporção de seus poros como os filmes finos de cera em um favo de mel, que encerram e constituem as células hexangulares. Além disso, esses poros ou células não eram muito profundos, mas consistiam em um grande número de pequenas caixas” (Tradução livre).

*"I concluded, therefore, that either my microscope was not so good as the one he made use of, or that Holland might be more proper for the production of such little creatures than England."*⁶ (Carta à Royal Society, 5 de outubro de 1677)

Porém, Hooke não se deu por vencido, e após outras tentativas, aumentando a quantidade de luz no microscópio e a ampliação, finalmente os viu pela primeira vez. Leeuwenhoek estava certo o tempo todo. Em 1680, a Royal Society fez dele um associado (GEST, 2004), formalmente o declarando como descobridor desses "pequenos animais". Entretanto, apesar da empolgação de todos, ninguém sabia o que esses animálculos realmente eram. O que perceberam, pela primeira vez, era que havia mais vida do que nossos olhos podiam enxergar, um novo reino de criaturas minúsculas cuja existência nunca haviam antes imaginado. O mundo natural não era como parecia.

Apesar do reconhecimento, Leeuwenhoek decidiu não ficar parado e usou seu microscópio para investigar seu próprio corpo, observando a placa dentária dos seus dentes, encontrando uma variedade nova de *animálculos*, que hoje conhecemos como bactérias, e até uma gota de seu próprio sangue, encontrando pequenas estruturas vermelhas e arredondadas flutuando em um líquido, descrevendo-as como *Glóbulos*, as quais hoje chamamos de hemácias. Também foi a primeira pessoa a ver e desenhar o espermatozoide humano (fig. 6), outra grande descoberta, pois Leeuwenhoek fez a primeira ligação entre criaturas microscópicas e a criação de uma nova vida. (BRAGA, 2011).

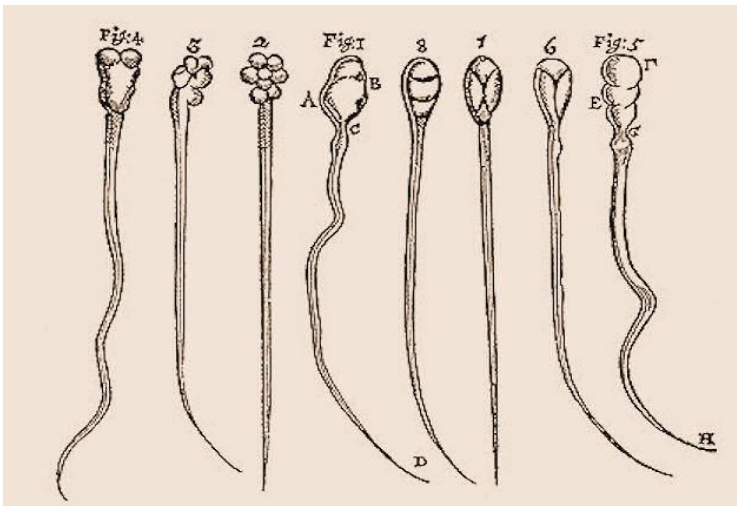


Fig.6 – Desenhos de espermatozoide de coelho (1 a 4) e de cachorro (5 a 8)
(Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/>)

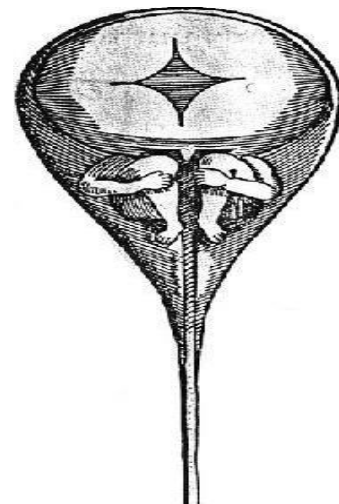


Fig.7 –homúnculo em espermatozoide humano
(Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Preformationism>)

⁶ Concluí, portanto, que ou o meu microscópio não era tão bom quanto o que utilizou, ou que a Holanda poderia ser mais propensa à produção de tais criaturas pequenas do que a Inglaterra" (Tradução livre).

Quando os primeiros microscopistas começaram a olhar os tecidos de seres vivos, eles já tinham a visão de que a matéria era um agregado mais ou menos uniforme de componentes microscópicos, e quando eles realmente viram células eles não tinham ideia do que elas eram (HARRIS, 2000). Embora hoje os cientistas modernos saibam que cada espermatozoide é uma célula individual que se combina com uma célula muito maior, o óvulo, e que essa fusão de células é o ponto de partida para o início de uma nova vida, Leeuwenhoek não tinha a menor ideia disso, e acreditava na teoria pré-formista que tinha como base a ideia que cada espermatozoide continha um pequeno homem que, uma vez dentro do útero, se transformaria em um bebê (BRAGA et al., 2010). Leeuwenhoek nunca viu esse homúnculo, mas à época outros, como seu aluno Nicolaas Hartsoeker, fizeram imagens detalhadas dele, como a que se vê na figura 7.

Pelo visto, a imaginação dos pioneiros da microscopia excedia sua tecnologia. É fácil se esquecer da época e lugar nos quais cientistas como Leeuwenhoek e Hooke viveram, porém nesse período a ideia da criação da vida era algo ainda muito misterioso. Muitos filósofos naturais por exemplo, acreditavam que a vida se originava por geração espontânea, assim, por exemplo, os crocodilos viriam de troncos apodrecidos e as moscas surgiriam da carcaça de bois. Para nós, essas ideias parecem absurdas hoje, mas perduraram por um grande tempo. A geração espontânea foi um obstáculo ao avanço dos estudos da biologia celular. Isso porque não era uma ideia louca, pois cientistas famosos, como o alquimista belga Jan Baptist Van Helmont, um dos primeiros a estudar experimentalmente a nutrição de vegetais, apoiavam a teoria da geração espontânea (BRACK, 1998). Talvez por causa disso, ninguém à época fez a conexão entre as descobertas que Hooke e Leeuwenhoek fizeram com a origem da vida. Por mais de cem anos o estudo das células esteve ligado a esse pensamento. E seriam necessários pioneiros com a visão e a tecnologia necessária para mergulhar mais profundamente no mundo da célula.

4.2 Da descoberta do núcleo da célula à Teoria Celular

No começo do século XIX, o botânico escocês Robert Brown fez uma descoberta quase tão importante quanta a própria descoberta da célula. Ele havia sido naturalista

de uma expedição para a Austrália (BATISTETI, 2009), da qual retornou à Inglaterra em 1805 com mais de três mil espécies exóticas, incluindo orquídeas ainda não descritas, as quais estudou por vários anos, interessado em seu comportamento reprodutivo. Essa foi uma escolha de sorte, pois em geral as orquídeas possuem células maiores que de outras plantas (RUTHERFORD, 2010). Se não fosse por isso, Brown provavelmente não teria feito a descoberta que fez usando seu próprio microscópio (figura 8) no Jardim Botânico de Londres. Ele notou uma forma distinta dentro de cada célula (figura 8), a qual chamou de *núcleo* (MAZZARELLO, 1999). Essa foi sua descoberta pioneira, embora outros dissessem que o haviam visto (talvez até mesmo Hooke ou Leeuwenhoek). Porém, Robert Brown foi o primeiro a descrevê-lo e nomeá-lo apropriadamente e demonstrar sua presença em todas as células de plantas (BROWN & BENNETT, 1866). Provavelmente ele não entendia o papel do núcleo como o conhecemos hoje, mas à época o importante foi que ele afirmou que estava presente em todas as células. Mesmo após observar diversas outras plantas de outras espécies, encontrou o núcleo em todas elas. A ideia de que cada célula possui um núcleo veio de seu trabalho publicado em 1833.



Fig. 8 – Microscópio usado por Robert Brown
(Fonte: <http://www.brianjford.com/wbbrownb.htm>)

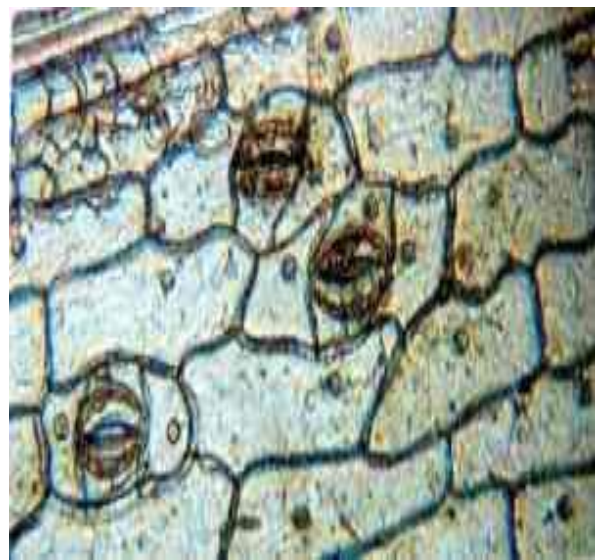


Fig.9 - Células de *Cymbidium*, vistas ao microscópio de Brown
(Fonte: <http://www.brianjford.com/wbbrownb.htm>)

Robert Brown também contribuiu grandemente para a teoria atômica através da descrição do *movimento browniano*, um conceito de grande importância na física teórica e que foi usado por Albert Einstein no século XX para demonstrar a existência do átomo

(FORD, 2009). Portanto Brown teve contribuições tanto na teoria atômica quanto no estudo das células, o que o coloca em uma posição de destaque na história da ciência⁷.

Em 1831 a descoberta do núcleo foi o avanço que permitiu demonstrar que as células poderiam ser comuns a todos os seres vivos, embora até aquele momento ninguém tivesse sugerido algo tão inovador. Portanto, para que a Biologia pudesse progredir, os cientistas teriam que construir um microscópio mais poderoso, porém isso não era mais possível com um microscópio de uma só lente, era tecnologicamente impossível.

Durante os dois primeiros séculos da microscopia, os usuários e fabricantes desses instrumentos confiaram totalmente em sua experiência e ofício, não em conhecimentos de óptica. Se observarmos o extraordinário trabalho feito pelos primeiros microscopistas da *Royal Society*, podemos perceber um conhecimento de física se desenvolvendo nesse processo, muito depois de muitas grandes descobertas microscópicas terem sido feitas (FORD, 2009). Joseph Jackson Lister, um mercador de vinho e físico amador, foi um desses microscopistas que aceitou o desafio de, em seu tempo livre, projetar um microscópio que fosse superior a todos os outros (RUTHERFORD, 2010).

Lister imaginou que precisaria de duas lentes, o que já havia sido tentado antes, aumentando a ampliação. Porém isso aumentava os problemas inerentes a todas as lentes. O mais incômodo desses problemas é conhecido como aberração cromática (figura 10), que causa uma imperfeição na reprodução das cores de uma imagem (MARTINS, 2011 & BATISTETI, 2009). Isso dificultava as observações porque a imagem observada aparecia com uma borda colorida. A engenhosidade de Lister foi a de descobrir que havia uma distância específica entre as 2 lentes na qual esses problemas eram minimizados (LISTER, 2008). Em 1830, após testar vários protótipos, Lister revelou e publicou seu novo design de um microscópio acromático (fig. 11). Pela primeira vez desde Leeuwenhoek, haviam os meios e o conhecimento para construírem-se microscópios mais poderosos, o que praticamente iria tornar os microscópios de lente única obsoletos. Agora os cientistas tinham as ferramentas para observar mais detalhadamente as células.

⁵ Fonte: <http://www.seara.ufc.br/especiais/fisica/brown/brown.htm>

O uso original do termo célula, por Hooke, já foi mencionado, mas o surgimento da teoria celular era uma tentativa de enfrentar a questão básica: o que é um organismo? Agora, uma vez inventado o microscópio acromático, as principais ideias podiam ser formuladas, e isso foi feito no encontro de um botânico, Matthias Schleiden, e um zoólogo, Theodor Schwann (RONAN, 2001).

Durante vários séculos, houve uma divisão profundamente enraizada entre a botânica e a zoologia, muito antes que a origem da teoria celular estruturasse a biologia. Portanto não surpreende que a teoria celular originasse de um encontro entre um botânico e um zoólogo. Entretanto, após esse evento, as pesquisas em plantas em animais permaneceram separadas em laboratórios de botânica e zoologia respectivamente, mesmo em estudos citológicos e histológicos (CLEMENT, 2007).



Fig. 10 – Comparação entre fotos com e sem aberração cromática. (Fonte: http://psychology.wikia.com/wiki/Chromatic_aberration)



Fig. 11 – Microscópio de 1830 fabricado por Joseph Lister. (Fonte: <http://www.antique-microscopes.com/photos/smith.htm>)

Em Berlim, Theodor Schwann conseguiria unir as duas partes da Biologia de então: Animal e Vegetal. Em meados do século XIX, a cidade era um centro europeu para o estudo da anatomia humana (RONAN, 2001), e a universidade atraía os melhores biólogos da época. Schwann obteve um cargo no prestigiado museu de anatomia da Universidade de Berlim. O campo da anatomia estava “um caos”, pois ninguém sabia do que humanos e animais eram feitos. Pesquisadores acreditavam que

eram construídos de diversas estruturas distintas, e nenhuma parecia ser mais importante que as outras. O estudo dos animais estava ficando atrasado em relação à botânica, e isso devia-se ao fato das células animais serem muito mais difíceis de se ver, o que alimentou a noção de que, de alguma maneira, o tecido animal era diferente dos tecidos das plantas, pois achavam que não haviam células nele (RUTHERFORD, 2010).

Porém à época surgiram novos corantes sintéticos, além de novas maneiras de tingir o tecido animal (HEINRICHS, 2009), das quais Schwann se utilizou, tendo à sua disposição um dos novos microscópios acromáticos de duas lentes. Ele encontrou a mesma estrutura globular em todas as diferentes amostras (figura 12). Hoje sabemos que Schwann estava observando células, mas na época os cientistas usavam diferentes termos para descrever o que estavam vendo, como *Körnchen*, *Kügelchen* e *Zellar* (RUTHERFORD, 2010). Eles não perceberam que estavam todos olhando a mesma coisa, e sem isso, não haviam feito a conexão, que hoje tomamos como corriqueira, em pensar que as células eram comuns a todas as formas de vida do planeta.

Isso mudou em Outubro de 1837, quando Schwann se encontrou com um colega, Matthias Schleiden, que também estudava células, entretanto eram células de plantas (RONAN, 2001). Esse encontro foi muito importante para a história da biologia, pois nenhum dos dois conhecia o trabalho do outro até o momento, e ambos estavam estudando o núcleo como maneira de identificar as células. Diz a lenda que Schleiden estava conversando e tomando café após um jantar com Schwann, quando ambos perceberam que os seus resultados tinham muito em comum. Após ambos irem ao laboratório de Schwann, descobriram que estavam olhando essencialmente a mesma coisa (MAZZARELLO, 1999). Ou seja, tudo que observavam era feito de células, as plantas de Schleiden e as amostras de animais de Schwann. Portanto ambos perceberam que, onde quer que houvesse vida, haveria células (figura 13). Schwann e Schleiden tiveram a ideia que unia toda a vida na Terra. Foram os fundadores da Teoria Celular.

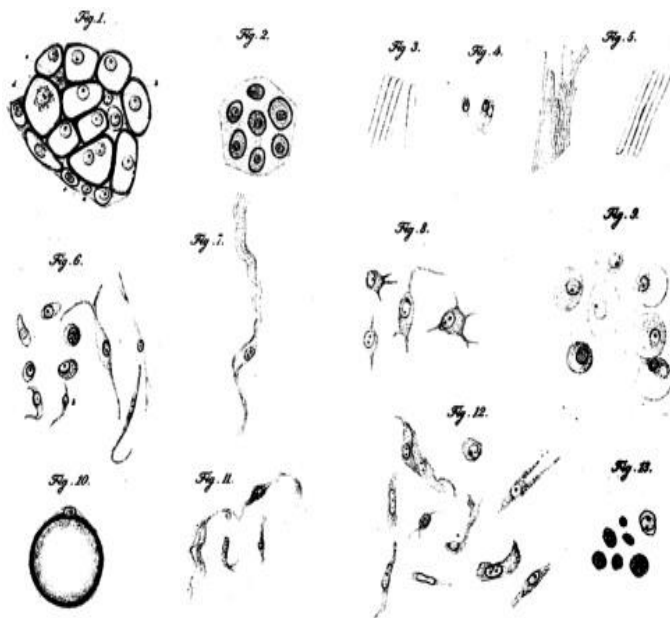


Fig. 12 – Estruturas celulares desenhadas por Schwann em 1839.
(Fonte: VASIL, 2008)

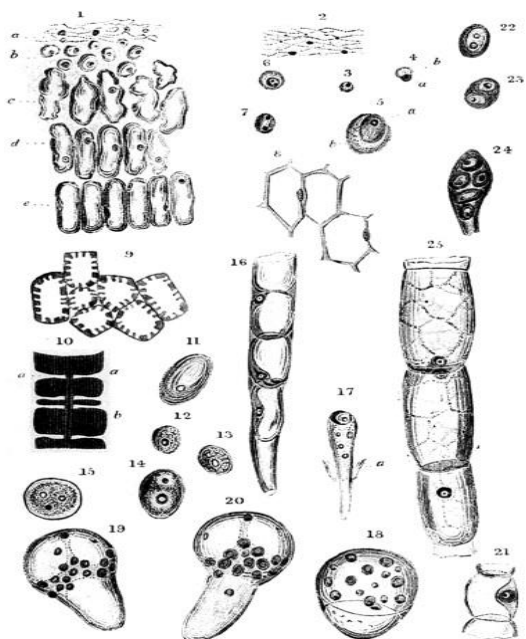


Fig. 13 - Desenhos de células do livro de Schleiden e Schwann. (Fonte: VASIL, 2008)

No ano seguinte, Schleiden e Schwann explicaram como células eram unidades auto-suficientes que poderiam trabalhar em conjunto para formar um organismo muito maior. A questão é que grande parte dessa teoria estava errada, pois ambos acreditavam que novas células se formavam espontaneamente, e cresciam como cristais de um ponto minúsculo do material nuclear, até mesmo afirmando ter visto isso ao microscópio (MAZZARELLO, 1999 & RONAN, 2001). Era como se novas células tivessem surgido do nada.

Essa ideia de formação das células era similar à teoria da geração espontânea. Nessa época, os biólogos já rejeitavam a ideia de que animais maiores poderiam surgir da matéria inanimada. Mas isso poderia acontecer com novas células e novos microorganismos? Ao que parecia, a ideia da geração espontânea ainda não havia acabado (RONAN, 2001). E isso parece ter conduzido a biologia a um beco sem saída por mais de uma década.

Em Paris, 1860, a *Académie des sciences* anunciou uma competição, oferecendo um prêmio para esclarecer a questão da geração espontânea de uma vez por todas. Pois eles sabiam que essa ideia estava travando o avanço da biologia (BRAGA, 2011). Um jovem cientista francês, Louis Pasteur, aceitou o desafio,

convencido que essa ideia era ultrapassada. Para isso, desenhou um frasco que permitiria que o ar entrasse, mas que mantivesse fora a poeira e os micróbios, o famoso frasco com pescoço de cisne, visto na figura 14. Os partidários da geração espontânea ainda assim estavam convencidos que mesmo com esse formato uma nova vida se formaria no frasco. Para testar quem estava certo, Pasteur fez 2 frascos contendo infusões estéreis, um deles com o pescoço de cisne, e outro com o pescoço aberto a partículas. Pasteur verificou que somente no frasco aberto ocorria a putrefação. Provou, em seguida, que uma infusão podia continuar esterilizada em um frasco pescoço de cisne aberto, contanto que seu gargalo fosse muito estreito e fosse inclinado para baixo. Com isso, demonstrou que novos micróbios devem ter entrado pela brisa, que não poderia funcionar para novos ratos, micróbios ou células. (RONAN, 2001).

Pasteur venceu o desafio, e declarou orgulhosamente, após, que a doutrina da geração espontânea nunca mais se recuperaria daquele simples experimento. Entretanto, o conceito de geração espontânea persistiu na cabeça de alguns investigadores até o aparecimento de estudos claros e definitivos sobre a natureza bacteriana das partículas do ar, realizados pelo físico inglês John Tyndall em 1877 (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

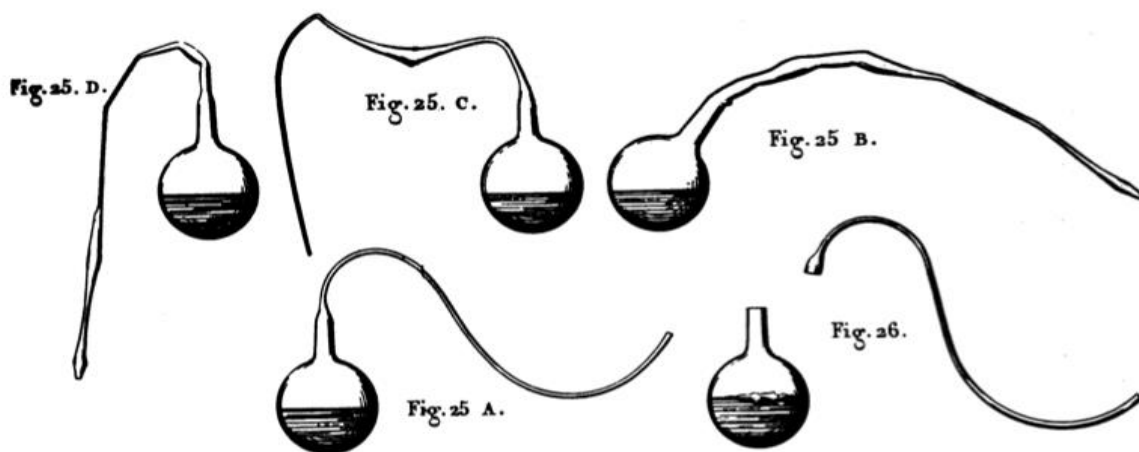


Fig. 14 – Desenhos de Louis Pasteur dos frascos de pescoço de cisne que ele utilizou em seu experimento. (Fonte: <http://www.visionlearning.com/en/library/Hidden/59/Experimentation-in-practice:/171>)

Em plena época da revolução industrial, uma nova geração de cientistas estava em busca de uma explicação funcional de como novas células surgiam, que não

dependia delas simplesmente surgindo de matéria inanimada. Essa questão já havia surgido antes mesmo do experimento de Pasteur, de dois colegas cientistas: Robert Remak e seu amigo Rudolf Virchow, que complementaram a teoria celular de Schleiden e Schwann. Porém, o que muitos não sabem é que o primeiro faria grande parte da pesquisa, enquanto o segundo levaria grande parte do crédito (RUTHERFORD, 2010).

Robert Remak nasceu em Posen, Polônia, em 1815, e morreu na Bavária, Alemanha, em 1865. Recebeu sua educação inicial na sua cidade natal mas, por uma série de razões pessoais, decidiu viver em Berlim por toda a sua vida profissional. Embora a cidade de Posen, incorporada pelo Estado Prussiano, tivesse sido submetida a um intenso programa de germanização, o sentimento nacionalista polonês manteve-se elevado, e encontrou expressão em uma série de movimentos políticos vigorosos. E Remak, apesar de ter residência permanente em Berlim, permaneceu leal à Polônia. Isso não lhe serviu bem nos círculos conservadores que então dominavam a faculdade de medicina na Universidade de Berlim. Tampouco lhe serviu bem ter participado de diversas organizações liberais, tanto dentro da universidade como fora dela. Mas os principais fatores que o impossibilitaram de atingir a carreira acadêmica que ele desejava foram, em primeiro lugar, o fato de ser um judeu que se recusava a converter-se ao cristianismo, e, em segundo, que ele tinha um temperamento irascível, que foi se agravando com o passar dos anos, por uma sequência de frustrações pessoais (HARRIS, 2000).

No momento em que Remak iniciava sua carreira acadêmica, nenhum judeu jamais tinha alcançado uma cátedra na universidade de Berlim, objetivo que ele havia estabelecido a si mesmo, e que lhe foi repetidamente negado até tarde na vida, e mesmo assim sem os benefícios usuais da titulação. Sua carreira como microscopista foi interrompida pela necessidade de ganhar um salário adequado, e a não obtenção de um posto estabelecido na universidade forçou-o à prática clínica, onde se especializou em neurologia (HARRIS, 2000).

Por volta de 1852, Remak tinha chegado à conclusão de que a única forma de multiplicação celular encontrada no corpo de animais seria por meio de fissão binária (HARRIS, 2000). Em seguida, Remak verificou a divisão celular em embriões de ovos de galinha, observando-os durante várias horas, podendo observar os diferentes

estágios da divisão celular em centenas de amostras de embriões, as quais retratou em sua publicação de 1855, na qual reafirma a sua posição e faz uma revisão de seu próprio trabalho experimental, com uma discussão detalhada da teoria celular proposta por Schleiden e Schwann. E prossegue explicando como sua própria pesquisa deixa claro que o óvulo é em si uma célula. Finalmente, Remak se compromete de forma inequívoca na ideia de que a multiplicação de células no corpo do animal é conduzida por fissão binária, o que foi embasado em observações bem documentadas (figura 15).

Isso entretanto não chamou a atenção de seu colega, Rudolf Virchow, que acreditava que isso era algo raro, restrito a células do sangue em embriões de galinhas (HARRIS, 2000). Por isso, Remak foi em busca de ovos de sapo, buscando verificar se, em todas as etapas de desenvolvimento desse organismo, haveria divisão celular. Nessa época, os cientistas já sabiam que a fertilização ocorria quando um espermatozoide e um óvulo se combinavam, mas desconheciam o que ocorria depois. Remak testemunhou a primeira divisão celular logo após o óvulo ser fertilizado, e as seguintes divisões, formando os diferentes tecidos do sapo e, eventualmente, o sapo inteiro. Sua teoria estava certa desde o início (RUTHERFORD, 2010).

Por isso, Remak é considerado um dos fundadores da embriologia, descobrindo como uma única célula de um sapo se transformava nas bilhões de células de um sapo inteiro. Esse foi um fenômeno que se mostrou comum em todo o mundo natural, demonstrando que células surgiam apenas de outras células. Por mais de uma década, Virchow não se convenceu da pesquisa de Remak, porém em 1855 ele teve uma reviravolta em seu pensamento e publicou todo o trabalho de Remak no seu livro *Cellularpathologie* (fig, 16), o qual o tornou famoso ao simplesmente clamar que a ideia de Remak era sua, sem dar-lhe o devido crédito (HARRIS, 2000; SILVER, 1987). Virchow até mesmo usou uma frase que se tornou célebre: *omnis cellula e cellula* (MAZZARELLO, 1999), ou seja: toda célula provém de outra célula.

Segundo Harris (2000), se houve um indivíduo que, acima de qualquer outro, foi responsável em trazer ordem à confusão que se encontrava o estudo das células animais, foi Robert Remak. Como vimos, ele não foi devidamente reconhecido em seu tempo, assim como não o é hoje em dia. Pois até hoje Virchow continua sendo

considerado pai dessa teoria nos livros-texto de biologia celular (ALBERTS, 2009), e Remak, colocado em segundo plano⁸.

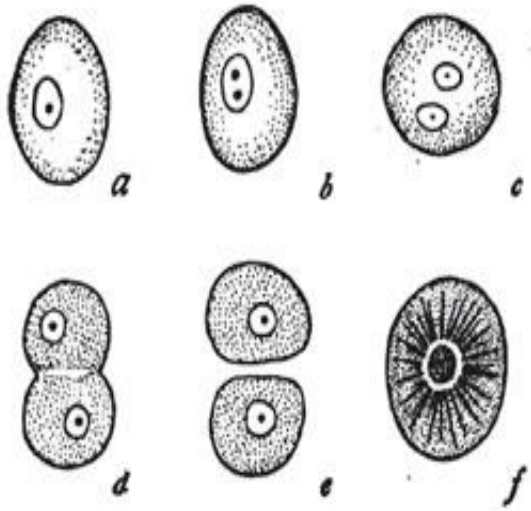


Figura 15: Divisão celular desenhada por Remak
(Fonte: http://pl.wikipedia.org/wiki/Robert_Remak)

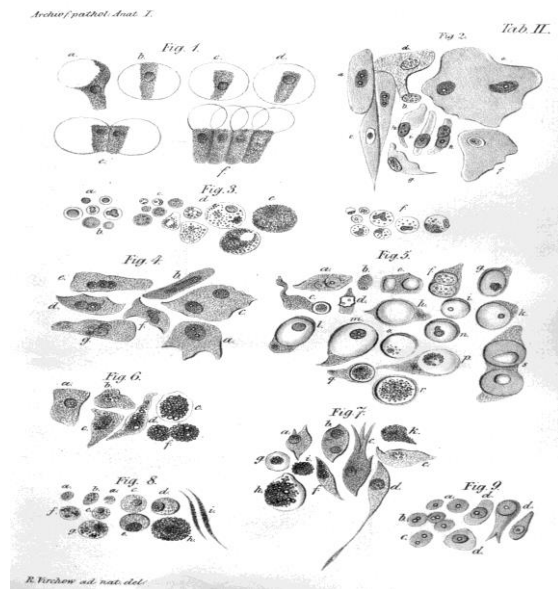


Figura 16: Ilustração do livro de Rudolf Virchow de 1847.
(Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Virchow)

Apesar desse equívoco, uma das mais poderosas ideias da biologia foi revelada ao mundo, um conceito muito profundo, pois significa que toda a vida era feita de células, e que células somente poderiam vir de outras células.

Entretanto, enquanto olhavam mais de perto o mundo das células, todos eles perceberam que havia algumas grandes questões que ainda não tinham resposta: Por que as células são essenciais à vida? O que ocorre dentro delas? Então, os biólogos passaram a procurar um elemento, talvez definido quimicamente, que pudesse ser transferido do espermatozoide para o óvulo. Começaram, então, a fazer detalhados exames microscópicos do núcleo da célula, o que não era fácil, e corantes específicos tiveram que ser usados para que os componentes nucleares transparentes aparecessem ao microscópio. Com isso, descobriram que, durante a divisão da célula, estruturas finas, semelhantes a fios, estavam presentes. Verificaram também que estas eram transferidas quando as células se dividiam. Como o corante usado para torná-las visíveis era a cromatina, deram-lhe o nome de *cromossomos* (RONAN, 2001).

⁸Fonte: http://php.med.unsw.edu.au/embryology/index.php?title=History_-_Embryologists

4.3 Sobre genes e cromossomos

O primeiro desafio para os cientistas que buscavam entender o funcionamento das células foi descobrir a química da vida. Na Alemanha, na década de 1860, cientistas analisavam os diferentes órgãos e tecidos humanos, e descobriram que estes são formados por diferentes tipos de células trabalhando em conjunto, que todas as células vêm de outras células e que novas células são formadas pela divisão de células (RUTHERFORD, 2010). A questão é que os cientistas ainda não sabiam como as células funcionavam. E o primeiro passo no entendimento disso foi na cidade alemã de Tübingen, pois foi nessa cidade que foi estabelecido o primeiro laboratório europeu em 1863⁹.

Entre 1868 e 1869, o jovem cientista suíço Friedrich Miescher, trabalhando na Universidade de Tübingen, estudava a composição química dos leucócitos através do estudo do núcleo destes (DAHM, 2008). Antes de Miescher, ninguém sabia do que o núcleo era composto e nem a sua função. Era difícil na época obter suspensões de células puras, além de extrair o núcleo microscópico, separando-o do citoplasma. Para superar ambas as dificuldades, lembrando-se que os leucócitos do sangue contêm núcleos grandes e pouco citoplasma, ele resolveu coletar essas células. Miescher teve que realizar uma tarefa bastante desagradável, indo à clínica local recolher curativos cirúrgicos contendo pus, os quais misturava com pepsina presente no estômago de porcos do açougue local. Somente então ele poderia analisar o núcleo das células (DAHM, 2008). Miescher demorou meses analisando o material e descobriu que ele continha uma estranha molécula, composta de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio, elementos que eram encontrados em todas as partes vivas. Porém essa molécula continha algo extra: Fósforo. Era uma substância totalmente nova. Pelo fato de tê-la encontrado no núcleo, Miescher a chamou de *Nucleon* (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006). Intrigado, Miescher repetiu esse experimento com espermatozoides de sapos, carpas, bois e salmão, encontrando toda vez a mesma molécula.

⁹Fonte: <http://www.uni-tuebingen.de/en/university/history-of-the-university.html>

A descoberta de Miescher foi a confirmação de que havia algo de especial dentro do núcleo das células, uma molécula comum a toda a vida, que hoje nós chamamos de DNA. Seu trabalho parecia estar muito à frente de seu tempo, pois à época os cientistas pouco sabiam a função do núcleo, ou mesmo como as células funcionavam. Miescher até mesmo especulou que essa molécula teria um papel na transmissão de caracteres hereditários, mas em seguida rejeitou a ideia (DAHLMANN, 2008).

A expansão da Biologia que ocorreu no fim do século XIX esteve diretamente relacionada à uma nova configuração institucional, a qual era associada à possibilidade de abordagens experimentais e instrumentais em Biologia. A experimentação já havia demonstrado ser crucial em outras áreas da Ciência na Europa, especialmente na Física, com avanços em magnetismo e eletricidade. De maneira semelhante nas Ciências Biológicas, o novo campo da Microbiologia tinha novos instrumentos, usados para descobrir o papel de agentes microbianos na causa de doenças específicas. Alguns biólogos acreditavam que estes poderiam ser utilizados nas investigações sobre herança genética e biologia celular (BENSON, 2001).

Nas águas quentes do mediterrâneo, os cientistas encontrariam um grande suprimento de células que poderiam facilmente estudar, os embriões de muitas espécies de vida marinha que prosperavam lá. Por isso a baía de Nápoles se tornou o centro de uma notável comunidade científica, a *Stazione Zoologica di Napoli* (BENSON, 2001). No coração da comunidade estava a estação marinha, construída às margens do rio Nápoles, financiada pelo próprio Charles Darwin.

A ciência europeia serviu como modelo para a criação de novas instituições nos Estados Unidos, e Nápoles se tornou a “Meca dos biólogos”, pois foi lá que tiveram acesso aos novos microscópios com lentes de imersão em 1870. Além disso, surgia a *microtomia*, uma nova técnica que permitia melhor investigação microscópica de tecidos animais e vegetais e o uso de novos métodos de fixação e corantes químicos para tingir as células (MAZZARELLO, 1999; BENSON, 2001). Com isso, os embriologistas foram capazes de ver células no início da divisão celular com mais detalhes do que jamais haviam visto antes. Antes, pensavam que as células ao se dividir simplesmente se partiam ao meio. Mas agora, começaram a notar que algo muito mais complexo estava ocorrendo dentro do núcleo (SATZINGER, 2008).

Em 1888, um jovem cientista alemão, Theodor Boveri, chegou a Nápoles. Ele pertencia ao grupo de cientistas que entendia que o núcleo possui as substâncias responsáveis pela determinação e herança das características das células. Nascido em 1862 em Bamberg, Alemanha, Boveri concentrou seus estudos em citologia e fertilização, e já em 1887 obteve a habilitação que o qualificava como um professor universitário em Zoologia e Anatomia. Em 1893, aos 30 anos de idade, Boveri foi nomeado professor da Universidade de Würzburg, um centro de pesquisa médica e científica na Alemanha. Em 1896, conheceu Marcella O'Grady, que havia vindo à Würzburg trabalhar com Boveri em sua tese de doutorado. Um ano depois, se casaram nos Estados Unidos e tiveram uma única filha, Margret, em 1900. Embora Marcella fizesse o papel que uma esposa supostamente deveria fazer, cuidando da casa e das crianças, ela, por ser altamente qualificada, discutia ideias com o marido, apoiando-o lealmente e trabalhando com Theodor em seus experimentos em Nápoles. Marcella também atuou fortemente no acesso das mulheres alemãs à universidade. Além disso, usando suas habilidades como citologista, também investigou o número e o tamanho dos cromossomos da mosca *Drosophila melanogaster*, preparando o terreno para os mapas cromossômicos que seriam desenvolvidos no laboratório de Thomas Morgan no início do século XX (SATZINGER, 2008).

Em suas investigações em Nápoles, Boveri via que, quando as células dos peixes começavam a se dividir, pequenas estruturas com aparência de bastões apareciam dentro do núcleo. Esses bastões pareciam se desenrolar e dividirem-se em duas partes, que migravam para extremos opostos do próprio núcleo, em seguida o próprio núcleo se dividia ao meio, seguido pela divisão da própria célula. Como já relatamos, à época os cientistas já chamavam esses bastões de cromossomos devido ao fato que os corantes que usavam davam cor aos bastões. Também viram que eles somente apareciam no núcleo quando uma célula se dividia (SATZINGER, 2008).

A pergunta natural que os cientistas se faziam à época era porque as células se dividiam dessa maneira? Para buscar uma resposta, Boveri desenvolveu um experimento, usando uma criatura encontrada em abundância na baía de Nápoles: o ouriço do mar. As vantagens de se usar as células do ouriço-do-mar vinham da sua transparência e disponibilidade em grandes quantidades para experimentação,

permitindo que a fertilização pudesse ser observada em condições fisiológicas e artificiais (SATZINGER, 2008). No laboratório, Boveri coletava essas células, buscando descobrir o que acontecia quando se dividiam. Seu ponto de partida era o momento em que o óvulo era fertilizado pelo espermatozóide. Ele sabia que cada vez que as células se dividiam nesse processo, cada nova célula herdava uma cópia idêntica dos cromossomos da célula-mãe, portanto esses cromossomos deveriam ser importantes (figura 17).

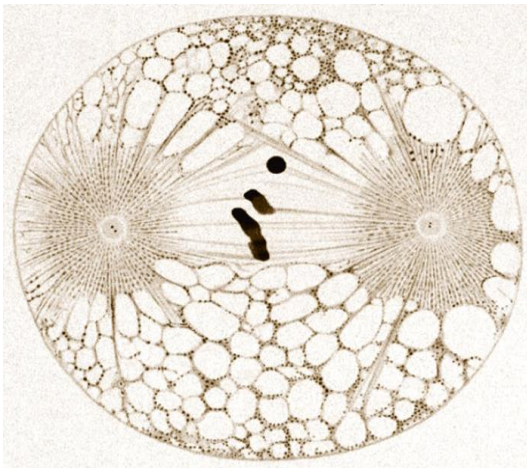


Fig. 17: Divisão celular em *Ascaris megalocephala* (Fonte: SATZINGER, 2008)

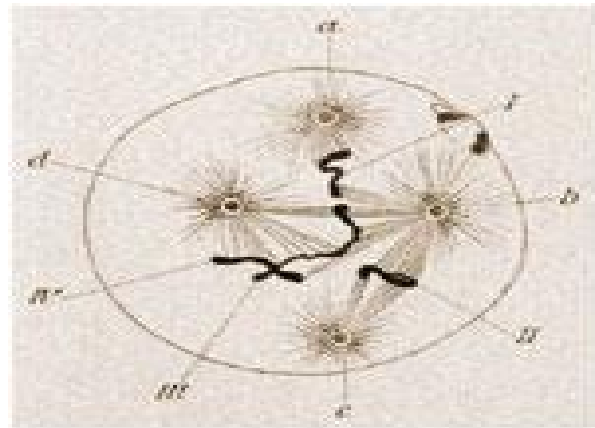


Fig. 18: Presença anormal de 4 centrosomos em uma célula (Fonte: SATZINGER, 2008)

Boveri provavelmente pensou: Se adicionasse mais espermatozoides ao óvulo, apareceriam novos cromossomos? Que efeitos isso poderia causar? As células ainda assim se dividiriam normalmente? E observou que, cada vez que adicionava mais espermatozoides aos óvulos dos ouriços do mar, ele obtinha embriões mutantes que nunca passavam de algumas células (figura 18). Boveri havia então descoberto que um embrião somente se desenvolveria de maneira adequada se possuísse um conjunto completo de cromossomos em cada célula. Portanto, cada vez que uma célula se dividisse, um novo conjunto idêntico de cromossomos teria que ser formado em cada célula. Qualquer quantia maior ou menor e o embrião iria morrer. Isso sugeria que, qualquer informação que estivesse contida nos misteriosos cromossomos seria essencial à vida. Mas qual seria essa informação?

Boveri tinha uma ideia, já que os cromossomos necessários para uma nova vida vinham da união do espermatozoide e do óvulo. Então seriam os cromossomos a maneira pela qual todas as características dos ouriços-do-mar seriam passadas quando

uma nova vida fosse criada? E seguidamente, toda vez que as células se dividissem? Boveri passaria seus próximos anos fazendo experimentos com ouriços do mar, e concluiria em 1902 que os cromossomos devem conter o que ele chamou de “caracteres hereditários” (SATZINGER, 2008). Ou seja, estava tendo a ideia de que os cromossomos dentro de cada célula nossa poderiam ser a maneira na qual a vida e todas as características que herdamos são passadas entre as gerações, prevendo a existência daquilo que hoje conhecemos por *genes*.

Theodor Boveri foi provavelmente o primeiro a fornecer uma base experimental para a transmissão de características hereditárias, propostas por Gregor Mendel na década de 1860 (GRIFFITHS, 2006). Os experimentos de Boveri com fertilização de ouriços do mar mostraram que uma distribuição desigual de cromossomos para as células filhas dá origem a características específicas que dependem das combinações aleatórias dos cromossomos que herdam. Esses resultados o convenceram que cada cromossomo transporta diferentes tipos de informações, uma tese resumida em seus trabalhos publicados entre 1902 e 1904 (BALMAIN, 2001).

Em Nova York, o trabalho de Boveri chamou a atenção de Thomas Hunt Morgan, um colega veterano da estação marinha de Nápoles. Apesar de atualmente a descoberta de Morgan ser amplamente conhecida, os relatos históricos de suas contribuições para a emergente disciplina da genética muitas vezes ignoram o contexto histórico do período de 1880-1910, fazendo parecer com que o desenvolvimento da atualmente denominada *teoria cromossômica da herança* parecesse inevitável. Uma história muito mais interessante é obtida ao se fazer uma avaliação crítica não só da crescente evidência empírica que se obtinha sobre o papel dos cromossomos, mas também ao analisar-se o meio histórico e social em que esses estudos se deram. Desta forma, podemos apreciar a importante mudança conceitual que acompanhou a pioneira pesquisa de Morgan (BENSON, 2001).

No final do século XIX, a maioria dos biólogos mais jovens tinham pouca simpatia com uma biologia que privilegiava a especulação sobre a observação e experimentação. Especialmente no caso das hipóteses de “unidades de herança”, para as quais não haviam evidências empíricas. Em vez disso, jovens biólogos americanos, como Edmund Wilson e Thomas Morgan, queriam basear a sua compreensão da

herança genética em evidências experimentais e laboratoriais, principalmente a partir de estudos de microscopia. Morgan tinha um grande interesse no que regulava a especificidade de um organismo enquanto este se desenvolvia. Embora soubesse que todos os organismos comesçassem como uma única célula, ele queria saber o que acontecia com as células enquanto elas se dividiam? Elas receberiam todas as mesmas informações? Ou o desenvolvimento resultaria em uma especificidade crescente do material celular, explicando a diferenciação e, talvez, a herança? Morgan também ressaltou que qualquer explicação para estes problemas estaria no organismo e no que poderia ser observado, não em “unidades de herança” especulativas (BENSON, 2001).

Nascido em Lexington, Kentucky, em 1866, filho de um diplomata e sobrinho de um general confederado, Morgan estudou Biologia na Faculdade Estadual do Kentucky e depois fez sua pós-graduação na Universidade John Hopkins. Com um acentuado interesse por Biologia Marinha, foi frequentador habitual dos laboratórios dessa área em Massachussets, até pouco antes de sua morte. A mudança de Morgan, de crítico a defensor do mendelismo, deve-se ao resultado de suas pesquisas na Universidade de Columbia (RONAN, 2001). Apesar de outros biólogos já estarem encontrando conexões entre os cromossomos e as “unidades de herança” de Mendel, Morgan permanecia cético. Tanto que em 1905, em um artigo na revista *Science*, sugeriu que a determinação do sexo seria química, e não morfológica. Em outras palavras, os cromossomos não resolveriam a questão até que uma explicação física de seu funcionamento fosse conhecida. Alguns anos mais tarde, em 1910, Morgan expressou suas dúvidas sobre o papel dos cromossomos na herança, porém agora suas dúvidas continham uma abertura à uma nova interpretação. Parte dessa lenta mudança de opinião sobre os cromossomos veio de suas pesquisas em sua famosa “sala das moscas” (BENSON, 2001).

Em 1908, Morgan começou a criar moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*) para descobrir se mutações observadas em plantas também ocorriam em animais. O laboratório de Morgan na Universidade de Columbia ficou conhecido como “a sala das moscas”, por utilizar milhões de espécimes da *Drosophila* para seus estudos. Graças a Morgan e sua equipe, esse inseto se tornou um dos grandes heróis da biologia pois, para qualquer um interessado em estudar herança genética, a mosca da fruta possui

grandes vantagens, pois são pequenas, baratas e se reproduzem rapidamente, obtendo uma nova geração em um período de 10 dias, além de somente possuírem 4 pares de cromossomos, o que torna viável o estudo de mudanças genéticas em um período relativamente pequeno (GRIFFITHS, 2006 ; RONAN, 2001).

Na sala das moscas, Morgan e sua equipe queriam saber se poderiam visualizar padrões de herdabilidade nessas moscas e ligar esses padrões aos cromossomos. Na natureza, essas moscas são encontradas normalmente com olhos vermelhos. Porém, um dia em seu laboratório, Morgan encontrou um macho de olhos brancos, que ele decidiu cruzar com uma fêmea de olhos vermelhos (figuras 19 e 20). Parte dos filhotes desse cruzamento nasceu com olhos brancos e estes eram somente os machos. Desse modo, Morgan concluiu que ter olhos brancos estava ligado de alguma forma ao fato de serem machos. Morgan sabia que entre os cromossomos das moscas haviam dois que determinavam o sexo e, com isso, deduziu que a informação para ter olhos brancos deveria estar contida nesses cromossomos sexuais. Essa foi a sua descoberta (GRIFFITHS, 2006).

Morgan e sua equipe haviam então encontrado evidência que parecia apoiar o que Boveri havia previsto: que as características que herdamos estão relacionadas a partes específicas dos cromossomos. Dessa maneira, Morgan e seu aluno Alfred Sturtevant foram em breve capazes de encontrar quais partes dos cromossomos das moscas eram responsáveis por características tais como a coloração do corpo e o tamanho das asas, assim como a cor dos olhos. E, em 1913, desenharam o primeiro mapa cromossômico do mundo mostrando a localização de duas mil características diferentes (GRIFFITHS, 2006). Para descrever as partes individuais dos cromossomos relacionadas com cada característica, eles usaram a palavra *gene* pela primeira vez.



Figura 19: *Drosophila* mutante e selvagem
(Fonte: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1933/morgan-article.html)

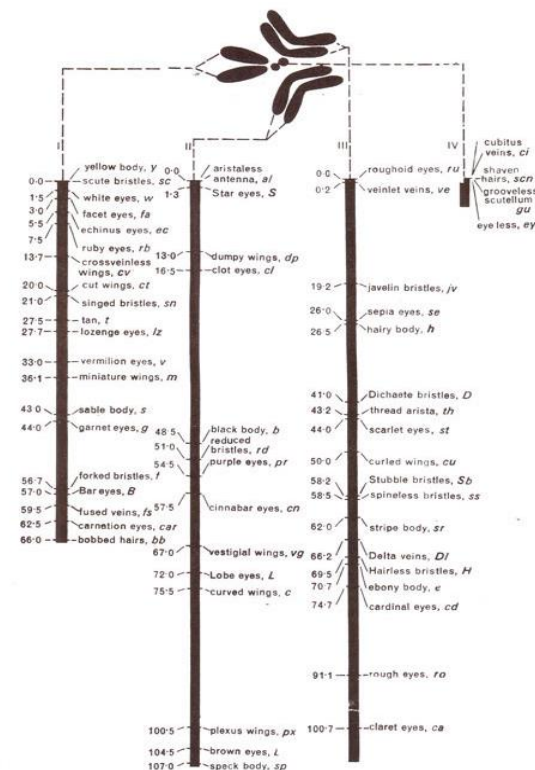


Fig. 20: : Mapa cromossômico desenhado por Morgan
(Fonte: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1933/morgan-article.html)

Embora seja corriqueiro o uso do termo *gene* hoje em dia, é fácil esquecer do enorme salto adiante que isso foi, de entender que a nossa aparência física e o modo como nosso organismo funciona seriam determinados por genes dentro de nós mesmos. À época, a ideia de que alguma coisa dentro de nosso corpo poderia ser responsável pelas semelhanças familiares era nova. Portanto, genes são o elo biológico entre pais e filhos (RUTHERFORD, 2010).

Porém, essa descoberta fez surgir uma outra pergunta: O que eram os genes? Qual era a bioquímica presente nas células, as moléculas que permitiriam que a informação hereditária passasse de uma geração à outra? A resposta a isso viria de dois cientistas médicos que viviam em países diferentes, distantes milhares de quilômetros. Eles sequer se conheciam, porém ambos estudavam pneumonia: Fred Griffith e Oswald Avery.

No início da década de 1940, Fred Griffith trabalhava no ministério da saúde em Londres, estudando bactérias que invadiam o corpo, buscando descobrir porque algumas matavam e outras não. Ele descobriu algo muito interessante, enquanto

buscava uma vacina para prevenir pneumonia usando ratos de laboratório para testar coquetéis de diferentes linhagens de bactérias pneumococos. Primeiro ele testou duas linhagens diferentes, uma inofensiva e outra letal, e quando as injetava separadamente, a primeira não causava efeito algum, e a outra, previsivelmente, matava. Griffith em seguida pegou a solução que continha os pneumococos letais e aqueceu-a, acreditando que isso mataria as bactérias. E, certamente, quando injetadas nos ratos, estes não mostravam nenhum sinal de pneumonia. Foi aí que ele teve uma ideia que deu um resultado surpreendente. Ele misturou o líquido aquecido com o das bactérias inofensivas, e descobriu que ao injetar essa mistura nos ratos, alguns deles morriam (figura 21). Ao examinar os ratos mortos, encontrou os pneumococos letais no sangue. Griffith imaginou que alguma coisa dentro das bactérias havia sobrevivido, e o que quer que fosse, teria transformado os pneumococos inofensivos em letais, porém não descobriu o que era (FRIEDMAN & FRIEDLAND, 2006). Ele não imaginava que havia descoberto uma pista importante para o que seriam os genes. Uma pista que iria levar a um grande avanço no nosso entendimento de como as células funcionam.

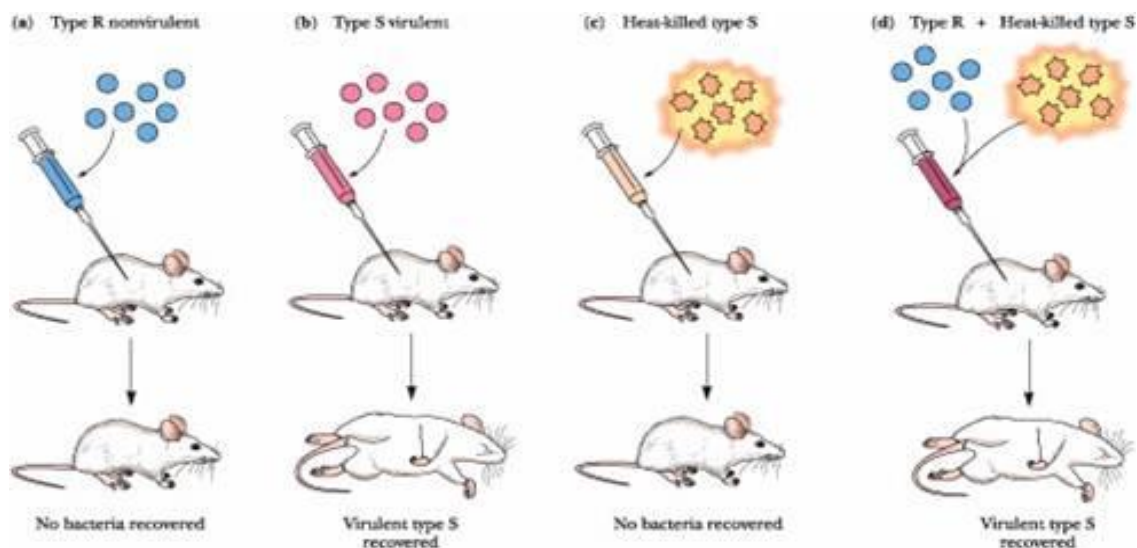


Figura 21 – Esquema mostrando o experimento de Griffith, no qual se demonstra que o material genético de bactérias letais era transferido para bactérias não-letais. (Fonte: GRIFFITHS, 2006)

Griffith provavelmente nunca tinha ouvido falar de Miescher nem de DNA. Ele então concluiu que a cultura morta de pneumococos letais transmitira aos pneumococos inofensivos o que descreveu como *pabulum*, cuja ingestão de alguma forma levou os

pneumococos não letais a darem origem a pneumococos letais. Apesar dessa conclusão errônea quanto ao mecanismo responsável pela transformação bacteriana observada, a descoberta de Griffith foi de enorme importância. Em 1931, seus resultados e observações chamaram a atenção de um médico canadense, Oswald Avery, que trabalhava no Instituto Rockefeller, em Nova York (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Avery também era um especialista em pneumonia bacteriana, e estava determinado em saber que substância havia dentro da bactéria que teria o poder de mudar um tipo de bactéria em outro. Para isso, gastou treze anos testando todo tipo de molécula bioquímica em seu laboratório do Instituto, usando as mais recentes técnicas bioquímicas, imunológicas e físico-químicas disponíveis para descobrir qual molécula estava passando suas características letais para as bactérias inofensivas (RUTHERFORD, 2010). Avery se empenhou de tal maneira que nem seu hipertireoidismo, que quase o incapacitou durante quatro anos, conseguiu diminuir sua persistência em identificar essa substância química. Quando Fred Griffith foi morto por uma bomba alemã em 1941, Avery conseguiu uma fotografia dele, que ficou sobre sua mesa no Instituto Rockefeller até a sua aposentadoria (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Avery não trabalhava sozinho, Colin MacLeod, outro médico canadense, juntou-se a ele em 1935, e Maclyn MacCarty, médico norte-americano recém-formado, em 1941. Os dois contribuíram imensamente com a pesquisa de treze anos para a identificação da substância química que chamavam de *princípio transformador*. Para isso, decidiram trabalhar usando um processo de eliminação, testando primeiramente os carboidratos, depois os lipídios e as proteínas, até chegar ao DNA¹⁰, a estranha molécula presente no núcleo. Descobriram que, sem o DNA, o poder das bactérias letais de transformar outras bactérias simplesmente desaparecia. Outra demonstração da capacidade transformadora do DNA era a perda dessa capacidade quando se acrescentava a ele uma enzima de soro que se sabia destruir o DNA. Alguns anos depois a equipe de Avery informou ter conseguido isolar e purificar essa enzima destruidora de DNA (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

¹⁰ Sigla em inglês para a molécula do Ácido Desoxirribonucléico.

O que Avery e sua equipe haviam descoberto era a molécula da qual os genes eram feitos. Essa foi uma grande descoberta, pois mostrou que o DNA estava controlando as células (GRIFFITHS, 2006). Sendo assim, de modo a entender como as células funcionam, e portanto, como a vida funciona, nós precisaríamos primeiro entender o DNA. Tornou-se crucial saber exatamente o que era e para que servia (RUTHERFORD, 2010).

A publicação-chave demonstrando que o DNA é a substância responsável pelo *princípio transformador* apareceu no número de fevereiro de 1944 da revista *Journal of Experimental Medicine*. Entretanto, as reações imediatas ao artigo não foram nem um pouco entusiásticas, pois quase nenhum geneticista lia esse periódico. Além disso, em 1944, em plena segunda guerra mundial, os jornais e revistas norte-americanos tinham histórias muito mais interessantes para publicar do que a notícia de que uma obscura substância química como o DNA era capaz de transformar pneumococos de um tipo em outro. Porém, muito mais danosa para a aceitação do artigo de Avery foi a dura recusa de Alfred Mirsky, um respeitado bioquímico e seu companheiro de Instituto, em admitir o DNA como transmissor do princípio transformador. Para ele só uma proteína, com toda sua complexidade, seria capaz de transmitir tantas mensagens. Dentro e fora dos corredores do instituto, Mirsky se manifestou contra o conceito de DNA proposto por Avery e sua equipe. Em seguida afirmou em um artigo que a solução de DNA obtida pela equipe de Avery, apesar de pretensamente pura, podia conter de 1% a 2% de proteína, quantidade suficiente para servir de transmissor do *princípio transformador* (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Avery em nenhum momento tentou refutar as acusações ou mesmo contradizer o artigo publicado por Mirsky. No entanto, ficou profundamente deprimido em 1946, e realizou muito pouco entre a sua publicação em 1944 e sua aposentadoria em 1948. Aparentemente cansado aos 71 anos, abandonou o mundo da ciência para viver de maneira discreta os últimos sete anos de sua vida ao lado do irmão Roy, em Nashville, Texas. Ele provavelmente ficou decepcionado por sua descoberta não ser devidamente reconhecida. E provavelmente nem ficou sabendo que, no final da década de 1940, foi indicado para o Prêmio Nobel, mas por causa da recusa de Mirsky em reconhecer a validade de suas conclusões, o comitê do Nobel julgou mais prudente protelar a sua

premiação para quando tivesse confirmações de sua descoberta. Por fim, talvez nunca saberemos o que Avery sentiu em 1953 ao ler sobre a descoberta da estrutura do DNA por Crick, Franklin, Watson e Wilkins. Porém, pode-se reconhecer a importância de sua descoberta de 1944 quando se relembra que, conforme relata James Watson em seu livro *The double helix*, foi a demonstração de que o DNA era a molécula transmissora de hereditariedade que, em 1951, o levou a estudar sua estrutura molecular (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Se existe algo sobre a Ciência que podemos perceber nesse seu período de desenvolvimento inicial é o seu sucesso como uma atividade social, fazendo com que crescesse de maneira quase exponencial desde o século XVII. Essa expansão ocorreu em grande medida devido ao fato que a Ciência tornou-se útil aos governos e à indústria, e a organização atual da ciência tem sido moldada pela necessidade de incentivar estes apoios. Como resultado disso, o próprio caráter da Ciência mudou, a partir daquela "Pequena" Ciência dos primeiros séculos para a "Grande" Ciência de hoje. A "Pequena" Ciência era feita por indivíduos, muitas vezes para o seu próprio entretenimento e às suas próprias custas. Já a "Grande" Ciência de hoje é feita por equipes de investigação, que utilizam equipamentos tão caros que só podem ser financiados pelos governos ou grandes empresas, com a expectativa de resultados práticos. (BOWLER e MORUS, 2005)

Nesse sentido as Ciências da Vida também passaram por grandes transformações ao longo do século XIX e início do século XX, estabelecendo o campo da Biologia mais ou menos como em sua forma atual. Nas grandes universidades, a ênfase das investigações mudou do campo para os laboratórios. Entretanto, alguns legados da nova Biologia já se tornaram um foco de preocupação, como a especialização em massa de disciplinas, levando a uma excessiva fragmentação da experiência e do conhecimento, algo que diversos biólogos ainda lutam para evitar hoje em dia (BOWLER e MORUS, 2005).

4.4 O DNA e a Química da Vida

Depois da segunda guerra mundial, foram os vitoriosos países da Inglaterra, França e Estados Unidos que tomaram a dianteira nas pesquisas em Ciência Pura. Por serem os únicos capazes de financiar custosos projetos de pesquisa, foi justamente nesses países que o talento científico se enriqueceu, desde a década de 1930, com a contribuição de imigrantes que fugiam da perseguição nazista. A URSS, apesar de também ter sido vitoriosa e tivesse uma grande tradição científica, sofreu um enorme reajuste econômico devido à destruição causada pela guerra, inibindo por algum tempo a pesquisa com Ciência Pura. Além disso, a Biologia russa estava sofrendo na década de 1940 por causa da teoria do biólogo ucraniano Trofim Lissenko, que rejeitava o conjunto da Genética Mendeliana. O seu ponto de vista, essencialmente marxista, era de que o meio ambiente é fundamental, e não a hereditariedade, e se tornou a doutrina oficial do governo soviético. A Genética Mendeliana foi então eliminada da biologia soviética e, por volta de 1937, o poder de Lissenko era tal que se tornou perigoso discordar de suas ideias. Só em 1952 foi possível aos biólogos soviéticos discordar de Lissenko (RONAN, 2001).

As limitações da Genética clássica se tornaram aparentes pelo fato desta não poder informar nada sobre a natureza do funcionamento do DNA, ela simplesmente assumia que de alguma forma um pedaço do cromossomo conteria uma substância química capaz de determinar como seria o desenvolvimento embrionário. Decifrar a natureza do código genético iria requerer novas ideias e técnicas e, portanto, uma revolução na genética. Uma nova área de pesquisa seria necessária para relacionar os processos bioquímicos operando no DNA com os estágios iniciais de desenvolvimento de um embrião. Como esta molécula poderia não somente copiar a si mesma, mas também, em diferentes circunstâncias, iniciar uma cascata de reações químicas que influenciariam a formação das células embrionárias? Essas eram questões que seriam enfrentadas pela nova ciência da Biologia Molecular, que estava surgindo na metade do século XX (BOWLER e MORUS, 2005).

No final dos anos 1940, os cientistas já sabiam que os genes eram feitos de DNA mas restava a questão: como o DNA controlava as células? Os cientistas então

imaginavam que poderiam encontrar a resposta na estrutura do DNA. Precisavam descobrir como este era construído. E essa busca se tornou provavelmente a história mais famosa da biologia.

Essa busca começou logo após o fim da segunda guerra mundial. O projeto de armas nucleares norte-americano havia envolvido centenas de físicos que investigaram os átomos no coração de toda a matéria. Entre eles, estava um cientista britânico, Maurice Wilkins, que havia retornado à Inglaterra após a guerra, para trabalhar no *King's College* de Londres juntamente com seu chefe, o famoso físico John Randall. Wilkins, então com 31 anos, foi convidado por Randall para ser diretor assistente da Unidade de Biofísica, pois sabia que Wilkins acreditava que a estrutura do DNA era o caminho certo para a compreensão do transmissor genético. Como parte do programa de reconstrução, o *King's College* adquiriu as mais recentes tecnologias de imagem em raio X para analisar mais profundamente as células, e Wilkins estava encarregado disso (FRIEDMAN & FRIEDLAND, 2006).

Os cientistas usavam raios X para estudar a estrutura das moléculas porque os raios X viajam em forma de ondas. E os comprimentos das ondas de raios X são aproximadamente iguais às distâncias entre os átomos de uma molécula. Portanto, quando um raio X atinge essa molécula, as ondas de raios X são desviadas ao saírem pelo outro lado. E pelos desvios do raio X pode-se descobrir como os átomos estão organizados na molécula (GRIFFITHS, 2006). Wilkins sabia que se um dia sua equipe tentasse delinear a estrutura do DNA, teria que obter diagramas de difração de Raios X de um único fragmento de DNA, e não de um conjunto deles. Portanto, a projeção de raios X teria que ser muito estreita, e a câmera com o filme teria que ser miniaturizada. Assim, no final de 1950, ele já possuía o microfoco, a microcâmera e o aparelho de raios X. Porém, para a instalação de todo o equipamento, Wilkins viria a esperar a chegada de uma jovem cientista, Rosalind Franklin (figura 22), em janeiro de 1951 (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Desde o começo de sua adolescência, Rosalind Franklin procurou uma coisa em sua vida abreviada pelo câncer: ser uma cientista respeitada. Pelo que se sabe, jamais casou ou namorou seriamente. Franklin tampouco era uma pessoa agradável. Apesar de ser extremamente inteligente, faltava-lhe empatia e compaixão com as pessoas.

Todos os que a conheceram concordam que ela não tolerava tolices. Tragicamente para ambos, ela não considerava Maurice Wilkins um homem brilhante. O conflito aberto entre os dois começou na primavera de 1951, logo depois que Wilkins deu um seminário em Cambridge sobre seus estudos a respeito de difração de raios X do DNA. Ao ouvir a palestra, Rosalind ficou furiosa e após o término da palestra abordou Wilkins, dizendo-lhe em termos rudes que ela e seu assistente é que estavam encarregados dos estudos de raios X do DNA. E ordenou à Wilkins que ele voltasse a seus estudos microscópicos de ultravioleta de DNA (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Como Rosalind Franklin era uma especialista em imagens de Raio-X, ela realizou um meticuloso trabalho com os Raios-X no *King's College*. Com o seu conhecimento, ela e Wilkins esperavam ser os primeiros a descobrir a estrutura do DNA. Ela trabalhava em um novo laboratório da instituição, construído no porão, sobre os escombros do antigo, que havia sido bombardeado durante a segunda guerra mundial. A administração estava preocupada com o fato de que os equipamentos de Raio X poderiam ser potencialmente perigosos, já que usavam gás hidrogênio, altamente inflamável. Por isso, ordenaram a Franklin e seu assistente que fizessem o seu trabalho no período noturno, depois que os estudantes já tivessem ido embora (RUTHERFORD, 2010).

Rosalind Franklin utilizava DNA altamente concentrado, e uma de suas habilidades era a de encontrar a quantidade exata de água para preparar suas amostras. Era um trabalho de precisão, pois Franklin conseguia obter uma única fita de DNA, com menos de um milímetro de diâmetro. No laboratório, ela purificava as fitas de DNA e as montava dentro de uma câmara especialmente construída para aquele propósito. Essa câmara estava preenchida com gás hidrogênio, de modo a obter a melhor imagem possível. Quando os raios-X eram ligados, passavam pelo DNA e se espalhavam em diferentes direções, criando uma imagem em um filme fotográfico. Franklin tirou dezenas de fotos, sendo que cada uma delas podia gastar até 90 horas de exposição. Assim que as fotos eram reveladas, ela as projetava na parede, para permitir que calculasse a distância exata entre os átomos. Dentre essas mais de cem fotos, foi a de número 51 (figura 23) que mostrou a melhor imagem da molécula de DNA (RUTHERFORD, 2010).

Esse formato de X era a chave que iria revelar como o DNA é construído. Porém, como hoje se sabe, o nome de Rosalind Franklin não foi o que se tornou associado à descoberta da estrutura do DNA. Acontece que Wilkins mantinha contato com cientistas de Cambridge, que estavam ansiosos por encontrar a estrutura do DNA antes de seus rivais norte-americanos. No início da década de 1950, Watson e Crick eram apenas dois dos muitos cientistas que trabalhavam para descobrir a estrutura do DNA (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006). O renomado químico norte-americano Linus Pauling mesmo havia sugerido um modelo incorreto no início de 1953 (PAULING e COREY, 1953), formado de uma tripla hélice (figura 24), o que levou Watson e Crick a tentar vencer Pauling nessa disputa internacional.



Figura 22: Rosalind Franklin (1920 – 1958)

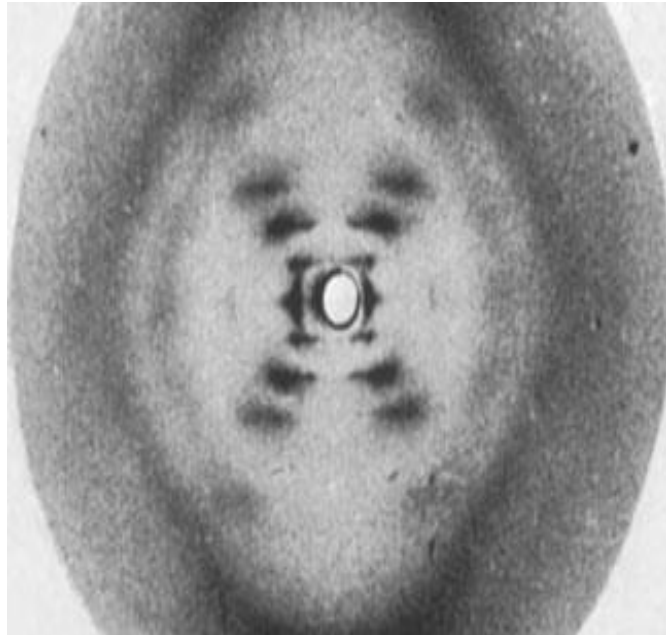


Figura 23:: Fotografia 51, mostrando difração de raio X de DNA.

(Fonte: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/rosalind-franklin-legacy.html>)

Nesse contexto, sem que Rosalind Franklin soubesse, Maurice Wilkins mostrou a foto número 51 (figura 23) a James Watson. Mesmo antes de ver a foto, Watson tinha certeza que o DNA era a molécula que transmitia as mensagens hereditárias: a publicação de Avery e seus colegas o convencera. A questão era descobrir como essa molécula quimicamente simples podia executar um processo biológico tão complexo. Assim, quando Crick conheceu Watson e descobriu que ele também suspeitava que a molécula de DNA era de natureza helicoidal, e que a construção de modelo juntamente

com o exame minucioso por difração de raios X seriam o caminho para determinar a estrutura molecular do DNA, os dois passaram a conversar diariamente. Wilkins provavelmente não sabia que Watson e Crick haviam estudado o DNA ao longo de todo o ano de 1952, e provavelmente não percebeu o quanto ambos estavam perto de solucionar o problema construindo modelos. Por fim, Wilkins também não fazia ideia de que eles tinham o relatório de Randall de 1952 ao Conselho de Pesquisa Médica, o qual continha dados referentes a observações de Franklin e Wilkins sobre o DNA. Esses dados, somado ao reconhecimento da dupla hélice que Watson viu na fotografia 51, permitiram que ele e Crick construíssem corretamente a construção de seu modelo (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Segundo Watson em seu livro *The double helix*, Francis Crick entrou em um bar em Cambridge e anunciou aos colegas: “Nós descobrimos o segredo da vida”. Crick e Watson trabalharam a estrutura usando as fotos e modelos feitos por eles próprios, e no dia 25 de abril do mesmo ano seu modelo de dupla hélice era anunciado ao mundo (WATSON e CRICK, 1953). Quando Francis Crick e James Watson ganharam o Prêmio Nobel em 1962, eles o compartilharam com Maurice Wilkins. Rosalind Franklin, que havia morrido em 1958 de câncer de ovário, era inelegível para o prêmio, e portanto nunca soube do papel desempenhado por suas fotos para o avanço histórico científico (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

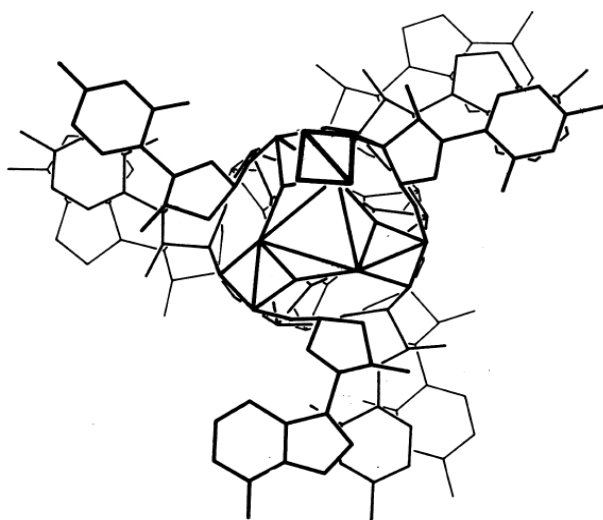


FIGURE 6
Plan of the nucleic acid structure, showing several nucleotide residues.

Figura 24: Modelo de DNA feito por Linus Pauling em 1953
(Fonte: PAULING e COREY, 1953)

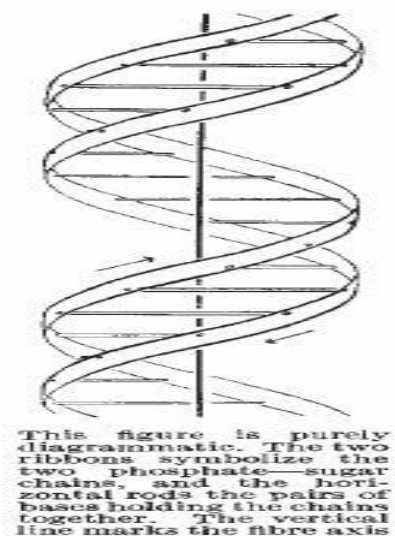


Figura 25: O modelo de dupla hélice de DNA.
(Fonte: WATSON e CRICK, 1953)

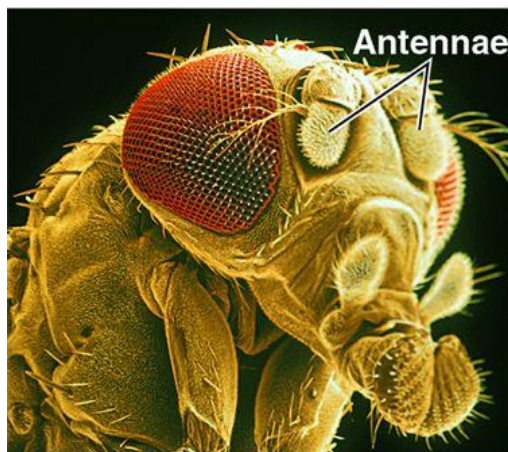
Hoje, a estrutura do DNA (Figura 25) é uma das mais famosas imagens na biologia. No trabalho publicado em abril de 1953, Crick e Watson mostraram que o DNA é feito de duas longas fitas, interligadas em duas espirais, com o açúcar desoxirribose e o fosfato sendo o suporte principal. Mas é dentro da espiral que está o diferencial, pois nele estão quatro moléculas, chamadas de bases nitrogenadas e representadas pelas letras A, T, C, G (adenina, timina, citosina e guanina). O que eles descobriram é que essas quatro unidades básicas se pareiam milhões de vezes dentro da dupla hélice. O que ambos também perceberam é que, ao se separar as duas fitas do DNA, ter-se-ia toda a informação para fazer dois novos pedaços de DNA idênticos ao original (FRIEDMAN e FRIELAND, 2006). Essa descoberta iniciou uma revolução na pesquisa, pois a estrutura do DNA revelou que, quando uma célula se divide, uma cópia idêntica do DNA é passada de célula a célula. Portanto, a maior revelação seria de que toda a informação necessária para se criar vida está codificada dentro dessa molécula.

Portanto o próximo desafio seria decifrar esse código, nos próximos anos, os cientistas iriam desvendar o código dentro da dupla hélice. Eram as instruções para fazer as milhões de moléculas que nos constituem. Nessa época, cientistas já usavam microscópios eletrônicos, capazes de ampliações de cerca de cem mil vezes, para estudar o funcionamento da célula. Desses estudos foi possível fazer modelos sobre como as células funcionam, usando um complexo maquinário para executar as instruções do DNA e fazer as milhões de moléculas que mantêm as células e nós mesmos vivos, já que tudo na célula é projetado e controlado pelo DNA (ALBERTS, 2009). E para fabricar um organismo é necessária uma quantidade enorme dessa molécula. Em seres humanos, por exemplo, cada célula possui 3,4 bilhões de letras do código genético (GRIFFITHS, 2006).

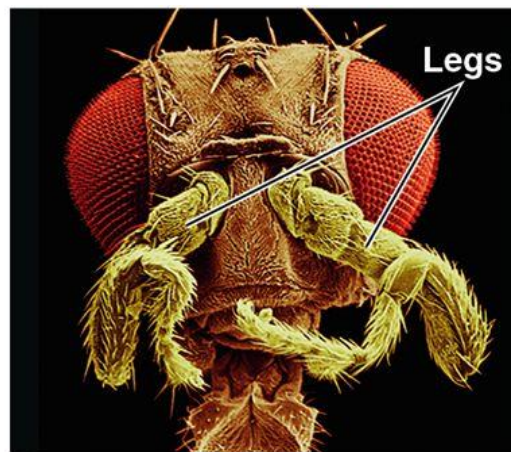
Mas nesse momento surgiu uma questão: Se cada célula contém as mesmas instruções, o mesmo DNA e os mesmos genes, como se obtém um organismo inteiro funcionando com milhões de células altamente especializadas? A questão central era descobrir como, com o mesmo DNA, de alguma maneira as células se especializavam em diferentes tarefas no corpo. Como poderia o mesmo DNA produzir diferentes tipos de células? Essa questão continuou a intrigar cientistas por muito tempo após terem

descoberto a estrutura do DNA, e a resposta viria de alguns dos mais estranhos experimentos em biologia.

Esses experimentos ocorreram na Suíça, mais ou menos 30 anos após a descoberta da estrutura do DNA, e vieram de cientistas estudando mais uma vez as moscas da fruta, liderados por Walter Gehring, cuja pesquisa nos anos 1980 ajudou a resolver o mistério, através do estudo de mutações que causavam a formação de estruturas do tipo errado na parte errada do corpo, como por exemplo uma perna crescendo na cabeça da mosca (Figura 26).



(a) Normal fly



(b) Mutant fly

Figura 26: Mosca da fruta normal (a) e mutante (b), com pernas crescendo no lugar das antenas.
(Fonte: <http://biology-forums.com/index.php?action=gallery;sa=view;id=574>)

Pela comparação dos genes desse mutante com o de moscas normais, Gehring e seu grupo de pesquisa analisaram e compararam as sequências de DNA. Através da divisão da molécula de DNA em pequenos pedaços, buscaram localizar esse gene. Após meses de trabalho, eles encontraram a localização no cromossomo de vários genes similares (GARBER et al, 1983), (GEHRING et al., 1999). Fizeram então um grande mapa genético, que mostrou que todas as partes-chave do corpo da mosca tinham algo em comum: eram controlados por um conjunto de “interruptores” genéticos idênticos, os quais ligavam outros genes do embrião em desenvolvimento. E cada um desses interruptores genéticos controlavam um grande pedaço do corpo da mosca. Com a ajuda do mutante, a equipe de Gehring começou a resolver o mistério de como

todos os diferentes tipos de célula no corpo de uma mosca crescem no lugar certo e no momento certo.

Esses interruptores atualmente são chamados de genes *homeobox* (GRIFFITHS, 2006), e controlam quando os outros genes entram em funcionamento. Assim, enquanto a larva de mosca vai se desenvolvendo, eles organizam o plano corporal dela: cabeça em um lado e cauda em outro, e iniciam uma reação em cadeia de outros genes para crescer uma perna, uma asa, e uma antena no local exato. Após isso, diversos cientistas buscaram descobrir se outros animais teriam semelhantes interruptores genéticos, começando a estudar outras espécies, desde sapos a ratos e humanos, e em cada espécie que eles analisavam, encontravam exatamente os mesmos interruptores (fig. 27), um resultado surpreendente (GEHRING et al., 1999).

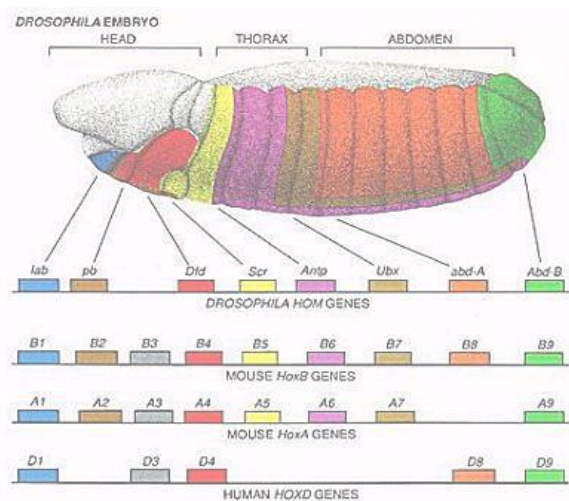


Figura 27: Distribuição dos genes *homeobox* (Fonte: GRIFFITHS, 2006)

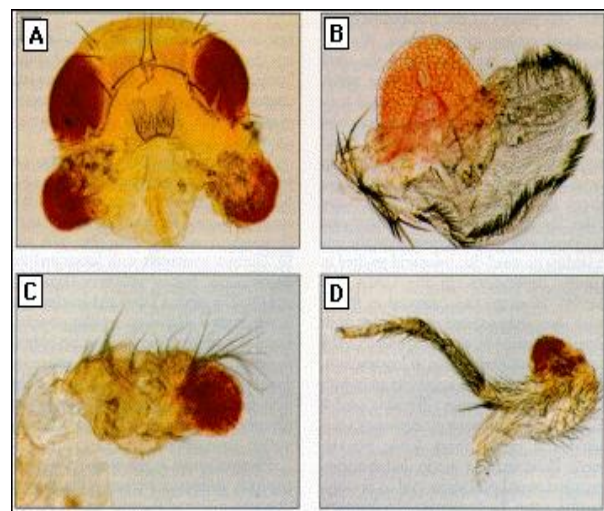


Figura 28: Mutantes de *Drosophila* possuindo olhos ectópicos (Fonte: HALDER, 1995)

Mas a maior revelação ainda estaria por vir, pois em 1995, um estudante da equipe de Gehring encontrou em uma mosca da fruta um gene que inicia a formação dos olhos. Esse gene inicia uma cascata de outros dois mil genes que geram todas as células que constituem o olho de uma mosca. Esse gene na mosca parecia incrivelmente similar ao gene que inicia a formação dos olhos em mamíferos como ratos e humanos, espécies cujos olhos são totalmente diferentes dos olhos das moscas. Por isso, ele e Gehring tiveram a ideia inusitada de pegar o gene do olho do rato e inseri-lo em um embrião da mosca da fruta. O que ocorreu foi que cresceram olhos por todo o

corpo da larva (Figura 28), porque os cientistas não tinham como controlar exatamente onde o DNA do rato iria parar na larva da mosca (HALDER et al. 1995).

Mas o mais impressionante foi que esses olhos eram de mosca, e não de ratos. O que mostra que as células do embrião foram capazes de ler o gene do rato como se fosse um gene próprio dele. Essa pesquisa foi amplamente divulgada na imprensa, alegando que “A ciência estava superando até Hollywood¹¹. Mas os jornais perderam o real significado por trás desses resultados, que era: se os genes interruptores são compartilhados por todas as espécies, e se genes podem ser trocados entre as espécies, isso sugere que toda a vida deve ter vindo de um ancestral comum, como Charles Darwin havia previsto em sua teoria da evolução já em 1859 (DARWIN, 2006).

Portanto, a história da célula é a história da evolução da própria vida. E no coração da vida está uma molécula: o DNA. Uma molécula que possui toda a informação para fabricar todo tipo de célula que existe e já existiu. Entender a química da vida nos trouxe para o início de alguns dos experimentos científicos mais significativos de todos os tempos. Pois agora já sabemos como as células funcionam, e como os genes funcionam dentro delas.

4.5 E atualmente?

Como vimos, o final do século 19 e início do século 20 foram marcados pela descoberta de vários fenômenos celulares e o desenvolvimento de novos corantes sintéticos, que possibilitaram uma melhor visualização de diferentes estruturas celulares. Com o desenvolvimento da indústria dos corantes sintéticos, não tardou para que o alemão Adolf von Bayer sintetizasse o primeiro corante fluorescente em 1871, a fluoresceína, a qual permitiria um contraste das estruturas celulares muito melhor do que os corantes tradicionais. Em 1914, logo após o primeiro microscópio de fluorescência ter sido desenvolvido pelo alemão Oskar Heimstädt em 1911, o tcheco stanislav von Provazek foi o primeiro a utilizar esse microscópio para estudar corantes fluorescentes em células vivas (HEINRICHS, 2009).

¹¹ “Science Outdoes Hollywood”. Título da notícia do jornal *New York Times*, publicada em 24 de março de 1995.

Atualmente a técnica de microscopia de fluorescência se tornou uma técnica ideal para o exame de todo tipo de amostra biológica, fixada ou viva, porque permite a detecção de moléculas específicas em pequenas concentrações em locais específicos da amostra. Entretanto, apesar da microscopia de fluorescência tradicional ser excelente para amostras finas, seu uso é dificultado quando aplicada em amostras mais espessas ou vivas, nas quais ocorre muita dispersão de fótons fluorescentes fora de foco. A microscopia confocal, desenvolvida nas últimas décadas, resolveu este problema ao restringir a fotodetecção à luz originada do ponto focal. Isso permitiu a reconstrução microscópica tridimensional das amostras biológicas. No início do século 21, o desenvolvimento de fluoróforos geneticamente modificados, tais como a GFP¹², revolucionaram a microscopia de fluorescência. O gene da GFP pode ser expresso em qualquer espécie na qual a engenharia genética é possível e pode ser usada para marcar proteínas, seguindo o seu percurso nas células. A GFP tem gerado um enorme interesse na pesquisa biológica e na indústria, com muitas de suas variantes tendo sido sintetizadas ou isoladas da natureza, possibilitando uma grande variedade de escolha aos microscopistas. Acredita-se que esta proteína seja apenas o início de uma grande transformação na microscopia ao longo das próximas décadas, ampliando as aplicações da microscopia de fluorescência à novos campos como, por exemplo, o estudo de interações entre proteínas (YUSTE, 2009).

Como Yuste (2005) lembra, é interessante notar que os primeiros microscópios eram utilizados por Leeuwenhoek para estudar amostras vivas. Atualmente, após um longo desvio de percurso, equipados com o poder da engenharia genética e um maior entendimento da síntese química e da óptica física, os microscopistas de hoje parecem estar retornando às suas raízes, ao documentarem diretamente o dinamismo da vida.

Segundo Vasil (2008), o referencial teórico e experimental da moderna biotecnologia vegetal deriva de dois conceitos: transformação genética, que é a alteração do genoma de um organismo pela introdução do material genético de outro organismo; e totipotência celular, que é a capacidade de uma única célula se dividir e produzir uma planta inteira. O conceito de totipotência é intrínseco à teoria celular de

¹² Sigla em inglês para *Green Fluorescent Protein*, uma proteína fluorescente naturalmente presente na água-viva *Aequoria Victoria*. Fonte: Yuste, 2009.

Schleiden e Schwann, a qual reconheceu a célula como a unidade primária de todos os organismos vivos. Porém nenhuma tentativa de sucesso foi feita para testar esse conceito até o início do século XX. O botânico austro-germânico Gottlieb Haberlandt foi o primeiro a tentar obter evidências experimentais da totipotência, cultivando células de plantas em soluções de nutrientes na esperança de regenerar plantas inteiras. Ele apresentou seus resultados perante a Academia de Ciências de Viena em 1902, em um artigo hoje considerado clássico. Em seus experimentos, as células cresciam em tamanho, mas não se dividiam. Mesmo assim, baseado em suas experiências, Haberlandt fez algumas previsões ousadas, e apontou para a possibilidade de cultivar embriões de plantas a partir de células vegetativas em soluções nutritivas. É por essas razões que Haberlandt é considerado o fundador das técnicas de cultura de células vegetais (VASIL, 2008).

Entretanto, o biólogo norte-americano Ross Harrison é tido como o primeiro a trabalhar com sucesso com cultura de tecido artificial. Nascido na Pensilvânia em 13 de janeiro de 1870, em sua adolescência anunciou o desejo de estudar medicina, ingressando na Universidade Johns Hopkins em 1886 e recebendo seu diploma de bacharel em 1889, com apenas dezenove anos! Em 1890, trabalhou como assistente de laboratório na Comissão de Pesca dos Estados Unidos, estudando a embriologia de ostras. De 1899 até 1907 foi Professor Adjunto de Anatomia da Universidade Johns Hopkins, ensinando histologia e embriologia. Nesse período publicou mais de 20 artigos e suas pesquisas com cultura de tecidos se tornaram muito influentes. Entretanto, foi em 1906 que iniciou os estudos que o tornaram famoso, ao cultivar com sucesso neuroblastos de sapo em um meio de linfa de sapos, e assim deu o primeiro passo em direção a pesquisa atual sobre células-tronco. Ele foi indicado em 1917 para um prêmio Nobel por seu trabalho com células nervosas, o qual ajudou a formar a compreensão atual do sistema nervoso, além de ter contribuído para a técnica de transplante de tecido cirúrgico. Porém, por causa da 1ª guerra mundial, o comitê do Nobel resolveu não conceder o prêmio de medicina e fisiologia naquele ano. Em 1933, quando foi novamente indicado ao Nobel, o comitê acabou escolhendo Thomas Morgan em vez de Harrison, pois considerava que a cultura de tecido era uma técnica de valor bastante limitado (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Felizmente, ao contrário de Leeuwenhoek, Harrison teve a satisfação de saber que seu artigo de 1907 levou a um dos maiores trunfos da medicina. Pois finalmente, quarenta anos depois de sua descoberta, ele soube que dela resultariam vacinas que preveniriam grandes epidemias virais, como a poliomielite, o sarampo, a caxumba, a coqueluche e a catapora. A descoberta de Harrison possibilitou o estudo dos organismos vivos no nível celular e mesmo molecular, além do desenvolvimento de modernas vacinas. Sua descoberta também vem auxiliando na procura das causas do câncer e da AIDS, ao fornecer informações bioquímicas detalhadas e complexas sobre essas doenças (FRIEDMAN e FRIEDLAND, 2006).

Hoje os cientistas já conseguem manipular as células de inúmeras maneiras, transformando por exemplo o açúcar em óleo diesel (HOWARD, 2013) ou as fazendo produzir seda de aranha (WIDMAIER, 2009). Mas produzir uma célula “do nada” é bem mais complexo. Isso nos faz perguntar: O que torna a célula uma entidade viva? E o que as substâncias químicas não-vivas têm a ver com isso?

Somente em 1958 que se começou a entender como a informação armazenada dentro do DNA era transcrita em vida pela publicação de uma teoria que mostrava como as células uniam aminoácidos para formar proteínas. Crick (1958) propôs que a informação dentro de um DNA era, na verdade, um conjunto preciso de instruções, que especificam a ordem exata para ligar os aminoácidos e formar as proteínas nas nossas células. Esse processo, hoje chamado de *transcrição*, do DNA em outra molécula, o RNA mensageiro, seguido pela *tradução* em uma molécula de proteína, é feito milhares de vezes por minuto e está em praticamente todas as células viventes na Terra. (ALBERTS, 2009).

Na década de 1970, cientistas já podiam identificar partes específicas de DNA para descobrir que proteínas fabricavam, e descobrir as possibilidades econômicas disso. Um dos pioneiros disso foi o norte-americano Herbert Boyer, que em 1976 criou a primeira empresa no mundo em biotecnologia¹³, e logo se tornou o primeiro milionário desse setor, ao ser o primeiro a fabricar insulina humana usando bactérias, utilizando a ideia de que o DNA é intercambiável entre todas as células.

¹² Fonte: http://www.pbs.org/wgbh/theymadeamerica/whomade/boyer_hi.html

E isso nos tem dado uma visão profunda sobre o nosso passado, pois se o DNA está no núcleo de toda célula, e toda célula pode ler o DNA de outra célula, então a conclusão natural é que todos os seres vivos são feitos fundamentalmente da mesma coisa.

Uma questão que tem sido levantada é a respeito do menor tamanho possível para as células (COX e COHEN, 2013). Há algum limite de tamanho e de estruturas internas para a célula ser viável? Restrições sobre os limites do tamanho mínimo da célula de um organismo procarionte (sem núcleo organizado) de vida livre com bioquímica convencional podem ser impostos por uma variedade de fatores, tais como o número de moléculas de proteínas e RNA requeridos para uma expressão adequada do genoma, o tamanho do genoma requerido para codificar essas moléculas essenciais, o número de ribossomos necessários para a expressão adequada desse genoma. Além desses, há os limites físicos, tais como empacotamento do DNA ou o raio mínimo de curvatura requerido para estabilidade de uma membrana celular lipídica. Em um simpósio realizado pela National Academy of Sciences (1999) os participantes chegaram a alguns consensos à esse respeito: 1º Um número mínimo de 250 a 450 genes essenciais são requeridos para viabilidade da vida. 2º O diâmetro mínimo viável da célula deve possuir entre 250 e 300 nm. Os detalhes dos cálculos realizados neste simpósio encontram-se no ANEXO 2.

Em 2006, parte dessas estimativas parecem ter sido confirmadas, quando a bactéria simbiótica *Carsonella rudii* teve seu DNA sequenciado (ARIZONA UNIVERSITY, 2006), o qual, com apenas 182 genes, o classifica como o menor genoma entre os seres vivos até o momento. Isso provavelmente se deve ao fato de que bactérias endossimbiontes ou parasitas obtêm a maioria dos nutrientes de seus hospedeiros bactérias, e portanto essas bactérias não precisam dos genes para obterem tais compostos. Atualmente, o menor genoma conhecido de um organismo unicelular é o da bactéria *Mycoplasma genitalium*, com 482 genes (GLASS et al., 2006).

O advento da Biologia Molecular mais parece ter refinado do que revolucionado os conceitos da Genética tradicional. Isso porque, de certo modo, a Biologia Molecular é essencialmente uma pesquisa com viés reducionista, a qual procura explicar os fenômenos da vida, tais como hereditariedade e desenvolvimento, em termos do

funcionamento de moléculas. Atualmente, como afirmam Bowler e Morus (2005), os cientistas que procuram entender a maneira pela qual os organismos vivos funcionam no mundo natural, tais como os ecólogos e os evolucionistas, se frustram com a tendência de muitos biólogos moleculares em desprezar as suas pesquisas, argumentando que o caminho a seguir é o de reduzir tudo às leis da física. Nesse sentido seguem Cox e Cohen (2013) ao afirmarem que a vida é determinada pelo tamanho dos átomos e moléculas, e portanto pelas leis da Física. Isso impõe um limite mínimo de tamanho das células em nosso universo, que seria próximo a 0,2 micrômetros, o tamanho das menores células do planeta Terra.

De acordo com Bowler e Morus (2005), ainda é cedo para saber em que medida a Biologia vai continuar a ser dominada por essa abordagem molecular no século XXI.

4.6 O surgimento da biologia sintética

Atualmente a biologia está prestes a fazer algo inédito, pois os cientistas estão prestes a criar células vivas a partir dos seus compostos químicos básicos. Se essa tentativa tiver êxito, será a primeira forma de vida na Terra que não se originou da célula original. Seria a segunda gênese da vida!

Atualmente há um novo campo da biologia, a biologia sintética, que se diferencia da engenharia genética por ter como objetivo projetar novos sistemas genéticos e organismos que utilizam peças padronizadas, seja a partir de organismos preexistentes, ou mesmo a partir do "zero". O termo biologia sintética, segundo a *National Academy of Sciences* (NAS, 2011) dos EUA, é usado para descrever pesquisas que combinam biologia celular com princípios de engenharia para desenhar, construir ou adaptar DNA existente, ou mesmo outras estruturas biológicas, em pedaços padronizados e intercambiáveis para uso na criação de sistemas genéticos com funções desejadas.

Desde o início do século XXI, duas abordagens experimentais distintas surgiram nesse campo, ambas buscando novas estruturas ou sistemas biológicos com funções e propriedades previsíveis e controláveis. A primeira é conhecida como abordagem *top-down*, e envolve modificar um genoma, organismo ou sistema biológico existente para realizar novas funções. Segundo a NAS (2011), experimentos com essa abordagem têm predominado na última década, permitindo que pesquisadores desenvolvam

circuitos biológicos usando um “chassi” (como o da bactéria *E. Coli*) que funciona e se auto-replica. A segunda abordagem é chamada *bottom-up*, e envolve sintetizar células e sistemas biológicos a partir do “zero”, usando materiais como os nucleotídeos de DNA e monômeros de lipídios. Essa abordagem ainda se encontra nos seus primórdios, justamente porque fazer essa montagem é algo muito mais complexo do que modificar um sistema já existente para fazer uma nova tarefa.

Alguns exemplos da abordagem *top-down* foram feitos por Gibson et al. (2006) e Widmaier et al. (2009). No primeiro exemplo, foi feita uma tentativa de se criar um genoma mínimo da bactéria existente para que somente as partes estritamente necessárias à vida permaneçam nele. No segundo exemplo, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* teve seu genoma modificado para produzir seda de aranha. No contexto de uma abordagem *bottom-up*, um experimento realizado por Gibson et al. (2010) criaram a primeira célula bacteriana sintética, utilizando DNA sintetizado em computador. Outro pesquisador nessa área, George Church, da Universidade de Harvard (EUA), descobriu em 2009 o que acredita serem os 151 componentes mínimos essenciais para se criar uma célula viva. Nessa pesquisa, ele produziu um ribossomo sintético funcional que traduz o código do DNA em uma proteína funcional, assim como faria uma célula real (HARVARD UNIVERSITY, 2009).

Essa habilidade de criar células vivas é o começo de uma nova revolução científica, que poderá afetar cada aspecto de nossas vidas e mesmo nos fazer questionar a nossa própria definição do que é a vida.

5. ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS – PNLD CIÊNCIAS

5.1 Coleção: *Ciências*. Carlos Barros e Wilson Paulino (6ª edição)

A coleção é constituída por quatro livros, cujos conteúdos são estruturados em unidades divididas em capítulos, seguindo uma ordem de apresentação tradicional. Cada livro ou volume possui um subtítulo, que indica o tema central que norteia o seu conteúdo. Os três primeiros volumes abordam temas mais relacionados à Biologia. Desse modo, o volume do 6º ano aborda as ideias básicas do meio ambiente; no 7º ano, o tema central são os seres vivos; o 8º ano tem como objeto de estudo o corpo humano. Por fim, o 9º ano aborda outras duas áreas da Ciência, a Física e a Química.

VOLUME 1 - 6º Ano – O Meio Ambiente

No primeiro volume da coleção, ao se abordar o estudo da vida em suas unidades e capítulos, esta é tratada em termos das relações entre os seres vivos, os diferentes ecossistemas e biomas da planta e a importância do ar e da água aos seres vivos.

Trata-se, portanto, de uma abordagem bastante abrangente em Ciências. Provavelmente devido a essa abordagem, mesmo após percorrer e analisar-se todo este volume, foram encontradas somente duas menções, e indiretas, relacionadas à células e a história de seu descobrimento.

A primeira menção encontra-se no capítulo 3 (p. 28 e 29), ao se discutir o fenômeno biológico da fotossíntese, são mostradas algumas figuras de plantas, em uma crescente escala de tamanho, uma delas provavelmente obtida por microscopia, embora isso não esteja explicitado no texto (figura 29).

Logo em seguida é citado no texto que, além das plantas, a fotossíntese é realizada nos ambientes aquáticos pelas algas, sendo mostrada então duas ilustrações, uma de uma alga macroscópica e outra microscópica.

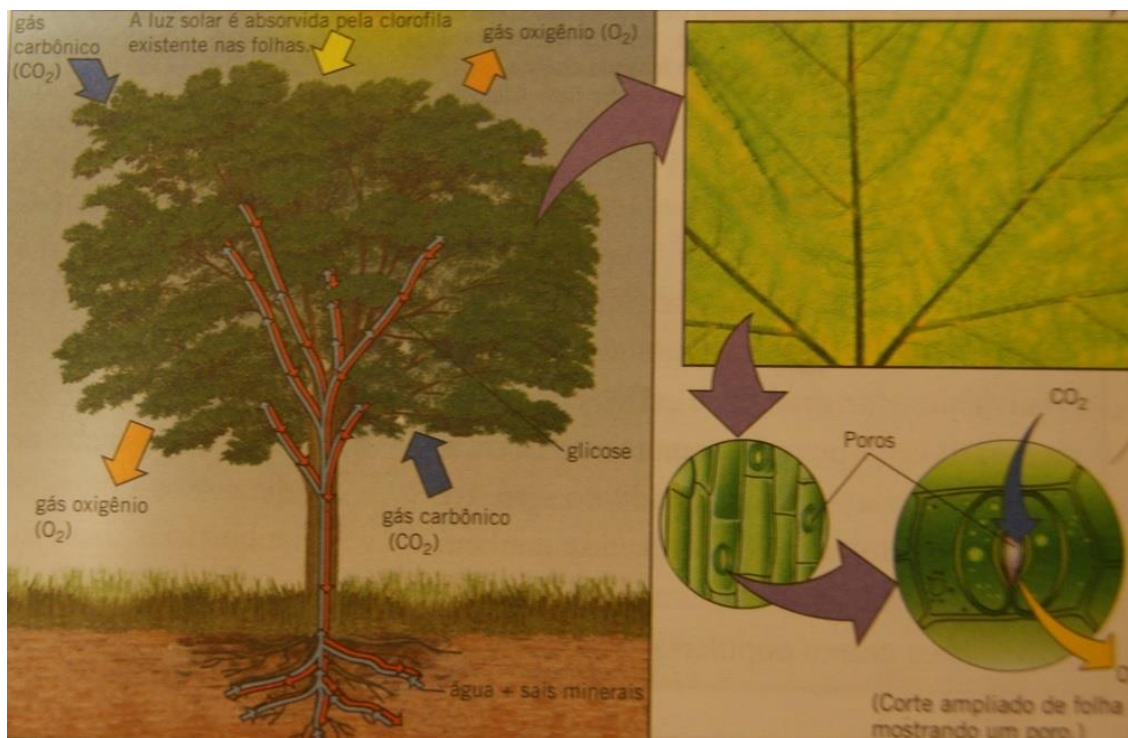


Figura 29: O processo de Fotossíntese nas plantas mostrado em diferentes escalas de tamanho. Retirado do Volume 1 (6º Ano) da coleção *Ciências*. (Barros e Paulino, 6 ed, Ática, 2010)

A outra referência indireta à célula somente é encontrada no final do capítulo 7, em um quadro anexo (p.80 – Desafios do passado), ao se mostrar uma ilustração do microscópio usado por Robert Hooke no séc. XVII, como um exemplo de uma ferramenta criada e aperfeiçoada ao longo do tempo pela humanidade. Curiosamente no texto não há qualquer menção sobre a origem, a importância histórica, ou mesmo o uso do microscópio.

Não há qualquer outra menção, mesmo que indireta, às células em nenhum outro capítulo deste livro, sendo este assunto abordado “oficialmente” apenas no início do volume do 7º ano.

Assim como foi feito na análise dos registros sobre os termos células, após percorrer e analisar-se todo este volume, encontrou-se somente um registro fotográfico de células, na página 29 (figura 30), da alga microscópica da espécie *Euglena*, utilizando um Microscópio Óptico em aumento de 300 vezes, segundo consta na legenda da própria foto.

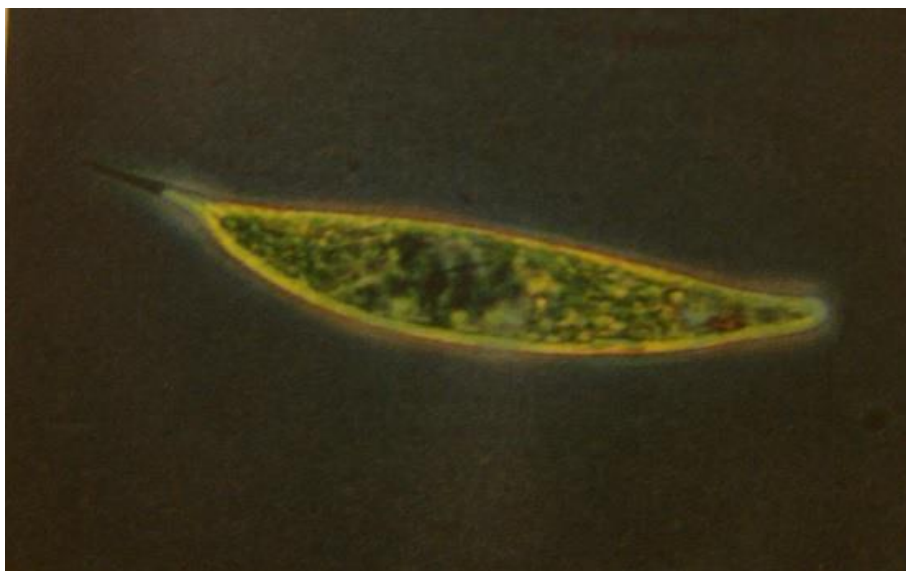


Figura 30: Alga microscópica *Euglena*, em imagem obtida por microscópio óptico. Retirado do Volume 1 (6º Ano) da coleção *Ciências*. (Barros e Paulino, 6 ed, Ática, 2010)

VOLUME 2 - 7º Ano – Os Seres Vivos

O livro do 7º ano é dividido em cinco unidades, cada uma delas com vários capítulos. Como o próprio título infere, o foco principal desse volume é o estudo dos seres vivos no planeta, sua biodiversidade e a evolução e classificação nos cinco reinos.

Na unidade I a proposta é discutir a diversidade de vida existente na Terra e uma visão geral dos diferentes grupos de seres vivos presentes nos mais variados ambientes terrestres. Nas unidades II, III, IV e V são enfocados os cinco reinos em que os seres vivos são tradicionalmente enquadrados no Ensino Fundamental, abordando suas características, importância ecológica e influência no cotidiano do ser humano.

Percebe-se que há nesse volume uma especificidade maior dos conteúdos dentro dos temas tratados, muitas vezes mais do que seria esperado para este nível de ensino. Logo nos primeiros capítulos da primeira unidade é feita a abordagem sobre as células, como parte essencial de um ser vivo. Os resultados da análise desse volume separados por capítulos se encontram no Apêndice 2.

Uma primeira observação que se pode fazer é que o contexto histórico das células só é abordado nos capítulos 1 e 2 deste volume. Além disso, pode-se perceber que o total de citações deste termo diminui progressivamente ao longo dos capítulos,

como fica mais evidente se forem consideradas as citações por unidades, descritas na tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Distribuição dos conteúdos sobre células nas unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção *Ciências*. (Barros e Paulino, 6 ed, Ática, 2010)

Unidade	Nº total de citações do termo <i>célula</i>	Nº de citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – Diversidade da vida na Terra	112	27
2 – Moneras, Protoctistas e Fungos	28	-
3 –O Reino das Plantas	23	-
4 – Os Invertebrados	19	-
5 – Os Vertebrados	4	-

Parece portanto existir um padrão decrescente de citações do termo célula nesse volume da coleção didática. Pode-se notar também que o contexto histórico da célula somente é abordado na unidade 1 do livro. Nas outras unidades não há uma menção sequer sobre as células nesse contexto.

Quanto à análise das imagens contendo células e suas estruturas neste volume, procuramos nos ater às imagens obtidas por cinco diferentes técnicas de microscopia, muito utilizadas não somente didaticamente, mas também para pesquisa em biologia celular. Os resultados dessa análise por capítulos se encontram no apêndice 3. Ao se considerar apenas as unidades do livro, obtivemos os resultados mostrados na tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção *Ciências*. (Barros e Paulino, 6 ed, Ática, 2010)

7º Ano	Tipo de microscópio				
Unidade	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – Diversidade da vida na Terra	3	-	1	7	1
2 – Moneras, Protoctistas e Fungos	6	-	-	5	8
3 –O Reino das Plantas	-	-	-	-	-
4 – Os Invertebrados	-	-	-	-	-
5 – Os Vertebrados	-	-	-	-	-

Percebe-se que há pouco uso de imagens de microscopia neste livro, notavelmente a partir da unidade III, quando começam a ser abordados organismos pluricelulares, o que dificulta a percepção pelos estudantes de que estes organismos também podem ser estudados em escala microscópica, como acontece com os organismos unicelulares abordados nas unidades I e II.

VOLUME 3 - 8º Ano – O Corpo Humano

Esse livro também é dividido em cinco unidades, cada uma delas com vários capítulos. Na Unidade I são apresentadas as principais características da espécie humana, tais como sua história evolutiva e os níveis de organização do corpo humano. Nessa unidade há uma visão mais detalhada da estrutura e da diversidade das células do organismo humano.

Nas unidades subsequentes, são abordados os diferentes sistemas relacionados à nutrição, coordenação das funções orgânicas, relação com o ambiente, e reprodução humana.

Também há nesse volume uma especificidade maior dos temas tratados, e logo nos primeiros capítulos é retomada a abordagem sobre as células, agora abordando-as como o primeiro nível de organização do corpo humano, também são citados os

processos de divisão celular e alguns conceitos básicos de genética. Os resultados, detalhados por capítulo, da análise desse volume se encontram no Apêndice 4.

Separando-se por unidades, obtém-se os resultados descritos na tabela 4 abaixo:

Tabela 4: Distribuição dos conteúdos sobre células nas unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção *Ciências*. (Barros e Paulino, 6 ed, Ática, 2010)

Unidade	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº de citações do termo <i>célula</i> em Contexto histórico
1 – Organização do Corpo Humano	259	17
2 – A Reprodução	21	-
3 – Funções de nutrição do corpo humano	59	-
4 – Funções de relação com o ambiente	13	-
5 – Coordenação das funções orgânicas	22	-

Embora o padrão decrescente observado no volume do 7º ano não esteja tão evidente neste volume, pode-se mais uma vez notar que o contexto histórico da célula somente é abordado na primeira unidade do livro, assim como ocorreu no volume anterior.

Quanto à análise das imagens contendo células e suas estruturas neste volume, mais uma vez procuramos nos ater às imagens obtidas por cinco diferentes técnicas de microscopia, os resultados dessa análise por capítulos se encontram no apêndice 5. Ao se considerar apenas as unidades, obtivemos os resultados descritos na tabela 5 abaixo:

Tabela 5: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção *Ciências*. (Barros e Paulino, 6 ed, Ática, 2010)

8º Ano	Tipo de microscópio				
Unidade	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – Organização do Corpo Humano	3	1	1	2	11
2 – A Reprodução	-	-	-	1	1
3 – Funções de nutrição do corpo humano	-	-	-	-	2
4 – Funções de relação com o ambiente	-	-	-	-	-
5 – Coordenação das funções orgânicas	-	-	-	-	1

Assim como no volume do 7º ano, neste volume há notavelmente poucas imagens de microscopia ao longo de todo livro, e mais uma vez, estas se restringem às primeiras unidades do livro. Esses resultados, juntamente com a percepção do padrão decrescente sobre células, contribuem para uma percepção de que o estudo da célula se encerra em si mesmo, como afirma Krasilchik (2008), e sem que, ao estudarem a anatomia e fisiologia no nível de organização do organismo, os estudantes tenham oportunidade de relacionar os diferentes sistemas do corpo com o nível celular.

VOLUME 4 - 9º Ano – Física e Química

O livro do 9º ano foi dividido em três unidades, cada uma com vários capítulos, em um total de 21 capítulos. Como o título sugere, o foco desse volume são duas áreas específicas da Ciência. Na unidade I são enfocados conceitos gerais tratados tanto no estudo da física quanto da química: matéria, energia, unidades de medida, propriedades da matéria. A unidade II trata do estudo da Física e a unidade III, do estudo da Química.

Assim como no volume do 6º ano, nesse volume há poucas menções às células, sendo quatro explícitas e duas implícitas. Embora aqui sejam mais explícitas e, em algumas situações, contextualizadas de maneira bastante distinta da que foi vista nos volumes de 7º e 8º ano, nota-se mais uma vez a nítida separação de conteúdos entre as diferentes áreas da Ciência, evidenciadas pelo título deste volume: Física e Química. Os resultados detalhados por capítulos se encontram no apêndice 6.

A primeira menção às células ocorre no capítulo 1 (Matéria e Energia), no quadro *Para ir mais longe* (p. 14), quando se tratam das transformações de energia, são citadas as que ocorrem dentro das nossas células como um desses exemplos de transformação. A segunda menção, e a única em contexto histórico, é implícita, e ocorre na página 73 (Capítulo 6 - A gravitação universal), ao se mencionar novamente o cientista Robert Hooke, desta vez como o destinatário de uma carta de Isaac Newton¹⁴.

No capítulo 18, que trata de substâncias químicas e misturas, há uma única menção (p. 216) às células do sangue, ao se tratar do processo de separação de misturas conhecido como centrifugação. No capítulo 20, que aborda as funções químicas inorgânicas, há uma menção ao monóxido de carbono como exemplo de poluente atmosférico altamente tóxico às células de nosso organismo, porém o livro não menciona que isto se deve ao fato que o monóxido se liga à hemoglobina presente nas hemácias do sangue, impedindo que estas transportem o gás oxigênio para o corpo. Finalmente, no capítulo 21 (p. 242), o processo de respiração celular é mencionado somente como um exemplo de reação química, sem detalhar ou aprofundar mais como ou onde este processo ocorre nas células de nosso organismo.

É curioso notar que no capítulo 12, o qual trata justamente dos instrumentos ópticos como espelhos e lentes, há um quadro ao final (p. 157) tratando da história dos telescópios, citando cientistas como Galileu, Newton e Hubble, porém não há qualquer menção aos microscópios, nem mesmo aos cientistas que os estudaram e desenvolveram.

Assim como no volume do 6º ano, na análise dos registros das imagens contendo células e suas estruturas, após percorrer e analisar-se todo este volume, encontrou-se somente alguns registros nesse volume. No capítulo 1, (p. 15), há uma

¹³ Esta carta foi enviada à Robert Hooke em 15 de fevereiro de 1676, e nela estava presente a famosa frase “Se vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes” (FONTE: BRYSON, 2011).

micrografia de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), mostrando um espermatozoide ampliado 4000x. No capítulo 16 (p. 206) há outra micrografia de MEV, mostrando uma carapaça de protozoário ampliada 160x. Na mesma página se encontra outra micrografia mostrando diatomáceas ampliadas 100x. No capítulo 18, p. 216, há uma fotomicrografia de uma MEV de sangue, ampliada 3100x. No capítulo 20, p.234, há novamente a mesma micrografia de hemácias humanas. Os resultados detalhados por capítulos se encontram no apêndice 7.

Porém, em todas essas situações as fotografias de microscopia são utilizadas de maneira descontextualizada do conteúdo de Biologia Celular, sendo utilizadas como meros exemplos em assuntos bastante específicos da área de Química e Física.

5.2 Coleção: *Construindo Consciências* . Carmen de Caro *et al.*

A coleção apresenta uma organização curricular que trata os conteúdos das diferentes áreas das Ciências de forma integrada em torno de assuntos centrais. Assim, no 6º ano o conteúdo é organizado em torno da ideia de ciclos (ciclo da vida, ciclo da água e ciclos associados ao planeta Terra); no 7º ano são abordadas as ideias básicas do ambiente, tratando dos processos que envolvem o seu funcionamento e a diversidade de ambientes na Terra; no 8º ano o tema central é o corpo humano; e por fim o 9º ano trata da relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Essa é uma coleção com grande enfoque em desenhos e esquemas, porém também utiliza poucas imagens obtidas diretamente por técnicas de microscopia. A Coleção possui dois quadros relacionados à HFC: “Ciência tem história” e “Para saber mais”, presentes em diversos capítulos de todos os volumes.

Toda essa coleção possui uma ampla e diversificada parte de pesquisa-experimentação, a qual aparece em praticamente todos os capítulos do livro, propondo experimentos em diferentes áreas da Ciência (como exemplos podemos citar: Produção de um pequeno gerador elétrico, densidade de materiais, conservação de alimentos, testando o pH, dentre outros). Em todos os capítulos, sem exceção, existe ao menos um experimento proposto, sendo que na grande maioria dos capítulos existem dois ou mais experimentos propostos. Esse parece ser o grande diferencial dessa coleção didática em relação à coleção anteriormente analisada.

VOLUME 1 - 6º Ano

O livro do 6º ano é dividido em quatro unidades, cada uma com vários capítulos, exceto a unidade 4 que possui um único capítulo, em um total de 13 capítulos. Na 1ª e 3ª unidades, o tema principal é a vida no planeta Terra, já na 2ª unidade o conteúdo está mais relacionado com a química. Por fim, o tema do único capítulo presente na unidade 4 é o planeta Terra, suas características físicas e suas representações geográficas.

O termo célula é somente abordado em quatro dos treze capítulos, dentro das unidades 1 e 3, que abordam justamente a vida e os ciclos de vida em plantas e animais, além das semelhanças e diferenças entre os seres vivos e os seres microscópicos. Os resultados dessa análise separados por capítulos se encontram no apêndice 8. Ao se considerar apenas as unidades, obtivemos os resultados descritos na tabela 6 a seguir:

Tabela 6: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 1 da coleção *Construindo Consciências* (Carmen de Caro et al. 2 ed, Scipione, 2010)

Unidade	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – Ciclos da Vida	10	-
2 – Diversidade dos materiais	-	-
3 – A diversidade da vida	47	2
4 – Nosso planeta Terra	-	-

As únicas duas citações relacionadas à história do descobrimento da célula se encontram no quadro “Para saber mais” da p. 219, quando o nome de Antoni van Leeuwenhoek é citado no trecho: “No século XVII, o aperfeiçoamento do microscópio pelo holandês Antoni van Leeuwenhoek (1632 - 1723) revelou um mundo até então desconhecido: o dos seres vivos microscópicos.” Logo em seguida o francês Louis Pasteur é citado: “O uso do microscópio pelo francês Louis Pasteur muito contribuiu para a ideia de que inúmeras doenças seriam causadas por microrganismos.”

Quanto à análise das imagens contendo células e suas estruturas neste volume, mais uma vez procuramos nos ater às imagens obtidas por diferentes técnicas de microscopia. Da mesma maneira que ocorreu com o termo *célula*, as imagens de células através de diferentes técnicas de microscopia somente foram encontradas em quatro dos treze capítulos, dentro das unidades 1 e 3. Os resultados dessa análise por capítulos se encontram no apêndice 9. Ao se considerar apenas as unidades, obtivemos os resultados mostrados na tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 1 (6º Ano) da coleção *Construindo Consciências*. (Carmen de Caro et al. 2 ed, Scipione, 2010)

UNIDADE	Tipo de microscópio				
	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – Ciclos da Vida	30	-	-	-	-
2 – Diversidade dos materiais	-	-	-	-	-
3 – A diversidade da vida	15	1	2	8	16
4 – Nosso planeta Terra	-	-	-	-	-

Percebe-se que há neste volume poucas imagens de microscopia ao longo de todo livro, e que se restringem a poucos capítulos e unidades. Além disso, há uma grande predileção pelo uso de dois tipos de microscopia somente, a óptica comum (MOC) e a eletrônica de varredura (MEV) em detrimento de outras, que também poderiam ser utilizadas para ilustrar as células.

VOLUME 2 - 7º Ano

O livro do 7º ano é dividido em cinco unidades, cada uma com vários capítulos, em um total de 13 capítulos. Da 1ª a 4ª unidades, o tema principal é a Terra, suas características, ambientes, ciclos, energia e suas transformações e os movimentos da Terra e da Lua. A única exceção é a unidade 5, que trata da ciência dos alimentos.

As células são significativamente bem menos abordadas nesse volume do que no volume anterior, e mais uma vez, somente em 4 capítulos. Os resultados dessa

análise por capítulos se encontram no apêndice 10. Ao se considerar apenas as unidades, obtivemos os resultados descritos na tabela 8:

Tabela 8: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do vol. 2 (7º Ano) da coleção *Construindo Consciências*. (Carmen de Caro et al. 2 ed, Scipione, 2010).

Unidade	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – A diversidade de ambientes	-	-
2 – A Terra em transformação	10	-
3 – Energia e Ambiente	10	-
4 – Lua, Sol e movimentos da Terra	-	-
5 – Ciência na cozinha	1	-

No capítulo 7, p. 147, há um erro conceitual sobre a retina, a qual é formada por várias camadas de células, e não somente uma, como é citado. Percebe-se também nesse volume a ausência de qualquer referência à história do descobrimento da célula. Embora no quadro “Ciência, Tecnologia e Sociedade” da página 238 cite-se um pouco da história da descoberta de um método de conservação de alimentos que foi em seguida aplicado na indústria de alimentos. E ao falar sobre alguns dos personagens que fizeram parte dela, afirma que “outra lição que tiramos dessa história é a de que muitas pessoas acabam esquecidas, como Denis Papim, enquanto outros adquirem prestígio e gozam de sucesso, como Gay-Lussac”. Essa foi uma constatação que também tivemos por diversas vezes em nossa análise sobre a história do descobrimento da célula. É raro ver essa questão histórica ser abordada, sobretudo em um livro didático de 7º ano do Ensino Fundamental.

Quanto à análise das imagens contendo células e suas estruturas neste volume, encontramos somente três ilustrações em todo o livro, como pode ser visto no apêndice 11. A primeira mostra uma alga microscópica vista ao MOC. As outras duas são de MEV, a primeira mostra um estômato de uma planta e a segunda uma levedura de pão. Essas são, por sinal, imagens ilustrativas bastante comuns nos livros didáticos de ciências.

VOLUME 3 - 8º Ano

Esse volume é dividido em quatro unidades, cada uma com vários capítulos, em um total de 10 capítulos. A primeira unidade (transformações dos materiais) está bastante relacionada à área da química, enquanto as outras três unidades tratam essencialmente do corpo humano.

Como é de se esperar de um livro que trata do corpo humano em grande parte de seu conteúdo, esse volume volta a abordar bastante as células, sendo o que mais aborda esse tema entre todos os livros dessa coleção didática, e o único em que este termo foi encontrado em todos os capítulos.

Entretanto, há algumas observações a serem feitas, a primeira é no capítulo 2 (Compreendendo as reações químicas), no qual não se mencionam as reações químicas que ocorrem dentro das células, as quais são essenciais à sobrevivência dos seres vivos, o que pode contribuir para uma compreensão errônea de que as reações químicas que ocorrem nas células não são semelhantes às que ocorrem na natureza. Além disso, apesar de serem citados nos livros anteriores os organismos *unicelulares* e *pluricelulares*, a diferenciação e exemplificação entre esses termos só é feita no capítulo 3 desse volume da coleção didática, além de somente aqui finalmente se fazer uma definição do que são as células, porém, não há nenhuma menção histórica em ambos os casos.

Os resultados dessa análise quantitativa dos registros de células, separadas por capítulos, se encontram no apêndice 12. Ao se considerar apenas as unidades, obtivemos os seguintes resultados, descritos na tabela 9 abaixo:

Tabela 9: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do vol. 3 (8º Ano) da coleção *Construindo Consciências* (Carmen de Caro et al. 2 ed, Scipione, 2010).

UNIDADE	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – As Transformações dos materiais	4	-
2 – O nosso corpo é dinâmico	61	-
3 – História natural da sexualidade	28	5
4 – O corpo humano e suas interações com o ambiente	20	-

Nota-se mais uma vez a pouca presença de conteúdo histórico sobre o descobrimento das células neste volume, estando restritas a um trecho do capítulo 6, ao se abordar os experimentos do pesquisador francês Edouard Balbiani com os protozoários *Stentor* e *Acetabularia*, fundamentais para a sua descoberta da importância do núcleo das células para a sobrevivência e reprodução dos organismos. Um fato curioso é que no capítulo 8, p. 175, são citados os experimentos de Robert Hooke com a luz e as suas divergências com Isaac Newton sobre a natureza da luz branca, porém não há nenhuma menção às experiências de Hooke com células, seja nesse volume ou mesmo em outros volumes dessa coleção didática.

Quando fizemos a análise das imagens de células e suas estruturas, descrita por capítulos no apêndice 13, encontramos neste volume poucas imagens de microscopia, estando estas restritas basicamente a duas técnicas, como se pode ver na tabela 10 abaixo, que considera as quatro unidades do livro:

Tabela 10: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção *Construindo Consciências*. (Carmen de Caro et al. 2 ed, Scipione, 2010)

UNIDADE	Tipo de microscópio				
	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – As Transformações dos materiais	-	-	-	-	-
2 – O nosso corpo é dinâmico	3	-	-	-	9
3 – História natural da sexualidade	2	-	-	-	3
4 – O corpo humano e suas interações com o ambiente	-	-	-	-	1

É curioso notar que nesse volume, diferentemente dos anteriores, a maior parte das imagens obtidas por microscopia é por MEV. Acreditamos que uma das razões de se usar tantas imagens de MEV nessa e em outras coleções se deva ao nível de detalhamento presente nessas imagens, proporcionando uma noção tridimensional da estrutura observada. Voltaremos a discutir esse assunto nas considerações finais desta pesquisa.

VOLUME 4 - 9º Ano

Esse volume é dividido em cinco unidades, cada uma com dois capítulos cada, exceto a unidade 4, com três capítulos, perfazendo um total de 11 capítulos. Esse é provavelmente o mais interdisciplinar dos volumes dessa coleção didática, com temas em todas as principais áreas da ciência. Ao analisar os registros sobre célula ao longo dos capítulos desse volume, presentes no apêndice 14, nota-se que a abordagem sobre células só não aparece na primeira unidade. Na tabela 11 a seguir encontram-se os resultados separados por unidades do livro:

Tabela 11: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção *Construindo Consciências* (Carmen de Caro et al. 2 ed, Scipione, 2010)

UNIDADE	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – A Terra e o espaço ao seu redor	-	-
2 – Modelando os materiais	1	-
3 – A diversidade genética e a evolução dos seres vivos	39	3
4 – Ciência, Tecnologia e Sobrevivência	30	8
5 – Outras tecnologias que mudaram o mundo	7	-

A maior parte dos registros sobre célula encontra-se em dois capítulos, o capítulo 5 (Entendendo a herança genética) aborda células dentro do contexto da genética e hereditariedade, já o capítulo 8 (Tecnologia e saúde) aborda temas atuais relacionados às células, como os organismos transgênicos, a clonagem e a terapia com células-tronco. Pode-se notar mais uma vez que há pouca abordagem histórica sobre células, estando restrita ao capítulo 6 (teorias sobre a evolução dos seres vivos), quando há referências indiretas à teoria celular de Schwann e Schleiden e também ao microscópio acromático de Joseph Lister na p. 128: “Com o aperfeiçoamento do microscópio no século XIX foi possível constatar que todos os organismos são constituídos de células e que toda célula se origina de outra célula”. Porém não se citam nomes nem é dado mais detalhes sobre como se desenvolveu a teoria celular. Já a abordagem histórica do

capítulo 8 é sobre um período bem mais recente, já no século XXI, sobre os primeiros animais clonados no Brasil e as pesquisas utilizando células-tronco.

Em termos históricos e no contexto do estudo sobre células, essa coleção parece focar em alguns poucos nomes, como o de Gregor Mendel na genética, e Ernest Rutherford na teoria atômica. É uma abordagem bastante pontual e tipicamente historiográfica, diferente do que é apontado no Guia do PNLD (BRASIL, 2010). Voltaremos a tratar desse assunto no item 5.4, que faz algumas considerações sobre as coleções didáticas.

Ao analisarmos os registros de imagens desse último volume da coleção didática, mais uma vez percebemos a escassez de registros obtidos por microscopia, estando restritos a somente dois capítulos, como se vê no apêndice 15. No capítulo 5, quatro das cinco imagens mostram células em divisão celular vistas em um MOC. Já no capítulo 7 (estratégias de defesa dos organismos) a única imagem de microscopia, utilizando um MEV, é a de um leucócito, célula de defesa do organismo.

5.3 Coleção: *Ciências Naturais*. Olga Santana, Aníbal Fonseca e Erika Mozena

A coleção é composta por quatro livros do aluno e respectivos manuais do professor. Cada volume possui um sumário bastante completo, seguindo uma estrutura interna tradicional. Os livros são divididos em unidades, cada uma contendo capítulos que abordam grandes temas, todos eles, direta ou indiretamente, relacionados à Terra. Assim, no 6º ano o principal tema é o planeta e suas características gerais; a água e sua importância para os seres vivos e a humanidade, e por fim o uso da Terra e do seu solo pelos seres humanos. No 7º ano os principais temas são a vida, suas características e diversidade no planeta; o calor e a temperatura no planeta; e por fim os alimentos e saúde dos seres humanos. No 8º ano aborda-se a dinâmica da vida no planeta em seus diferentes ecossistemas, os seres vivos e a manutenção da vida na Terra, e um pouco da química do planeta. Finalmente, no 9º ano, abordam-se as forças e os movimentos da natureza, as origens e a evolução da vida no planeta, os organismos e a percepção do ambiente, e a ciência e a tecnologia no cotidiano.

Essa coleção é, assim como a anterior, fartamente ilustrada com desenhos, esquemas, fotografias e gráficos. Também possui um bom conteúdo de pesquisa-experimentação ao longo dos capítulos de todos os volumes do livro, com seções como “Faça e descubra” e “Aprender é divertido”, com materiais de fácil obtenção e experimentos de fácil execução em sua maioria. Além disso, ao final de cada volume da coleção, existe uma seção denominada “Desenvolvendo competências e habilidades” com experimentos relacionados a alguns temas presentes em cada uma das unidades.

É importante destacar-se que esta foi a única coleção que na apresentação de cada volume, forneceu uma legenda (figura 31) para os ícones que indicam os instrumentos utilizados em imagens ampliadas com seus respectivos aumentos, embora essa legenda não forneça maiores detalhes dentre os tipos de microscópios utilizados. Um outro ponto positivo da coleção é que esta busca explicar a etimologia de diversos termos usados ao longo dos capítulos dos 4 volumes da coleção.

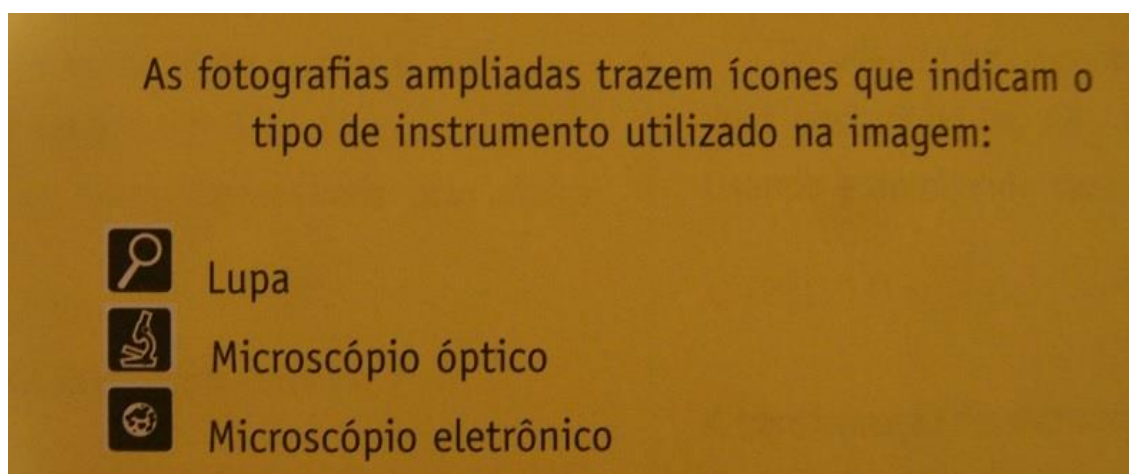


Figura 31:Legenda usada em algumas imagens presentes na coleção didática, apresentada ao início de cada volume desta coleção. Retirado do Volume 1 (6º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010, Saraiva).

VOLUME 1 - 6º Ano

Esse volume possui dezessete capítulos distribuídos em três unidades, todas tratando sobre o planeta Terra em diferentes aspectos. A primeira unidade enfoca a observação do planeta em termos de forma e localização no sistema solar, as suas principais características, além de alguns aspectos da vida no planeta, tais como o ciclo da vida e as cadeias alimentares. A segunda unidade enfoca as características da água no planeta, tais como sua origem, seus usos e propriedades físicas e químicas. Já a

terceira unidade enfoca mais o solo do planeta, destacando sua importância à vida e aos seres humanos.

No volume do 6º ano, as únicas referências às células se encontram no Capítulo 4 (O ciclo da vida), todas elas se referindo às células sexuais femininas e masculinas. Não há nenhuma referência à história do descobrimento da célula em todo o livro. Os resultados detalhados dessa análise numérica dos registros de células se encontram no apêndice 16.

Quanto à análise dos registros de fotografias obtidas por microscopia, foram encontrados somente oito imagens em todo esse volume, curiosamente não apenas no capítulo quatro, mas em mais outros três capítulos, em duas unidades do livro, como se pode ver mais detalhadamente no apêndice 17. Na tabela 12 abaixo encontram-se os resultados separados por unidades do livro:

Tabela 12: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 1 (6º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010).

6º Ano	Tipo de microscópio				
UNIDADE	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – Observando a Terra	3	-	1	-	2
2 – As águas do Planeta	-	-	-	-	2
3 – Investigando a Terra	-	-	-	-	-

Como se pode ver, há muito pouco uso de imagens obtidas por microscopia nesse volume dessa coleção didática. Entretanto, o mais interessante é que, apesar dos ícones indicando instrumentos utilizados em imagens ampliadas estarem presentes até mesmo em desenhos, justamente nas três únicas imagens de células que foram obtidas por MOC e presentes no capítulo 4, essas legendas estão ausentes, como se pode ver na figura 32. Outro erro do livro está na imagem das hifas de um fungo, ilustradas no capítulo 6, p. 107, as quais provavelmente foram obtidas por Microscopia Eletrônica e não por Microscopia Óptica, como o livro aponta.

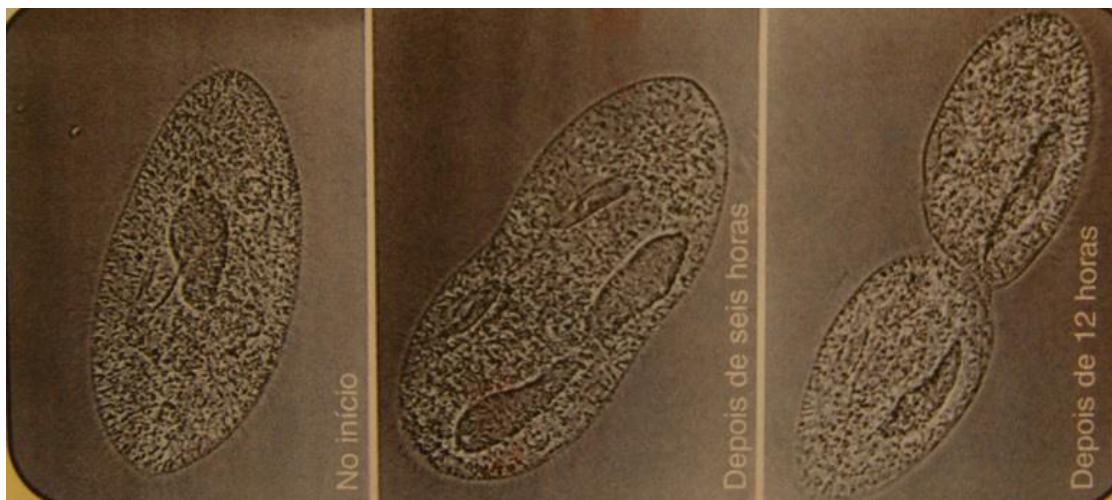


Figura 32: Imagens do protozoário *Paramecium* em reprodução assexuada. Retirado do Volume 1 (6º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010, Saraiva).

Por fim, vale lembrar que apesar de se mencionarem as células por diversas vezes no capítulo 4, nesse volume não se faz nenhuma introdução ao conceito de célula, algo que somente será feito no livro do 7º ano.

VOLUME 2 - 7º Ano

Esse volume está dividido em dezesseis capítulos em quatro unidades diferentes. As duas primeiras unidades tratam da vida, sua diversidade e distribuição na Terra, e as relações entre os seres vivos. A terceira unidade trata da subárea da Terminologia em Física. Por fim, a quarta unidade trata da alimentação e nutrição do ser humano. Esse volume desta coleção didática possui na seção ao final, denominada “Desenvolvendo competências e habilidades”, uma breve descrição dos dois tipos principais de microscópios: Ópticos e Eletrônicos, porém sem detalhes históricos de cada tipo de microscópio. Em seguida apresenta um breve roteiro prático de como usar o microscópio óptico.

Em onze dos dezesseis capítulos do livro o termo *célula* é encontrado, como pode se observar no apêndice 18. Considerando apenas as quatro unidades, nota-se que em todas elas essa menção ocorre, como se vê nos dados presentes na tabela 13 a seguir:

Tabela 13: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010)

UNIDADE	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – A vida que a vida traz	27	-
2 - Investigando a vida	46	1
3 – Investigando os fenômenos térmicos do dia-a-dia	4	-
4 – Alimentos e saúde	16	-

Logo no primeiro capítulo desse volume já há uma definição sobre células e a sua presença em todos os seres vivos. Percebemos que no capítulo 3 (A diversidade biológica), na p. 57 se usa o termo *unicelular* para tratar do protozoário *T. Cruzi*. Porém só depois de várias páginas é que se explica o significado e as diferenças entre os termos *unicelulares* e *pluricelulares*. Além disso o livro não menciona que as bactérias, pertencentes ao reino monera, são seres unicelulares, nem mesmo no capítulo 6, que trata especificamente dos microrganismos. Isso poderia dificultar a percepção pelos alunos que o fato dos micróbios serem unicelulares é justamente a principal razão para estes organismos serem invisíveis a olho nu.

Pela tabela anterior pode-se notar também que há somente uma menção sobre a história do descobrimento da célula em todo o livro. E é justamente nessa menção, presente no capítulo 6 (O incrível mundo dos micróbios) que encontramos o erro mais relevante desse volume, na p. 109: “O inventor do microscópio foi o holandês Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), um autodidata que pesquisava as ciências naturais.” Como vimos na seção 4.2 desta dissertação, o microscópio foi provavelmente inventado em 1595 pelos holandeses Hans e Zacharias Jansen. O livro também não menciona Robert Hooke e as suas observações feitas ao microscópio fabricado por ele próprio, e nem mesmo o fato de ter sido o primeiro a utilizar o termo *célula*.

Quanto aos registros fotográficos de célula, descritos por capítulos no apêndice 19, podemos perceber que estes registros, diferentemente dos de células, praticamente só se encontram na unidade 2, como se pode ver na tabela 14 a seguir:

Tabela 14: Distribuição de imagens de microscopia de células nas unidades do volume 2 (7º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010)

7º Ano	Tipo de microscópio				
UNIDADE	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – A vida que a vida traz	1	-	-	-	1
2 – Investigando a vida	7	-	7	4	11
3 – Investigando os fenômenos térmicos do dia-a-dia	-	-	-	-	-
4 – Alimentos e saúde	-	-	-	-	1

É interessante notar que várias das imagens de MEV desse livro não são de células ou de seres unicelulares, como por exemplo no capítulo 2, p. 47, que mostra uma formiga lava-pé, ou no capítulo 7, p. 127, que mostra soros de samambaias, além de outros exemplos neste e em outros volumes dessa coleção didática. Acreditamos que nesses casos a escolha por imagens obtidas por essa técnica de microscopia se deva mais por uma razão estética do que científica, voltaremos a discutir esse assunto de maneira mais aprofundada nas considerações finais.

VOLUME 3 - 8º Ano

Esse volume está dividido em quinze capítulos em quatro unidades diferentes. Cada uma das unidades trata de uma área diferente do conhecimento científico. A primeira unidade trata novamente do planeta Terra, buscando relacionar suas características com os ritmos biológicos de diversos seres vivos e a própria dinâmica da vida no planeta. A segunda unidade trata da fisiologia dos seres vivos, abordando um pouco da nutrição, respiração e circulação, principalmente no ser humano. A terceira unidade está relacionada à química do dia-a-dia e suas descobertas. Finalmente, a quarta unidade trata da energia e suas principais fontes.

Ao analisarmos os registros sobre células, descritos no apêndice 20, percebemos que esses registros estão presentes em apenas sete dos quinze capítulos. Ao se considerar apenas as quatro unidades, obtivemos a tabela 15, descrita a seguir:

Tabela 15: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010).

UNIDADE	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – A Terra e seus segredos	1	-
2 – Os seres vivos e a manutenção da vida	125	-
3 – Um pouco da química que nos rodeia	43	4
4 – Energia: Vida e progresso	-	-

Nota-se mais uma vez que a maioria das citações está presente em uma única unidade, a qual trata especificamente da vida, porém curiosamente nesta unidade não há nenhuma abordagem histórica sobre células. A primeira menção histórica neste volume só surge na terceira unidade, no capítulo 9, p. 177, quando Antoni van Leeuwenhoek é novamente citado como o inventor do microscópio, embora não de maneira tão explícita como no volume do 7º ano: “A ideia de que o sangue é um líquido homogêneo permaneceu até a invenção dos primeiros microscópios. Em meados do século XVII, Leeuwenhoek, utilizando um microscópio rudimentar, observou no sangue pequenas estruturas, descritas como glóbulos vermelhos.” As outras únicas menções históricas desse volume estão no capítulo 11, p. 224, onde há uma breve história do surgimento dos corantes na Biologia Celular.

Os registros fotográficos de células usando microscopia se mostraram mais uma vez escassos ao longo deste volume, como se nota no apêndice 21. Além disso, percebe-se que estes registros se restringem basicamente a dois tipos de microscopia, conforme descrito na tabela 16 a seguir, que considera somente as unidades do livro:

Tabela 16: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 3 (8º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010).

8º Ano UNIDADE	Tipo de microscópio				
	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – A Terra e seus segredos	2	-	-	-	-
2 – Os seres vivos e a manutenção da vida	5	-	2	-	5
3 – Um pouco da química que nos rodeia	6	-	-	-	4
4 – Energia: Vida e progresso	-	-	-	-	-

Constatamos mais uma vez a preferência de usos de imagens obtidas por MOC e MEV, assim como nos volumes de 6º e 7º ano desta coleção.

VOLUME 4 - 9º Ano

O último volume dessa coleção didática possui 15 capítulos, mais uma vez distribuídos em quatro unidades. Assim como no 8º ano, cada uma das unidades busca ser bastante interdisciplinar ao longo dos capítulos. A primeira unidade está mais relacionada à Física, ao abordar as forças e movimentos da natureza, porém relacionando com os músculos do corpo humano. A segunda unidade retoma o estudo da vida, suas origens no universo e na Terra e algumas teorias evolutivas. Na terceira unidade é abordado principalmente a relação dos organismos com o ambiente, relacionando ao estudo da ondulatória da Física. Finalmente na quarta unidade é abordado o eletromagnetismo, seus princípios e aplicações.

Esse é certamente o volume que mais aborda quantitativamente as células. Apesar disso, em cinco dos quinze capítulos não são encontrados registros desse termo, como se pode perceber no apêndice 22. Considerando apenas as unidades temos a distribuição descrita na tabela 17 a seguir:

Tabela 17: Distribuição de conteúdos sobre células por unidades do volume 4 (9º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010).

UNIDADE	Nº de citações do termo <i>célula</i>	Nº citações de <i>célula</i> em contexto histórico
1 – As forças e os movimentos da natureza	14	-
2 – Vida: da origem à biotecnologia	125	1
3 – Os organismos e a percepção ambiente	30	-
4 – Ciência e Tecnologia no cotidiano	1	-

Mais uma vez, praticamente não há referências à história da descoberta das células, a única referência nesse sentido se encontra no capítulo 8, p. 146, ao se mencionar que essa descoberta ocorreu no século XVII, porém dessa vez não se menciona quem, nem onde ou como se deu essa descoberta.

Assim como relatamos no volume anterior desta coleção, percebemos que os registros fotográficos de células usando microscopia são escassos e restritos a seis dos quinze capítulos, como se nota no apêndice 23. E mais uma vez privilegiando somente dois tipos de microscopia, conforme descrito na tabela 18 a seguir, que considera somente as quatro unidades do livro:

Tabela 18: Distribuição das imagens de microscopia de células nas unidades do volume 4 (9º Ano) da coleção *Ciências Naturais* (Santana e Fonseca, 2010).

9º Ano UNIDADE	Tipo de microscópio				
	MOC	MF	MCF	MET	MEV
1 – As forças e os movimentos da natureza	-	-	2	-	2
2 – Vida: da origem à biotecnologia	8	1	-	-	4
3 – Os organismos e a percepção ambiente	3	-	-	-	5
4 – Ciência e Tecnologia no cotidiano	-	-	-	-	-

Como mencionamos no início da análise desta coleção, esta foi a única coleção didática em que foi colocada uma legenda nas fotos obtidas por microscopia óptica ou

eletrônica, embora não se especifique melhor os subtipos dentro de cada um desses dois tipos principais. Porém, essas legendas estavam ausentes em diversas imagens analisadas, as quais foram claramente obtidas pelo uso de microscopia. Em outras situações estas legendas estavam trocadas, ou seja, enquanto na legenda indicava-se que a imagem havia sido obtida por microscopia óptica, esta na verdade foi obtida por microscopia eletrônica.

5.4 Considerações sobre as coleções didáticas

Após fazermos a análise de cada coleção didática, procuramos comparar as resenhas do Guia do PNLD de Ciências (BRASIL, 2010) com a nossa análise, procurando verificar se o que é falado nas resenhas quanto aos aspectos históricos das coleções está em acordo ou desacordo com o que verificamos nas mesmas.

Quanto ao aspecto histórico da primeira coleção didática avaliada, *Ciências*, o único momento em que isto é abordado no guia, e de maneira indireta, é quando este afirma que “a coleção procura mostrar como o conhecimento científico é produzido, ou seja, o contexto e processos de criação e recriação pelos diversos agentes, período, local, dificuldades, dentre outros” (BRASIL, 2010, p. 40). Porém, ao menos no que diz respeito à história do descobrimento da célula, os conteúdos apareceram descontextualizados de seu meio histórico e social, em quadros à parte do texto principal ao final de poucos capítulos, e em somente dois volumes dessa coleção.

Em relação aos registros de imagens, concordamos com o Guia quando este faz a ressalva que “em algumas ilustrações, observa-se um tamanho diminuto das letras, bem como quantidade excessiva de textos (BRASIL, 2010, p. 40). Assim como o Guia, também acreditamos que há um excesso de conteúdos na coleção e que “em alguns casos, a quantidade e profundidade de conteúdos parecem inadequadas aos alunos do nível de ensino considerado” (BRASIL, 2010, p. 38). Da mesma maneira, também verificamos que as atividades experimentais da coleção “estão presentes em um número muito reduzido e com um caráter prioritariamente de demonstração” (BRASIL, 2010, p. 41). Acreditamos que se essas atividades estivessem presentes em maior número, contribuiriam para que os alunos naturalizassem mais facilmente diversos conceitos apresentados, como no caso da própria célula.

Curiosamente, ao analisarmos rapidamente a edição trienal anterior (2008-2010) dessa coleção, constatamos que a mesma praticamente não havia sido alterada em seu conteúdo em relação ao triênio analisado, salvo algumas modificações em figuras e diagramações presentes nos volumes. Em julho de 2013, a nova edição dessa coleção didática, que foi aprovada pelo novo guia do PNLD 2014-2016 (BRASIL, 2013) chegou às escolas municipais de Vinhedo. E ao fazermos uma rápida análise desta nova edição pudemos constatar, mais uma vez, que praticamente não houve mudanças em seu conteúdo, estando as mudanças restritas ao projeto gráfico do livro.

Esses tipos de melhorias vão justamente ao encontro da análise dos livros didáticos feita por Megid Neto e Fracalanza (2003). Ou seja, como os autores afirmam: “apesar de todos os esforços empreendidos até o momento, ainda não se alterou o tratamento dado ao conteúdo presente no livro que configura erroneamente o conhecimento científico como um produto acabado, elaborado por mentes privilegiadas, desprovidas de interesses político-econômicos e ideológicos” (MEGID NETO e FRACALANZA, 2003, p.151). Parece, portanto, como os autores afirmam, que as deficiências presentes nos livros didáticos são muito difíceis de modificar nas coleções existentes no Brasil e que “parece ser necessário, em quase todos os casos, reescrever-se por completo cada livro didático, cada coleção tornada disponível pelo mercado editorial aos professores e seus alunos.” (MEGID NETO e FRACALANZA, 2003, p. 151). Este, ao menos, parece ser o caso desta coleção analisada.

Conforme o Guia do PNLD (BRASIL, 2010), a coleção didática *Construindo Consciências*, segunda coleção didática avaliada, tem “uma forte preocupação em evidenciar a historicidade do conhecimento científico, apresentando, não apenas nos textos diretamente relacionados à história da Ciência, mas igualmente no texto principal e nas atividades propostas, discussões que procuram construir uma concepção adequada de Ciência como produção humana e coletiva” (BRASIL, 2010, p. 84). Porém constatamos em nossa avaliação que a história do descobrimento da célula se restringiu a poucos nomes nessa coleção didática, estando mais uma vez restrita a alguns capítulos de somente dois volumes. O mesmo pode se dizer da coleção *Ciências Naturais*, na qual o Guia avalia que “as noções apresentadas são abordadas em seu caráter histórico, em um contexto que exige um compromisso social”. Esta foi a

coleção didática que menos apresentou aspectos históricos sobre o estudo do desenvolvimento da célula, além de várias omissões e erros históricos, como o que afirmava que Leeuwenhoek foi o inventor do microscópio.

Entretanto, concordamos com o Guia quando este reconhece que ambas as coleções, *Construindo Consciências* e *Ciências Naturais*, apresentam um ótimo conteúdo experimental de forma geral, com atividades motivadoras e de fácil execução. Porém, mais uma vez, são muito poucas as atividades relacionadas à Biologia Celular, sobretudo através do uso de técnicas de microscopia. Na coleção *Ciências Naturais*, por exemplo, o uso do microscópio óptico só é tratado no apêndice “Construindo competências e habilidades” presente ao final do volume do 7º ano.

Embora não seja o objetivo principal desta investigação, notamos que ainda persistem algumas falhas conceituais nas coleções didáticas. Um exemplo disso é a noção errônea que o Complexo de Golgi¹⁵ é uma organela celular com a função de “armazenar” parte das proteínas produzidas na célula. Porém, como Alberts (2009) e Carvalho e Recco-Pimentel (2013) reconhecem, o Golgi e outras organelas são parte do sistema de endomembranas celulares, e estão envolvidos na capacidade das células de importar matérias-primas e de exportar substâncias e resíduos metabólicos. Esse conhecimento não é tão recente, pois mesmo em livros-texto mais antigos, como o de Swanson e Webster (1988) isso já era mencionado. Percebe-se então que é um equívoco considerar o Complexo de Golgi como uma organela que faz o armazenamento de proteínas, e que parece ter havido uma naturalização de um conceito errôneo nas coleções didáticas.

Como Croft (2006) lembra, desde a antiguidade a humanidade esteve interessada no universo daquilo que é muito pequeno. Desde a Idade Média, utilizamos lentes de vidro ou resina para ampliar os limites ou corrigir defeitos de nossa visão. Desde o século XVI o uso dos telescópios nos têm permitido ver objetos muito distantes enquanto os microscópios nos tornam capazes de ver objetos muito pequenos. Como o desenvolvimento da microscopia ao longo dos séculos tem sido contínuo, a capacidade de se ver objetos menores aumentou significativamente. Essa capacidade tem requerido medidas cada vez menores para descrever quantitativamente as primeiras

¹⁴ Nome dado a essa organela celular devido a sua descoberta e descrição pelo médico italiano Camilo Golgi em 1898, após estudar células do sistema nervoso (Fonte: Carvalho e Pimentel, 2013).

observações feitas a olho nu e produzido uma grande variedade de tipos de microscópios, muitos dos quais raramente se assemelham a microscópios comuns. Atualmente, existem dezenas de tipos de microscópios diferentes¹⁶, muitos deles com aplicações que se estendem muito além da área de estudo da Biologia Celular.

Entretanto, como mostramos anteriormente, há pouca variedade de tipos de microscopia utilizados para se obterem imagens de células nas coleções didáticas avaliadas. Notamos também uma grande predileção pelo uso de imagens obtidas por MEV em todas as coleções didáticas. Para verificar se isso realmente ocorreu, somamos as imagens obtidas nos diferentes tipos de microscopia em cada coleção didática, e obtivemos os resultados apresentados na tabela 19 a seguir:

Tabela 19: Somatória total da distribuição das imagens de células obtidas por microscopia nas coleções didáticas analisadas na pesquisa.

Coleção: Ciências (Barros e Paulino, 2010)

	Tipo de Microscopia				
	MOC	MF	MCF	MET	MEV
6º Ano	2	0	0	0	0
7º Ano	9	0	1	12	9
8º Ano	3	1	1	3	15
9º Ano	0	0	0	0	4
TOTAL	14	1	2	15	28

Coleção: Construindo Consciências (Carmen de Caro *et al.*, 2010)

	Tipo de Microscopia				
	MOC	MF	MCF	MET	MEV
6º Ano	44	1	2	8	16
7º Ano	1	0	0	0	2
8º Ano	5	0	0	0	13
9º Ano	4	0	0	1	1
TOTAL	54	1	2	9	32

Coleção: Ciências Naturais (Santana e Fonseca, 2010)

	Tipo de Microscopia				
	MOC	MF	MCF	MET	MEV
6º Ano	1	0	1	0	4
7º Ano	8	0	7	4	13
8º Ano	13	0	2	0	9
9º Ano	11	1	2	0	11
TOTAL	33	1	14	4	36

¹⁶ Fontes: <http://www.microscopyu.com/> , <http://www.cas.miamioh.edu/mbi-ws/microscopes/types.html>.

Como se pode verificar, a MEV foi o tipo de microscopia mais utilizada para se obter imagens de células em duas (*Ciências* e *Ciências Naturais*) das três coleções analisadas, além de ter sido a segunda mais utilizada na coleção *Construindo Consciências*. Acreditamos que as principais razões para isso sejam pela riqueza de detalhes das superfícies observadas e a noção de tridimensionalidade que se obtém nas imagens, diferentemente de outras técnicas de microscopia, que somente permitem uma visualização em duas dimensões. Segundo Croft (2006), nos últimos anos, as imagens obtidas por MEV têm sido amplamente publicadas, tanto em revistas de grande circulação como aquelas voltadas a um público específico, por conferirem uma sensação de realidade que falta em imagens obtidas por outras técnicas de microscopia.

Aqui pode-se estabelecer uma relação com a HFC, ao se lembrar do que Martins (2011) comenta sobre as imagens feitas por Robert Hooke no seu livro *Micrographia*. As imagens deste livro oferecem, além da riqueza de detalhes que é relatada pelo autor, uma beleza artística que somente poucos desenhistas são capazes de recriar em suas ilustrações. Por essas razões que acreditamos que a MEV foi muitas vezes utilizada nas coleções didáticas não somente para ilustrarem-se células, mas também seres vivos pluricelulares ou suas partes, como no caso dos soros das plantas, formigas, pulgas, minhoca. Isso porque somente nessas imagens é que podem ser vistos tantos detalhes da superfícies desses seres vivos e suas estruturas.

Entretanto é importante lembrar que as imagens de MEV não permitem visualizar o interior de estruturas tridimensionais, como é o caso das próprias células, o que a torna inadequada para visualizar processos fisiológicos intracelulares. Isso se deve ao fato de o MEV ser mais um dispositivo de mapeamento de superfície do que de obtenção de imagens (CROFT, 2006), o que o torna um instrumento do mesmo tipo do que a máquina de fax, o sonar ou o microscópio confocal. Outras técnicas de microscopia, como a de fluorescência, nos fornecem a oportunidade de gerar e visualizar componentes luminosos dentro das células, permitindo estudar a dinâmica de células vivas (FORD, 2009), entretanto imagens obtidas por esta técnica foram praticamente inexistentes nas coleções didáticas avaliadas.

Atualmente, como lembra Bizzo (2009), a fotografia digital trouxe uma verdadeira revolução para a imagem, o que significa que as oportunidades de observação, nas aulas de ciências, podem se beneficiar muito disso. Entretanto, notamos a pouca quantidade de imagens de microscopia nas coleções no que se refere ao tema células, ao contrário do que seria esperado de uma coleção didática atual. Segundo o mesmo autor, as fotografias podem conferir oportunidades de observação únicas aos estudantes, viabilizando uma aprendizagem significativa no momento de buscar informações, analisar experimentos e apresentar modelos. Na revisão histórica realizada nesta pesquisa pode-se encontrar diversos exemplos nesse sentido, tais como: a descoberta do núcleo; a teoria celular; os processos de divisão celular e a descoberta do DNA no núcleo da célula. Porém essa abordagem histórica ou a da fotografia digital é quase inexistente nas coleções didáticas avaliadas.

Nas últimas décadas a maioria dos desenvolvimentos tecnológicos na microscopia têm sido no sentido de obter maiores e melhores imagens, aumentando os limites da resolução. Segundo Ford (2009) essa busca por si só tem se revelado um erro, pois ela tem alimentado um reducionismo que, apesar de conseguir desvendar muitos dos detalhes dentro de células vivas, nos faz ignorar como as células se comportam e interagem entre si. O autor afirma que o ímpeto em direção à biologia molecular e genética pode nos estar afastando dos estudos das células como organismo, e que precisamos observar células vivas, e não apenas analisarmos os seus conteúdos. Como Yuste (2005) lembra, é interessante notar que os primeiros microscópios eram utilizados por Leeuwenhoek para estudar amostras vivas. Atualmente, após um longo desvio de percurso, equipados com o poder da engenharia genética e um maior entendimento da Química e da Física, os microscopistas de hoje parecem estar retornando às suas raízes, ao documentar diretamente o dinamismo da vida.

Fracalanza e Megid Neto (2006) lembram que atualmente a literatura educacional enfatiza princípios educacionais tais como a interdisciplinaridade, vínculo do currículo com o ambiente sócio-histórico e atualização de informações e dos conteúdos escolares. Entretanto, como os mesmos autores recordam, se forem mantidas as atuais características mercadológicas dos livros didáticos, torna-se

bastante difícil supor que uma coleção didática satisfaça grande parte desses princípios. Além disso, lembram que dificilmente uma editora comercial se disporia a arriscar e custear uma produção editorial nova que exigisse um grande dispêndio para ser difundida e aceita pelo mercado. Face ao que relatamos nessa pesquisa, acreditamos que alternativas ao livro didático convencional e padronizado não deverão fazer parte das ações das editoras comerciais no mercado editorial em um futuro próximo.

Segundo Clément (2007), até hoje a maioria dos livros didáticos ainda introduz o conceito de célula usando os protótipos clássicos de uma célula de planta juntamente com o de uma célula animal isolada, e que as únicas melhorias têm sido a adição das ultraestruturas das organelas celulares, geralmente mostradas em representações tridimensionais e coloridas. O autor afirma que a persistência dessa representação tem raízes históricas, baseadas na divisão profundamente enraizada entre botânica e zoologia. Isso ilustra como a modernização do conhecimento científico ainda pode ser compatível com a manutenção de arquétipos tradicionais. Além dos protótipos citados anteriormente, no ensino de Biologia Celular tem sido adotado um modelo único para se desenhar células, consistindo em dois círculos concêntricos, o interno para a membrana nuclear, e o externo para a membrana celular, também conhecido como *modelo de ovo*.

Entretanto, como Clément (2007) afirma, essa convenção pode induzir a alguns obstáculos didáticos. Um deles seria a dificuldade dos estudantes em entender a diferenciação celular se associarem a morfologia celular exclusivamente com esse desenho convencional. Além disso, esse modelo, no qual a célula aparece isolada, pode induzir os estudantes a pensarem que o processo de diferenciação celular é exclusivamente endógeno, e que não depende da interação entre a célula e o seu ambiente. Segundo o mesmo autor, o *modelo de ovo* da célula pode ser associado a uma ideologia de determinismo endógeno, pois muitas vezes supõe-se que toda a informação de um ser humano adulto está contida dentro da célula-ovo inicial, formada na fecundação do óvulo pelo espermatozoide. Isso não é verdade, pois a diferenciação celular é controlada por interações da célula com o seu ambiente, frequentemente com outras células (CLÉMENT, 2007).

Com os avanços da Biologia Molecular na pesquisa científica e a sua crescente influência em livros textos escolares, há um risco desses obstáculos didáticos se tornarem ainda maiores, pois atualmente o ensino de Biologia Celular está mais focado nos processos intracelulares do que na diferenciação celular e a organização das células em órgãos e tecidos. Para evitar que isso ocorra, Clément (2007) recomenda que sejam tomadas duas medidas no ensino:

1º Apresentarem-se inicialmente diferentes tipos de células animais e vegetais, tais como células musculares, neurônios, células epiteliais, células de gordura, bem como organismos unicelulares.

2º Fazer uma abordagem histórica ao se introduzir o conceito de células, o que já é feito em países como França e Alemanha, nos quais os primeiros desenhos de células apresentados aos alunos são os feitos por Hooke, Schleiden e Schwann, muitas vezes com imagens dos próprios cientistas. Ao se utilizarem dessas ilustrações de células, os alunos entenderiam as características comuns entre células animais e vegetais da mesma maneira que os cientistas entenderam nos séculos passados. Quando lhes fossem apresentadas imagens atuais de células, os estudantes entenderiam o conceito de célula como uma síntese representativa de diferentes tipos celulares, e não como os protótipos de células animais e vegetais citados anteriormente.

Portanto, um dos objetivos desta investigação é o de compilar alguns episódios da história do descobrimento da célula, com objetivo de produzir-se em um futuro próximo materiais paradidáticos, como softwares e livros paradidáticos para uso em escolas de ensino fundamental e médio, ideia que já foi proposta e apoiada por alguns pesquisadores que consultamos. Outros objetivos seriam de produzir-se artigos e/ou material de apoio a professores da educação básica, como a linha do tempo (Apêndice 1) que se encontra ao final deste texto, a qual busca relacionar episódios da história do descobrimento da célula com avanços tecnológicos em microscopia.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do conhecimento científico é um processo coletivo e histórico, com as contribuições se somando ao longo dos séculos e levando a um aperfeiçoamento do saber. Como exemplos ilustrativos, podemos citar a teoria atômica, a teoria heliocêntrica, a teoria da evolução e a própria história do descobrimento da célula. Em vários momentos dessa história, ocorreram disputas acirradas sobre autorias, e os exemplos aqui mostrados ilustram que a construção do conhecimento não é obra de gênios ou iluminados. Essa construção é resultado do esforço e dedicação de muitos, alguns dos quais dificilmente serão reconhecidos por suas contribuições. Isso não significa negar o papel do indivíduo na história e minimizar as contribuições de Hooke, Leeuwenhoek, Brown, Schwann e outros cientistas à história do descobrimento da célula, mas sim de reconhecê-los como seres sociais e históricos. Trata-se de um embate à mistificação do cientista e à visão de que apenas um indivíduo pode mudar a história da ciência.

Em um certo nível, como afirmam Bowler e Morus (2005), a ciência ainda é uma atividade pessoal, quando são dados os créditos a um cientista pela primazia de uma descoberta. Porém esse processo necessariamente requer uma interação social em uma comunidade científica, que precisa ser convencida a aceitar essa descoberta e as conclusões teóricas associadas a ela. Portanto o cientista necessita ser parte de uma organização ou sociedade científica. Essas sociedades têm sido utilizadas pelos cientistas nos seus esforços de comunicação às partes interessadas fora do ambiente científico. Por uma razão bastante prática: Como a produção científica tem se tornado cada vez mais cara, aqueles que estão de fora dela devem ser convencidos de seu valor, para que lhe subsidiem os recursos necessários. As fontes de patrocínio mudaram, da nobreza do século XVII para os governos, empresas e o público em geral na atualidade, porém a necessidade de se “vender” Ciência continua a mesma desde então.

Percebe-se então que a ciência é uma produção humana impregnada de valores e interesses sociais, os quais são constantemente revisados. Disso surge a necessidade de sempre revisitar-se a própria história da ciência, para daí construir-se

uma visão mais elaborada do mundo e poder transformá-lo. A exploração dos processos históricos facilita a compreensão dos conceitos e dá sentido social às descobertas científicas. Essa visão é fundamental e muito útil em uma proposta inovadora de ensinar ciências. Ensinar ciências através da história é um caminho que facilita e embasa o aprendizado dos alunos, pois quando eles conhecem o processo histórico da construção de um conceito científico, o compreendem e o utilizam mais facilmente, o que os estimula a se aprofundarem no tema e poderem oferecer suas contribuições futuramente.

A evolução do conhecimento sobre células possibilitou o surgimento de tecnologias que afetam significativamente a qualidade de vida da humanidade. Entretanto, em nossa avaliação dos livros didáticos, verificamos que há deficiência de conteúdos contextualizados historicamente. Acreditamos que uma abordagem que considere uma perspectiva histórica, e que relacione descobertas importantes com tecnologias presentes em nosso cotidiano, poderia contribuir de forma significativa com a compreensão dos conceitos fundamentais relacionados à biologia da célula compatíveis com o currículo de ciências do Ensino Fundamental. Além disso, essa abordagem ajudaria a corrigir erros conceituais como os que citamos, evitando que estes erros se naturalizem nos livros didáticos e prejudiquem a atuação dos professores e alunos que os utilizam.

Nesse sentido, concordamos com a proposta de Bejarano e Rosa (2010) e esperamos que um livro didático de Ciências apresente uma introdução equilibrada em diversas áreas da ciência. Isso significa mais do que apenas trazer nomes e definições dessas áreas para que os alunos guardem em suas memórias. Apesar de as diferentes áreas disciplinares estarem presentes nos livros didáticos com suas linguagens, modelos e visões específicas, acreditamos que trabalhar integradamente esses diferentes conhecimentos torna mais denso esse processo de iniciação cultural científica.

A apresentação discreta da Biologia Celular nas coleções avaliadas evidencia uma dificuldade de incorporação dos resultados das pesquisas acadêmicas recentes na área de Ensino de Ciências, dificultando a melhoria dos materiais pedagógicos de apoio aos docentes. Sendo assim, os dados dessa pesquisa indicam que as coleções

amostradas mantêm uma abordagem bastante tradicional sobre a Biologia Celular, pouco utilizando estratégias integrativas com outras áreas da Biologia como, por exemplo, ao abordar os diferentes níveis de organização dos seres vivos, o que poderia ser melhor integrada com Anatomia ou Fisiologia, por exemplo. Apesar da avaliação governamental dos livros didáticos utilizados no sistema público de ensino ao longo dos anos ter permitido uma significativa melhoria nesses materiais, diminuindo inclusive erros conceituais (FRACALANZA e MEGID NETO, 2006), sabemos que todo o conhecimento científico produzido nas áreas da Biologia não se acomodaria nos livros didáticos. Assim, como discutem Lopes e Macedo (2011), o saber a ser ensinado decorre de um processo de negociação que envolve interesses educacionais, sociais e políticos, entre outros. Os livros didáticos são evidências dessa negociação, mostrando que a Biologia Celular ainda não é uma prioridade no ensino de Ciências proposto pelas coleções didáticas analisadas.

Enfim, acreditamos que a Ciência precisa ser entendida em um contexto histórico geral e nos contextos específicos de cada uma das Ciências. Assim como Bejarano e Rosa (2010) afirmam que não precisamos ter receio de ensinar Química no ensino fundamental para melhor entender o mundo em que vivemos, acreditamos que o mesmo se aplica à Biologia Celular pois, quando tratamos dessa Ciência no momento histórico que vivemos, não podemos nos esquecer que estamos nos referindo à uma área do conhecimento onde outras diferentes áreas tiveram papéis fundamentais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, B.. Essential Cell Biology. 3. ed. New York: Garland Publishing, 2009. 732 p.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSNAJDER, F.. Revisão da Bibliografia. In: ALVES-MAZZOTTI, Alda Judith; GEWANDSNAJDER, Fernando. O método nas ciências naturais e sociais. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 2002. p. 179-188.
- ARAÚJO-JORGE, T C et al. Microscopy images as interactive tools in cell modeling and cell biology education. Cell Biology Education, New York, v. 2, n. 3, p.99-110, jul. 2004.
- BALMAIN, Allan. Cancer genetics: from Boveri and Mendel to microarrays. Nature Reviews: Cancer, Londres, v. 1, n. 1, p.77-82, out. 2001.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. 4. ed. Lisboa: Edições 70, 2004. 224 p.
- BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P.. A História da Ciência iluminando o ensino de visão. Ciência & Educação, Bauru, v. 5, n. 1, 1998 .
- BATISTETI, C. B.; ARAÚJO, E. S. N.; CALUZZI, J. J. As estruturas celulares: o estudo histórico do núcleo e sua contribuição para o ensino de biologia. Filosofia e História da Biologia, São Paulo, v.4. p.17-42, 2009.
- BBC (Inglaterra). London's Burning: The Great Fire. 2011. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/history/british/civil_war_revolution/great_fire_01.shtml>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- BEJARANO, N. R. R.; CARVALHO, A. M. P.. Tornando-se professor de ciências: crenças e conflitos. Ciência & Educação, Bauru, v. 9, n. 1, p.1-15, jan. 2003.
- BEJARANO, N. R. R.; ROSA, M. I. P. Química nos anos iniciais para integração do conhecimento. In: BRASIL. Ministério da Educação. Coleção explorando o ensino: Ciências. v. 18. Brasília: Secretaria de Educação Básica, 2010. Cap. 10. p. 145-158.
- BELTRAN, M. H. R. et al. História da ciência: Tópicos atuais. São Paulo: Livraria da Física, 2010. 216 p.
- BENSON, K. R.. T. H. Morgan's resistance to the chromosome theory. Nature Reviews Genetics, Londres, v. 2, n. 1, p.469-474, jun. 2001.
- BIZZO, N. Mais Ciência no Ensino Fundamental: Metodologia de ensino em foco. São Paulo: Editora do Brasil, 2009. 142 p.
- BIZZO, N. Pensamento científico: a natureza da ciência no ensino fundamental. São Paulo, Melhoramentos, 2012. 176 p.
- BOWLER, P. J.; MORUS, I. R. Making modern Science: a historical survey. Londres, The University of Chicago Press, 2005. 530 p.
- BRACK, A. The Molecular Origins of Life. Cambridge, Cambridge University Press. 1998. 413 p.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. Breve história da ciência moderna, volume 2: Das máquinas do mundo ao universo máquina. 3. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2010. 136 p.

- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. Breve história da ciência moderna, volume 3: Das luzes ao sonho do doutor Frankenstein. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2011. 160 p.
- BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C.. Breve história da ciência moderna, volume 4: A belle-époque da ciência. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2012. 188p.
- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais: Terceiro e Quarto Ciclos do Ensino Fundamental - Ciências Naturais. Brasília: MEC/SEF. 1998. 138 p.
- BRASIL, Orientações Curriculares para o ensino médio. Brasília, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 140 p.
- BRASIL, Guia de livros didáticos: PNLD 2011 : Ciências. Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2010. 84 p.
- BRASIL, Guia de livros didáticos: PNLD 2014 : Ciências. Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2013. 144 p.
- BROWN, R.; BENNETT, J. J. The miscellaneous botanical work of Robert Brown. Londres, Published for the Ray Society by Ray Hardwicke, 1866. 638 p.
- BRYSON, B. Seeing further: The story of Science, Discovery, and the genius of the Royal Society. Londres. Harper Collins Publishers, 2011. 506 p.
- CARVALHO, A. M. P. et al. Ciências no ensino fundamental: o conhecimento físico. São Paulo: Scipione, 2009.
- CARVALHO, H. F.; PIMENTEL, S.M.R. A Célula. 3. ed. Barueri: Manole, 2013. 590 p.
- CLÉMENT, P. Introducing the cell concept with both animal and plant cells: A historical and didactic approach. Science & Education, New York, v. 1, n. 16, p.423-440, 2007.
- COX, B. & COHEN, A. Wonders of life. Londres: Harper Collins Publishers, 2013. 288p.
- CRICK, F. H. On Protein synthesis. Symp. Soc. Exp. Biol., Londres, p.138–63, 1958.
- CROFT, W. J. Under the microscope: a brief history of microscopy. Londres: World Scientific Publishing, 2006. 138 p.
- DAHM, R. Discovering DNA: Friedrich Miescher and the early years of nucleic acid research. Human Genetics, New York, n. 6, v. 122, p. 565-581. 2008.
- DARWIN, C. A origem das espécies por meio de seleção natural. São Paulo: Publifolha, 2006. 368 p.
- DEL PINO, J. C.; STRACK, R. O desafio da cientificidade na sala de aula. Pátio, São Paulo, v. 1, n. 12, p. 6-9, Mai 2012.

FORD, B. J. Did physics matter to the pioneers of microscopy? *Advances in Imaging and Electron Physics*, Londres, v. 158, p.27-87, 2009.

FRACALANZA, H.; MEGID NETO, J. O livro didático de Ciências no Brasil. Komedi: Campinas. 2006. 216 p.

FRANCO, M. L. P. B. Análise de conteúdo. 2 ed. Liber Livro: Brasília, 2005. 78 p

FRIEDMAN, M. & FRIEDLAND, G. As dez maiores descobertas da medicina (edição de bolso). Companhia das Letras: São Paulo, 2006. 312 p.

GARBER, R., KUROIWA, A.; GEHRING, W. J. Genomic and cDNA clones of the homeotic locus Antennapedia in *Drosophila*. *EMBO J. Heidelberg*, v. 2, p. 2027-2036. 1983

GEHRING, W.J. et al. Lifting the lid on the homeobox discovery. *Nature*, Londres, v. 398, p.521-522. 1999, 10 jun 1999.

GEST, H. The discovery of microorganisms by Robert Hooke and Antoni van Leeuwenhoek, fellows of the royal society. *Notes Royal Soc. Lond.* Londres, v. 58, n. 2, p.187–201. 2004.

GEWANDSNAJDER, F. O método nas ciências naturais. São Paulo: Ática, 2010. 144 p.

GIBSON, Daniel G. et al. Creation of a Bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science*, Washington DC, v. 329, p. 52-56. 20 mai. 2010.

GOODAY, G. et al. Does Science Education Need the History of Science? *Isis*, Chicago, v. 99, p. 322-330. 2008.

GLASS, J. et al. Essential genes of a minimal bacterium. *PNAS*, Washington DC, v. 103, n. 2, p. 425-430. 10 jan. 2006.

GRIFFITHS, A. et al. Introdução à Genética. 8. ed. Guanabara Koogan: São Paulo, 2006. 764 p.

HALDER, G. ; CALLAERTS, P. & GEHRING, W. J. Induction of ectopic eyes by targeted expression of the eyeless gene in *Drosophila*. *Science*, Washington DC, v. 267, n. 5205, p. 1788-1792. 24 mar 1995.

HARRIS, H. The birth of the cell. Londres: Yale University Press. 2000. 212 p.

HARVARD UNIVERSITY. (EUA). Toward Synthetic Life: Scientists Create Ribosomes -- Cell Protein Machinery. 2009. Disponível em:

<<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/03/090309104434.htm>>. Acesso em 13 Jan. 2014.

HEINRICHS, A. Milestones in light microscopy: Stains and fluorescent dyes. *Nature Cell Biol*, Londres, v. 11, n. 7. Out. 2009.

HOOKE, R. *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses, with Observations and Inquiries Thereupon*. Courier Dover Publications: Londres, 1665. 524 p.

HOWARD, T. P. et al. Synthesis of customized petroleum-replica fuel molecules by targeted modification. *PNAS*, Washington DC, v.110, n.19, p. 7636-7641. 07 mai 2013

KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de biologia*. 4. Ed. São Paulo: Edusp. 2008. 198 p.

LEITE, L. History of Science in Science education: development and validation of a checklist for analysing the historical content of Science textbooks *Science & Education*, New York, v. 11, p.333-359, 2002.

LISTER, J. J. *Complete Dictionary of Scientific Biography*. 2008. Disponível em <www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830902640.html> Acesso em 20 Jan 2014.

LOPES, A. C.. Conhecimento escolar e conhecimento científico: diferentes finalidades, diferentes configurações. In: LOPES, A. C.. *Currículo e Epistemologia*. Ijuí: Unijuí, 2007. p. 170-186.

LOPES, A. C.; MACEDO, E.. *Teorias de Currículo*. São Paulo: Cortez, 2011. 280 p.

MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; PICCININI, C. Aprendendo com imagens. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 57, n. 4, p 38-40. Dez. 2005.

MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, São Paulo, v.9, p.3-5, 1990.

MARTINS, R. A. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física. 2006. p. 21-34.

MARTINS, R. A. Robert Hooke e a pesquisa microscópica dos seres vivos. *Filosofia e História da Biologia*, São Paulo, v.6, n.1, p. 105-142, 2011.

MAZZARELLO, P. A unifying concept: the history of cell theory. *Nature Cell Biology*. Londres, v.1, p. 13 – 15, mai 1999.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: Problemas e soluções. *Ciência & Educação*, Bauru, v.9, n.2, p. 147-157. 2003.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Constraints on Size of a minimal free-living cell. In: *Size Limits of very small microorganisms: Proceedings of a workshop*. Washington DC: National Academic Press, 1999. p. 5-38.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *The Science and applications of synthetic and systems biology*. Washington DC: National Academies Press, 2011

O'CONNOR, C. & MIKO, I. Developing the chromosome theory. *Nature Education*, Londres, v.1, n.1, p. 44-45. 2008.

OLIVEIRA, E. Análise de conteúdo e pesquisa na área da educação. *Diálogo Educacional*, Curitiba, v.4, n.9, p.11-27, mai 2003.

PAULING, L.; COREY, R. B. A proposed structure for the nucleic acids. *PNAS*, Washington DC, v. 39, p. 84-97. Fev 1953

PESSOA JR., O.. Quando a abordagem histórica deve ser usada no ensino de ciências? *Ciência & Ensino*, Campinas, v.1, p. 4-6. 01 set. 1996.

POZO, J. I. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

PRESTES, M. E.; CALDEIRA, A. M. A.. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, São Paulo, v.4, p. 1-16. 2009.

RAVEN, P. H. *Biologia Vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. 856 p.

RONAN, C. A. *História Ilustrada da Ciência*, volume 3: Da Renascença à Revolução científica. Rio de Janeiro. Jorge Zahar. 2001. 162 p.

RONAN, C. A. *História Ilustrada da Ciência*, volume 4: A Ciência nos séculos XIX e XX. Rio de Janeiro. Jorge Zahar. 2001. 140 p.

ROSENTHAL, C. K. Milestones in light microscopy: The beginning. *Nature Cell Biol*, Londres, v.11, n. 6. Outubro de 2009.

RUTHERFORD, A. *The Cell: The Hidden Kingdom*. BBC Scotland, Documentário, (60 min.), DVD, 2010.

SATZINGER, H. Theodor and Marcella Boveri: chromosomes and cytoplasm in heredity and development. *Nature Reviews Genetics*, Londres, v.9, p. 231-238.

SERAFINI, A. The epic history of biology. Perseus Publishing, Cambridge: Perseus Publishing, 1993. 396 p.

SELES, S. E.; FERREIRA, M. S. Influências histórico-culturais nas representações sobre as estações do ano em livros didáticos de ciências. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 10, n. 1, p.101-110. 2004.

SILVA, T. T. Documentos de identidade: Uma introdução às teorias de currículo. Belo Horizonte: Autêntica. 2011. 154 p.

SILVER, G. A.. Virchow, The Heroic Model in Medicine: Health Policy by Accolade. *AJPH*, Washington DC, v. 77, n. 1, p.82-88, jan. 1987.

SWANSON, C. P. & WEBSTER, P. L. A célula. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1988. 252 p.

UNIVERSITY OF ARIZONA (EUA). Researchers Find Smallest Cellular Genome.2006. Disponível em: <<http://www.sciencedaily.com/releases/2006/10/061012184647.htm>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

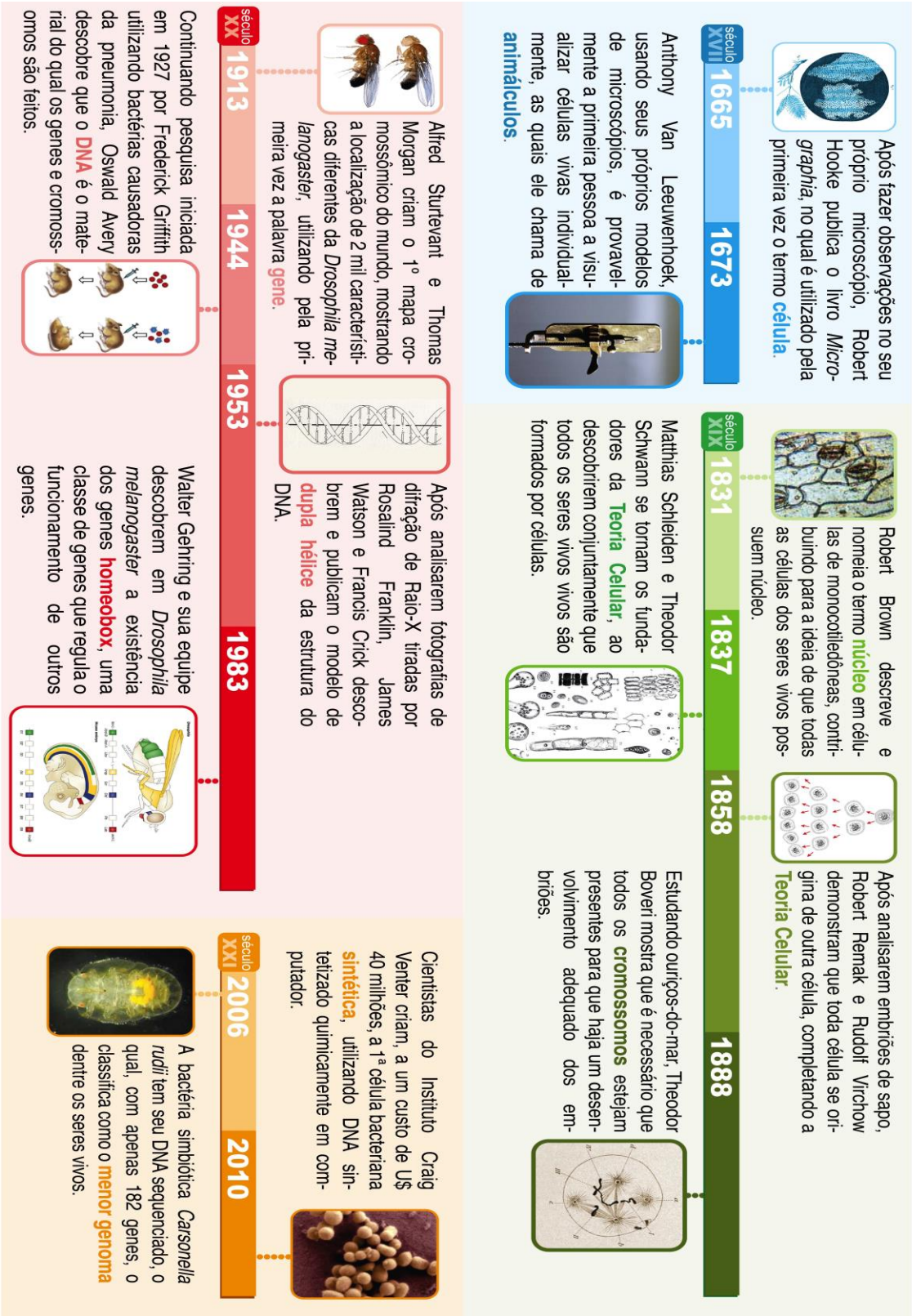
VASIL, I. K. A history of plant biotechnology: from the Cell Theory of Schleiden and Schwann to biotech crops. *Plant Cell Reproduction*, Gainesville, v. 27, p. 1423-1440, 2008.

YUSTE, R. Fluorescence microscopy today. *Nature Methods*, Londres, v.2, n.12, p. 902-904. Dez 2005.

WATSON J.D.; CRICK F.H. A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature*, Londres, v. 171, p. 737-738. 25 abr 1953.

WIDMAIER, D. M. et al. Engineering the Salmonella type III secretion system to export spider silk monomers. *Molecular Systems Biology*, San Francisco, v. 5, p. 1-9, 2009.

APÊNDICE 1 - EPISÓDIOS DA HISTÓRIA DO DESCOBRIMENTO DA CÉLULA



APÊNDICE 2 – Ciências (Barros & Paulino) -7º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I Diversidade da vida na Terra II Moneras, Protoctistas e Fungos III O Reino das Plantas	01 -Reconhecendo um ser vivo	46	20 (41%) *1 (quadro microscópios)
	02 - Origem da Vida	40	*8 (20%) (quadro evolução das células)
	03 - Evolução dos seres vivos	3	-
	04 - Biodiversidade e Classificação	9	-
	05 - Vírus	14 (*1)	-
	06 - Reino Monera	2	-
	07 - Reino Protoctista	14	-
	08 - Reino Fungi	12	-
	09 – Briófitas e Pteridófitas	3	-
	10 - Gimnospermas	0	-
IV Os Invertebrados V Os Vertebrados	11 - Angiospermas	2	-
	12 – Angiospermas (raiz, caule e folha)	13	-
	13 – Angiospermas (flor, fruto e semente)	5	-
	14 – Poríferos e Cnidários	13	-
	15 – Platelmintos e Nematelmintos	4	-
	16 – Anelídeos e Moluscos	1	-
	17 - Artrópodes	0	-
	18 - Equinodermos	1	-
	19 - Peixes	2	-
	20 - Anfíbios	0	-
	21 - Répteis	1	-
	22 – Aves	0	-
	23 – Mamíferos	*1	-

APÊNDICE 3 – Ciências (Barros & Paulino) – 7º Ano

REGISTROS FOTOGRÁFICOS DE CÉLULA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE MICROSCÓPIOS

Unidade	Capítulo	Tipo de microscópio				
		MOC	MF	MCF	MET	MEV
I Diversidade da vida na Terra	01- Reconhecendo um ser vivo	2	-	1	2	1
	02 - Origem da Vida	-	-	-	-	*
	03 - Evolução dos seres vivos	-	-	-	-	-
	04 - Biodiversidade e Classificação	1	-	-	1	-
	05 - Vírus	-	-	-	4	-
II Moneras, Protoctistas e Fungos	06 - Reino Monera	1	-	-	4	5
	07 - Reino Protoctista	5	-	-	1	2
	08 - Reino Fungi	-	-	-	-	1
III O Reino das Plantas	09 – Briófitas e Pteridófitas	-	-	-	-	-
	10 - Gimnospermas	-	-	-	-	-
	11 - Angiospermas	-	-	-	-	-
	12 – Angiospermas (raiz, caule e folha)	-	-	-	-	-
	13 – Angiospermas (flor, fruto e semente)	-	-	-	-	-
IV Os Invertebrados	14 – Poríferos e Cnidários	-	-	-	-	-
	15 - Platelmintos e Nematelmintos	-	-	-	-	**
	16 – Anelídeos e Moluscos	-	-	-	-	-
	17 - Artrópodes	-	-	-	-	***
	18 - Equinodermos	-	-	-	-	-
V Os Vertebrados	19 - Peixes	-	-	-	-	-
	20 - Anfíbios	-	-	-	-	-
	21 - Répteis	-	-	-	-	-
	22 – Aves	-	-	-	-	-
	23 – Mamíferos	-	-	-	-	-

Legenda:¹⁷

Obs:

- * MEV de um caruncho do milho (ampliação de 9x)
- ** MEV de uma *taenia solium* (ampliação de 15x)
- *** MEV de um ácaro (ampliação de 390x)

APÊNDICE 4 – Ciências (Barros & Paulino) – 8º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I Organização do Corpo Humano	1 – O ser humano	0	Nenhum
	2 – A célula	97 (*30)	*9 (9%)
	3 – A divisão celular	92	*8 (8,7%)
	4–Níveis de organização	70 (*1)	-
	5 – Sistema Genital	8	-
II A Reprodução	6 – Como nascemos	6	-
	7 – Cuidados na adolescência	2	-
	8 – A vida continua	5	-
III Funções de Nutrição do Corpo Humano	9 – Importância dos alimentos	15	-
	10 – Alimentação saudável	1	-
	11 – A digestão	5	-
	12 – A respiração	14	-
	13 – A circulação	21	-
	14 – A excreção	3	-
	15 – Locomoção: Ossos e Músculos	8 (*3)	-
IV Funções de relação com o ambiente	16 – Os Sentidos	5	-
	17 – O Sistema Nervoso	20 (*3)	-
V Coordenação das Funções orgânicas	18 – O Sistema Endócrino	2	-

APÊNDICE 5 - Ciências (Barros & Paulino) – 8º Ano

REGISTROS FOTOGRÁFICOS DE CÉLULA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE MICROSCÓPIOS

Unidade	Capítulo	Tipo de microscópio				
		MOC	MF	MCF	MET	MEV
I Organização do corpo humano	01 – O ser humano	-	-	-	-	-
	02 – A célula	1	-	1	1	1
	03 – A divisão celular	-	1	-	-	2
	04 – Níveis de organização do corpo humano	2	-	-	1	8
II A reprodução	05 – Sistema Genital	-	-	-	-	-
	06 – Como nascemos	-	-	-	-	1
	07 – Cuidados na adolescência	-	-	-	-	-
	08 – A vida continua	-	-	-	1	-
III Funções de nutrição do corpo humano	09 – A importância dos alimentos	-	-	-	-	-
	10 – Alimentação saudável	-	-	-	-	-
	11 – A digestão	-	-	-	-	-
	12 – A respiração	-	-	-	-	-
	13 – A circulação	-	-	-	-	2
	14 – A excreção	-	-	-	-	-
IV Funções de relação com o ambiente	15 – Locomoção: Ossos e músculos	-	-	-	-	-
	16 – Os sentidos	-	-	-	-	-
V Coordenação das funções orgânicas	17 – O sistema nervoso	-	-	-	-	1
	18 – O sistema endócrino	-	-	-	-	-

Obs.: No Glossário estão presentes duas micrografias, uma de MEV, mostrando bactérias ampliadas 75.000x, a outra mostra um vírus bacteriófago visto em MET, sem informar a ampliação.

APÊNDICE 6 – Ciências (Barros & Paulino) – 9º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I Conceitos básicos de Física e Química	1 – Matéria e energia	2	-
	2 – Medições e unidades de medida	-	-
	3 – Matéria: estados físicos e propriedades	-	-
	4 – O movimento	-	-
	5 – As leis de Newton	-	-
II O estudo da Física	6 – A gravitação universal	-	1 (*)
	7 – O trabalho das máquinas	-	-
	8 – Energia mecânica	-	-
	9 – Temperatura e calor	-	-
	10 – As ondas e o som	-	-
	11 – As ondas e a luz	-	-
	12 – Instrumentos ópticos	-	-
	13 – Eletricidade	-	-
	14 – Magnetismo	-	-
	15 – O átomo: estrutura e identificação	-	-
III O estudo da química	16 – A tabela periódica dos elementos químicos	-	-
	17 – As ligações químicas	-	-
	18 – Substâncias e misturas	1	-
	19 – Funções químicas: ácidos e bases	-	-
	20 – Funções químicas: sais e óxidos	1	-
	21 – Reações químicas	1	-

Observações: * Não há menção à células, e sim ao cientista inglês Robert Hooke na p. 73, quando se cita uma carta que foi enviada de Isaac Newton a este, com famosa frase: “Se vi mais longe foi porque subi nos ombros de gigantes”.

APÊNDICE 7 – Ciências (Barros & Paulino) – 9º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de
microscópios

		Tipo de Microscópio				
Unidade	Capítulo	MOC	MF	MCF	MET	MEV
I Conceitos básicos de Física e Química	1 – Matéria e energia	-	-	-	-	1
	2 – Medições e unidades de medida	-	-	-	-	-
	3 – Matéria: estados físicos e propriedades	-	-	-	-	-
	4 – O movimento	-	-	-	-	-
	5 – As leis de Newton	-	-	-	-	-
II O estudo da Física	6 – A gravitação universal	-	-	-	-	-
	7 – O trabalho das máquinas	-	-	-	-	-
	8 – Energia mecânica	-	-	-	-	-
	9 – Temperatura e calor	-	-	-	-	-
	10 – As ondas e o som	-	-	-	-	-
III O estudo da química	11 – As ondas e a luz	-	-	-	-	-
	12 – Instrumentos ópticos	-	-	-	-	-
	13 – Eletricidade	-	-	-	-	-
	14 – Magnetismo	-	-	-	-	-
	15 – O átomo: estrutura e identificação	-	-	-	-	-
	16 – A tabela periódica dos elementos químicos	-	-	-	-	2
	17 – As ligações químicas	-	-	-	-	-
	18 – Substâncias e misturas	-	-	-	-	1
	19 – Funções químicas: ácidos e bases	-	-	-	-	-
	20 – Funções químicas: sais e óxidos	-	-	-	-	1
	21 – Reações químicas	-	-	-	-	-

APÊNDICE 8 – Construindo Consciências – 6º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I Ciclos da Vida	1 – Vida de Adolescente	4	-
	2 – O ciclo de vida de animais e plantas	6	-
	3 – Pelos caminhos da água	-	-
II Diversidade dos materiais	4 – Introdução ao estudo dos materiais	-	-
	5 – Materiais: Usos e propriedades	-	-
	6 – O Ar: que material é esse?	-	-
	7 – Os materiais se transformam	-	-
	8 – Semelhanças e diferenças entre os seres vivos	32	-
III A diversidade da vida	9 – Modos de ser e viver dos vertebrados	-	-
	10 – Conhecendo os invertebrados	-	-
	11 – A diversidade das plantas	-	-
	12 – Nem bichos nem plantas – que seres são esses?	15	2
IV O Planeta Terra	13 – Vivendo sobre uma Terra esférica	-	-

APÊNDICE 9 – Construindo Consciências – 6º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de
microscópios

Unidade	Capítulo	Tipo de Microscópio				
		MOC	MF	MCF	MET	MEV
I Ciclos da Vida	1 – Vida de Adolescente	-	-	-	-	-
	2 – O ciclo de vida de animais e plantas	26	-	-	-	-
	3 – Pelos caminhos da água	4 (*)	-	-	-	-
II Diversidade dos materiais III A diversidade da vida	4 – Introdução ao estudo dos materiais	-	-	-	-	-
	5 – Materiais: Usos e propriedades	-	-	-	-	-
	6 – O Ar: que material é esse?	-	-	-	-	-
	7 – Os materiais se transformam	-	-	-	-	-
	8 – Semelhanças e diferenças entre os seres vivos	1	1	2	4	5
	9 – Modos de ser e viver dos vertebrados	-	-	-	-	-
	10 – Conhecendo os invertebrados	7 (**)	-	-	-	-
	11 – A diversidade das plantas	-	-	-	-	-
IV O Planeta Terra	12 – Nem bichos nem plantas – que seres são esses?	7	-	-	4	11
	13 – Vivendo sobre uma Terra esférica	-	-	-	-	-

Observações:

* Imagens de invertebrados provavelmente obtidas com auxílio de uma lupa.

** 3 das Imagens do capítulo 10 são de pequenos Artrópodes provavelmente vistos com auxílio de uma lupa.

APÊNDICE 10 – Construindo Consciências – 7º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I A diversidade de ambientes	1 – A vida nos ambientes	-	-
	2 – Os ambientes da Terra	-	-
II A Terra em transformação	3 – Os solos e a vida	-	-
	4 – O fazer e o refazer da natureza	-	-
	5 – A diversidade da vida através dos tempos	10	-
III Energia e Ambiente	6 – Transformações de energia	1	-
	7- O sol e a vida na Terra	9 (*)	-
IV Lua, Sol e movimentos da Terra	8 – A Terra e o céu em movimento	-	-
	9 – A lua, nossa vizinha mais próxima	-	-
V Ciência na cozinha	10 – Receitas na medida certa	-	-
	11 – Produzindo e conservando alimentos	1	-

Observações: * A retina é formada por várias camadas de células, e não somente uma, como é citado na página 147

APÊNDICE 11 – Construindo Consciências – 7º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de
microscópios

Unidade	Capítulo	MOC	Tipo de Microscópio			
			MF	MCF	MET	MEV
I A diversidade de ambientes	1 – A vida nos ambientes	-	-	-	-	-
	2 – Os ambientes da Terra	1	-	-	-	-
II A Terra em transformação	3 – Os solos e a vida	-	-	-	-	-
	4 – O fazer e o refazer da natureza	-	-	-	-	-
	5 – A diversidade da vida através dos tempos	-	-	-	-	-
III Energia e Ambiente	6 – Transformações de energia	-	-	-	-	-
	7- O sol e a vida na Terra	-	-	-	-	1 (*)
IV Lua, Sol e movimentos da Terra	8 – A Terra e o céu em movimento	-	-	-	-	-
	9 – A lua, nossa vizinha mais próxima	-	-	-	-	-
V Ciência na cozinha	10 – Receitas na medida certa	-	-	-	-	-
	11 – Produzindo e conservando alimentos	-	-	-	-	1 (**)

Observações:

* Fotomicrografia de corte transversal de uma folha mostrando um estômato.

** Fotomicrografia de leveduras presentes nos fermentos de pães.

APÊNDICE 12 – Construindo Consciências – 8º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I As transformações dos materiais	1 - Os minerais e a vida	3	-
	2 – Compreendendo as reações químicas.	1	-
II O nosso corpo é dinâmico	3 – O corpo por inteiro	18	-
	4 – o corpo em movimento	5	-
	5 – As funções de nutrição	38	-
III História natural da sexualidade	6 – A sexualidade nos animais e nas plantas	20	5
	7 – A sexualidade humana	8	-
IV O organismos humano e suas interações com o meio ambiente	8 – Luz e Visão	9	*
	9 – O controle da temperatura corporal nos seres vivos	10	-
	10 – O sistema nervoso e o efeito das drogas	1	-

Observações:

* Na p. 175 é citado o experimento de Isaac Newton com a luz branca e as suas divergências com Robert Hooke, porém não há nenhuma menção às suas experiências com células.

APÊNDICE 13 – Construindo Consciências – 8º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de
microscópios

Unidade	Capítulo	Tipo de Microscopia				
		MOC	MF	MCF	MET	MEV
I As transformações dos materiais	1 - Os minerais e a vida	-	-	-	-	-
	2 – Compreendendo as reações químicas.	-	-	-	-	-
II O nosso corpo é dinâmico	3 – O corpo por inteiro	2	-	-	-	6
	4 – o corpo em movimento	-	-	-	-	-
	5 – As funções de nutrição	1	-	-	-	3
III História natural da sexualidade	6 – A sexualidade nos animais e nas plantas	2	-	-	-	3
	7 – A sexualidade humana	-	-	-	-	-
IV O organismos humano e suas interações com o meio ambiente	8 – Luz e Visão	-	-	-	-	1
	9 – O controle da temperatura corporal nos seres vivos	-	-	-	-	-
	10 – O sistema nervoso e o efeito das drogas	-	-	-	-	-

APÊNDICE 14 – Construindo Consciências – 9º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I A Terra e o espaço ao seu redor	1 – Modelando o cosmo	-	-
	2 – Estações do ano e ritmos da vida	-	-
II Modelando os materiais	3 – O mundo que não vemos	1	-
	4 – A natureza elétrica dos materiais	-	-
III A diversidade genética e a evolução dos seres vivos	5 – Entendendo a herança genética	37	*
	6 – Teorias sobre a evolução dos seres vivos	2	2
IV Ciência, Tecnologia e Sobrevivência	7 – Estratégias de defesa dos organismos	3	-
	8 – Tecnologia e saúde	27	8
	9 – Viajando com segurança	-	-
V Outras Tecnologias que mudaram o mundo	10 – Eletricidade em nossas casas	5	-
	11 – A comunicação	2	-

Observações:

* Na p. 110 há uma referência indireta, citando a invenção do microscópio (sem citar nomes) e a sua relação com a teoria pré-formista dos seres humanos

APÊNDICE 15 – Construindo Consciências – 9º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de
microscópios

		Tipo de Microscopia				
Unidade	Capítulo	MOC	MF	MCF	MET	MEV
I A Terra e o espaço ao seu redor	1 – Modelando o cosmo	-	-	-	-	-
	2 – Estações do ano e ritmos da vida	-	-	-	-	-
II Modelando os materiais	3 – O mundo que não vemos	-	-	-	-	-
	4 – A natureza elétrica dos materiais	-	-	-	-	-
III A diversidade genética e a evolução dos seres vivos	5 – Entendendo a herança genética	4	-	-	1	-
	6 – Teorias sobre a evolução dos seres vivos	-	-	-	-	-
IV Ciência, Tecnologia e Sobrevivência	7 – Estratégias de defesa dos organismos	-	-	-	-	1
	8 – Tecnologia e saúde	-	-	-	-	-
	9 – Viajando com segurança	-	-	-	-	-
V Outras Tecnologias que mudaram o mundo	10 – Eletricidade em nossas casas	-	-	-	-	-
	11 – A comunicação	-	-	-	-	-

APÊNDICE 16 – Ciências Naturais – 6º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I Observando a Terra	1 – Terra: Forma e localização no espaço	-	-
	2 – Algumas características do nosso planeta	-	-
	3 – O jeito de ser e o lugar de cada um	-	-
	4 – O ciclo da vida	27	-
	5 – O pega-pega da natureza	-	-
	6 – Decompositores: começa tudo outra vez	-	-
II As águas do Planeta	7 – Lixo: repensando atitudes	-	-
	8 – De onde vem a água que circula no nosso planeta?	-	-
	9 – O que não afunda nem se dissolve flutua	-	-
	10 – Uma força misteriosa na água e no ar	-	-
	11 – Há água por perto	-	-
III Investigando a Terra	12 – Água: usar bem para ter sempre	-	-
	13 – O uso da terra pelos seres humanos	-	-
	14 – Usando o solo e abusando dele	-	-
	15 – Solo, o sustento da vida	-	-
	16 – Outras formas de obtenção de alimentos	-	-
	17 – As buscas da humanidade	-	-

APÊNDICE 17 – Ciências Naturais – 6º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de microscópios

		Tipo de Microscopia				
Unidade	Capítulo	MOC	MF	MCF	MET	MEV
I Observando a Terra	1 – Terra: Forma e localização no espaço	-	-	-	-	-
	2 – Algumas características do nosso planeta	-	-	-	-	-
	3 – O jeito de ser e o lugar de cada um	-	-	-	-	-
	4 – O ciclo da vida	1	-	1	-	-
	5 – O pega-pega da natureza	-	-	-	-	-
	6 – Decompositores: começa tudo outra vez	-	-	-	-	2
II As águas do Planeta	7 – Lixo: repensando atitudes	-	-	-	-	-
	8 – De onde vem a água que circula no nosso planeta?	-	-	-	-	-
	9 – O que não afunda nem se dissolve flutua	-	-	-	-	-
	10 – Uma força misteriosa na água e no ar	-	-	-	-	-
	11 – Há água por perto	-	-	-	-	1
	12 – Água: usar bem para ter sempre	-	-	-	-	1
III Investigando a Terra	13 – O uso da terra pelos seres humanos	-	-	-	-	-
	14 – Usando o solo e abusando dele	-	-	-	-	-
	15 – Solo, o sustento da vida	-	-	-	-	-
	16 – Outras formas de obtenção de alimentos	-	-	-	-	-
	17 – As buscas da humanidade	-	-	-	-	-

APÊNDICE 18 – Ciências Naturais – 7º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I A vida que a vida traz	1 – A energia que vem de longe	15	-
	2 - A teia da vida	-	-
	3 –A diversidade biológica	11	-
II Investigando a vida	4 – Associações entre seres vivos	1	-
	5 – Visitantes e moradores do corpo humano	5	-
	6 – O incrível mundo dos micróbios	13	1 (*)
	7 – Reprodução e ocupação dos ambientes terrestres	18	-
	8 – A reprodução humana	10	-
III Investigando os fenômenos térmicos do dia-a-dia	9 – Calor e Temperatura	-	-
	10 – Calor e Temperatura: Medição e transmissão	-	-
	11 – O calor e as características das substâncias	4	-
	12 – Alguns fenômenos atmosféricos	-	-
IV Alimentos e saúde	13 – Conhecendo os alimentos	9	-
	14 – Escolhendo o que comer	5	-
	15 – Hábitos alimentares	-	-
	16 – Cuidando dos alimentos	2	-

Observações:

* Apesar do livro indicar que o inventor do microscópio foi o holandês Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), na verdade os irmãos holandeses Hans e Zaccharias Jansen são creditados por terem produzidos o primeiro microscópio em 1595 (fonte: ROSENTHAL, 2009)

APÊNDICE 19 – Ciências Naturais – 7º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de
microscópios

		Tipo de Microscopia				
Unidade	Capítulo	MOC	MF	MCF	MET	MEV
I A vida que a vida traz	1 – A energia que vem de longe	1	-	-	-	1
	2 - A teia da vida	-	-	-	-	-
	3 –A diversidade biológica	-	-	-	-	-
	4 – Associações entre seres vivos	-	-	-	-	-
II Investigando a vida	5 – Visitantes e moradores do corpo humano	2	-	-	-	2
	6 – O incrível mundo dos micróbios	4	-	3	3	4
	7 – Reprodução e ocupação dos ambientes terrestres	-	-	2	1	1
	8 – A reprodução humana	1	-	2	-	4
III Investigando os fenômenos térmicos do dia-a-dia	9 – Calor e Temperatura	-	-	-	-	-
	10 – Calor e Temperatura: Medição e transmissão	-	-	-	-	-
	11 – O calor e as características das substâncias	-	-	-	-	-
	12 – Alguns fenômenos atmosféricos	-	-	-	-	-
IV Alimentos e saúde	13 – Conhecendo os alimentos	-	-	-	-	-
	14 – Escolhendo o que comer	-	-	-	-	-
	15 – Hábitos alimentares	-	-	-	-	-
	16 – Cuidando dos alimentos	-	-	-	-	1

APÊNDICE 20 – Ciências Naturais – 8º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I A Terra e seus segredos	1 – Ritmos da Terra e ritmos da vida	-	-
	2 – Algumas relações entre a Terra e a Lua	-	-
	3 – As matas brasileiras	-	-
	4 – Outros ecossistemas brasileiros	-	-
	5 – A dinâmica da vida na Terra	1	-
II Os seres vivos e a manutenção da vida	6 – A entrada e saída de alimentos	23	-
	7 – Ar e Vida	42	-
	8 – Eliminando os resíduos do corpo	29	-
	9 – Viajando com o sangue	31	1
	10 – Matéria: Estrutura e Classificação	-	-
III Um pouco da química que nos rodeia	11 – As descobertas da química	14	4
	12 – As defesas do organismo	29	-
	13 – O ambiente urbano	-	-
IV Energia: Vida e progresso	14 – Energia	-	-
	15 – Fontes de Energia	-	-

APÊNDICE 21 – Ciências Naturais – 8º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de
microscópios

Unidade	Capítulo	Tipo de Microscopia				
		MOC	MF	MCF	MET	MEV
I A Terra e seus segredos	1 – Ritmos da Terra e ritmos da vida	-	-	-	-	-
	2 – Algumas relações entre a Terra e a Lua	-	-	-	-	-
	3 – As matas brasileiras	-	-	-	-	-
	4 – Outros ecossistemas brasileiros	2	-	-	-	-
	5 – A dinâmica da vida na Terra	-	-	-	-	-
II Os seres vivos e a manutenção da vida	6 – A entrada e saída de alimentos	3	-	-	-	-
	7 – Ar e Vida	-	-	1	-	2
	8 – Eliminando os resíduos do corpo	-	-	1	-	1
	9 – Viajando com o sangue	2	-	-	-	2
III Um pouco da química que nos rodeia	10 – Matéria: Estrutura e Classificação	-	-	-	-	-
	11 – As descobertas da química	3	-	-	-	-
	12 – As defesas do organismo	3	-	-	-	4
	13 – O ambiente urbano	-	-	-	-	-
IV Energia: Vida e progresso	14 – Energia	-	-	-	-	-
	15 – Fontes de Energia	-	-	-	-	-

APÊNDICE 22 – Ciências Naturais – 9º Ano

Unidade	Capítulo	TOTAL de registros do termo <i>célula</i>	TOTAL de registros em contexto histórico
I As Forças e os movimentos da natureza	1 - Algumas forças que nos rodeiam e seus efeitos	-	-
	2 – Movimentos que conservam a direção	-	-
	3 – Os músculos e os movimentos	-	-
	4 – Outros jeitos de se equilibrar	14	-
II Vida: da origem à Biotecnologia	5 – Do início do universo à origem da vida	12	-
	6 – A história da vida	1	-
	7 – Evolução e hereditariedade	68	*
	8 – O mundo da biotecnologia	44	1 (**)
III Os organismos e a percepção do ambiente	9 – Coordenação e comportamento nervosa e hormonal	18	-
	10 – Cuidando da saúde: as drogas e o sexo	7	-
	11 – Luz e Cores	2	-
	12 – Ondas mecânicas e o som	3	-
IV Ciência e Tecnologia no cotidiano	13 – A energia elétrica em nossa casa	-	-
	14 – Circuitos elétricos: Magnetismo e Eletrostática	-	-
	15 – As ondas eletromagnéticas que nos rodeiam	1	-

Observações:

* A única referencia histórica no capítulo 7 é sobre a origem das ideias evolucionistas de Lamarck e Darwin, comparando-as.

** Na p. 146 há uma referência à descoberta das células no século XVII, porém nesse caso não se menciona quem, nem onde ou como foi essa descoberta.

APÊNDICE 23 – Ciências Naturais – 9º Ano
Registros fotográficos de célula usando diferentes tipos de microscópios

Unidade	Capítulo	Tipo de microscopia				
		MOC	MF	MCF	MET	MEV
I As Forças e os movimentos da natureza	1 - Algumas forças que nos rodeiam e seus efeitos	-	-	-	-	-
	2 – Movimentos que conservam a direção	-	-	-	-	-
	3 – Os músculos e os movimentos	-	-	-	-	-
	4 – Outros jeitos de se equilibrar	-	-	2	-	2
	5 – Do início do universo à origem da vida	4	-	-	-	1
II Vida: da origem à Biotecnologia	6 – A história da vida	-	-	-	-	-
	7 – Evolução e hereditariedade	3	1	-	-	3
	8 – O mundo da biotecnologia	1	-	-	-	-
III Os organismos e a percepção do ambiente	9 – Coordenação e comportamento nervosa e hormonal	3	-	-	-	3
	10 – Cuidando da saúde: as drogas e o sexo	-	-	-	-	2
	11 – Luz e Cores	-	-	-	-	-
	12 – Ondas mecânicas e o som	-	-	-	-	-
IV Ciência e Tecnologia no cotidiano	13 – A energia elétrica em nossa casa	-	-	-	-	-
	14 – Circuitos elétricos: Magnetismo e Eletrostática	-	-	-	-	-
	15 – As ondas eletromagnéticas que nos rodeiam	-	-	-	-	-

ANEXO A – Coleções didáticas aprovadas pelo PNLD 2011/2013 (BRASIL, 2010, p. 26)

QUADRO COMPARATIVO DAS COLEÇÕES

O quadro geral visa a oferecer aos professores uma visão sintética do conjunto de coleções. A intensidade da cor roxa indica o resultado da avaliação das coleções: quanto mais intensa a cor roxa mais a coleção atende aos critérios estabelecidos no Edital.

Coleção	Proposta Pedagógica	Conteúdo	Pesquisa Experimental	Manual do Professor	Projeto Gráfico
24835COL04					
24837COL04					
24838COL04					
24839COL04					
24840COL04					
24843COL04					
24844COL04					
24850COL04					
24964COL04					
24845COL04					
24988COL04					

Níveis de qualificação

(-)			(+)

ANEXO B – Cálculos realizados em Simpósio da National Academy of Sciences (1999)

Box 1

Estimating Lower Limits of Cell Size—Some Assumptions and Results

Assumptions

1. Molecular masses:
 - One DNA nucleotide = 312 Da
 - One RNA nucleotide = 324 Da
 - One amino acid residue = 110 Da
2. Both DNA strands are coding.
3. The cell contains one ribosome, one set of 20 tRNA molecules (average molecular mass 25,000 Da), and one mRNA molecule for each protein species.
4. Each ribosome consists of 50 protein molecules of average molecular mass 30,000 Da and of an equivalent quantity of RNA.
5. The cell contains N nonribosomal protein species of average molecular mass 30,000 Da, each present in 10 copies. At least 100 such protein species are deemed indispensable.
6. Wet weight = $3 \times$ weight of (DNA + RNA + Protein).
7. Density of naked cell is 1.10.
8. Cell membrane is 6 nm thick.
9. Cell wall is 10 nm thick.

Calculations

Ribosome

$$\left. \begin{array}{l} \text{RNA: } 1,500,000 \text{ Da} \\ \text{Protein: } 1,500,000 \text{ Da} \end{array} \right\} 3,000,000 \text{ Da} = 5 \times 10^{-3} \text{ fg} \quad (\times (N + 50))$$

Genome

$$\begin{aligned} \text{rRNAs and tRNAs: } 2,000,000 \text{ Da} &= 3.3 \times 10^{-3} \text{ fg} \\ \text{Ribosomal proteins: } 12,800,000 \text{ Da} &= 21 \times 10^{-3} \text{ fg} \\ \text{Other proteins: } N \times 255,000 \text{ Da} &= N \times 0.42 \times 10^{-3} \text{ fg} \\ \text{Total: } (24.3 + N \times 0.42) \times 10^{-3} \text{ fg} \end{aligned}$$

RNAs Other Than Ribosomal

$$\begin{aligned} \text{tRNAs: } 500,000 \text{ Da} &= 0.8 \times 10^{-3} \text{ fg} \quad (\times (N + 50)) \\ \text{mRNAs: Ribosomal proteins: } 13,260,000 \text{ Da} &= 21.9 \times 10^{-3} \text{ fg} \\ \text{Other proteins: } N \times 265,000 \text{ Da} &= N \times 0.44 \times 10^{-3} \text{ fg} \\ \text{Total: } (61.9 + N \times 1.24) \times 10^{-3} \text{ fg} \end{aligned}$$

Other Proteins

$$\begin{aligned} N \times 10 \times 30,000 \text{ Da} &= N \times 300,000 \text{ Da} = N \times 0.05 \times 10^{-3} \text{ fg} \\ (\text{DNA} + \text{RNA} + \text{Protein}) &= (336.2 + N \times 6.71) \times 10^{-3} \text{ fg} \end{aligned}$$