

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP

Cristiano Guastelli

**A estrutura do DNA: algumas histórias contadas em livros
didáticos.**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

SÃO PAULO

2018

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP

**A estrutura do DNA: algumas histórias contadas em livros
didáticos.**

MESTRADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo como exigência parcial para obtenção do título de MESTRE em História da Ciência sob a orientação da Professora Doutora Maria Helena Roxo Beltran.

SÃO PAULO

2018

Banca Examinadora

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total e parcial desta dissertação por processos fotocopiadores ou eletrônicos.

Ass.: _____

Local e data: _____

Cristiano Guastelli

cguastelli@gmail.com

**À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes)
pelo apoio financeiro via bolsa de estudo (modalidade CAPES-PROSUP),**

Nº do processo 88887.147764/2017-00

Agradecimentos

À minha orientadora Professora Doutora Maria Helena Roxo Beltran, pelas aprendizagens significativas que levarei para o resto de minha carreira como docente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes que concedeu a bolsa de estudos que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos meus amores Amanda e Anandi, pela compreensão, paciência, carinho e incentivo durante todo esse processo. Minha vida não faria sentido sem vocês.

À minha querida mãe, Nurimar de Oliveira, por ter sempre acreditado na educação dos filhos. Essa conquista também é sua.

Aos professores José Luiz Goldfarb e Silvia Irene Waisse de Priven, pelas significativas contribuições durante a qualificação e pelas enormes aprendizagens durante as disciplinas do curso.

Aos colegas Daniela Camargo e Jotta Neves, pela pareceria nos trabalhos e deliciosas conversas nos cafés da Universidade.

Aos funcionários do programa, em especial à Camila Fernandes pelas importantes contribuições durante o curso.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar o episódio da proposta do modelo para a estrutura da molécula de DNA de Watson e Crick, apresentados nos livros didáticos de ciências da natureza para o ensino fundamental e livros didáticos de biologia para o ensino médio. Também levando em consideração perspectivas historiográficas atuais em história da ciência, foi realizada pesquisa a partir de documentos, artigos, imagens e cartas escritas por cientistas envolvidos em tal episódio, em particular o artigo original publicado na revista *Nature* em abril de 1953. As pesquisas sobre o episódio de elaboração da proposta para a estrutura da molécula de DNA publicada por Watson e Crick, mostraram que esse processo ocorreu graças a contribuições de outros cientistas que foram, inclusive, mencionados no famoso artigo publicado na revista *Nature*. Nos textos de livros didáticos em que esse episódio é proposto, Watson e Crick são apresentados em geral como descobridores da estrutura molecular de DNA, sem ao menos que sejam reconhecidas as diversas e importantes contribuições de outros cientistas, conferindo o caráter coletivo na elaboração do modelo proposto, que esse episódio ilustra consideravelmente, particularmente no que se refere aos trabalhos de Pauling, Chargaff, Donohue e Franklin. Dessa forma, podemos apontar para as necessárias revisões nos livros didáticos de ciências da natureza e biologia, no que se referem às abordagens historiográficas em história da ciência, com o intuito de valorizar o potencial, especialmente para o desenvolvimento do olhar crítico dos estudantes, que esse campo de conhecimento apresenta para a educação científica. Este trabalho foi produzido no âmbito do Programa Observatório da Educação, pesquisas na interface entre história da ciência e ensino, desenvolvidas neste programa.

Palavras chave: História da ciência, história da ciência e ensino, Watson e Crick, análise de livros didáticos, estrutura da molécula de DNA.

Abstract

This present paper aims to analyze the episode of the purpose of model for the structure of the DNA-molecule from Watson and Crick, presented in textbooks on natural science for primary and elementary schools and in textbooks on biology for high school. Also considering present historiographic perspectives in history of science, a research was carried out from documents, papers, images and letters written by scientist involved in this episode, especially the original paper once published in the *Nature* journal in April, 1953. Researches on the episode of the elaboration of the purpose for the structure of the DNA-molecule published by Watson and Crick have shown that this process happened due to the contributions of other scientist that were, also, mentioned in the famous article, published in the *Nature* journal. In the textbooks where this episode is proposed, Watson and Crick are generally presented as the discoverers of the structure of the DNA-molecule, without even recognizing the various and important contributions from other scientists, giving it the collective character in the elaboration of the proposed model that this episode shows considerably, mainly regarding the work of Pauling, Chargaff, Donohue and Franklin. Thus, it's possible to point the necessary review of the textbooks of natural science and biology regarding the historiographical approaches in history of science, aiming to appreciate the potencial, especially for the development of a critical look from students that this field of knowledge presents for scientific education. This paper was produced in the scope of Centre for Education Program, researches in the interface between history of science and teaching developed in this program.

Keywords: history of science, history of science and teaching, Watson and Crick, textbook analisys, structure of the DNA-molecule.

Sumário

Introdução	9
Capítulo 1: Propostas para a molécula de DNA: a tripla e a dupla hélice.....	11
1.1- A influência de Chargaff e Donohue na construção do modelo do DNA.....	25
Capítulo 2: Análise de livros didáticos de ciências da natureza: A história dos modelos de DNA.	32
Capítulo 3: A construção do conhecimento em História da Ciência - O modelo de DNA de Watson e Crick: uma proposta de sequência didática.	55
Considerações finais.....	76
Referências bibliográficas.....	78

Introdução

Este trabalho se propõe a investigar aspectos do episódio da proposta do modelo da molécula de DNA por Watson e Crick, a partir da análise do artigo publicado na revista *Nature* em abril de 1953. Esse episódio é tido como uma das mais significativas para o desenvolvimento da Biologia Molecular no século XX, sendo pertinente e adequada para o ensino de conteúdos das ciências da natureza e biologia, principalmente os relacionados à Genética, nas escolas.

Dessa forma, a história que envolve a publicação dessa proposta para a estrutura do DNA é apresentada nos livros didáticos de ciências da natureza e de biologia. Por se tratar de um episódio que ilustra de forma significativa a construção coletiva de conhecimento científico, o mesmo apresenta um grande potencial para os trabalhos que procuram desenvolver um olhar crítico com os alunos, sobre os processos que levam à construção de conhecimentos científicos, por meio da História da Ciência.

Com isso, neste trabalho, abordaremos textos e propostas didáticas que apresentam a história sobre o modelo de DNA de Watson e Crick nos livros didáticos, com base nas pesquisas realizadas em história da ciência e descritas no capítulo 1 desta dissertação, e nos estudos sobre a interface entre história da ciência e ensino, que estão descritas no capítulo 2.

No primeiro capítulo analisamos o artigo original publicado em 1953 na revista *Nature* por Watson e Crick. Além disso, foram estudadas correspondências e imagens referentes ao processo de elaboração de propostas para a estrutura do DNA. Esses materiais encontram-se em um rico acervo documental no portal eletrônico *Linus Pauling and the race for DNA* da Oregon State University. Também foram analisados artigos e livros que retratam esse episódio.

Nessa análise, discutiremos sobre as contribuições dos cientistas mencionados por Watson e Crick no artigo de abril de 1953, tendo como foco principal o debate interno entre as propostas para um modelo da molécula de DNA de Linus Pauling e Robert Corey, em relação ao modelo de Watson e Crick,

ambos publicados em 1953. Ainda nesse capítulo, discutiremos os trabalhos e algumas questões éticas, bem como a influência dos cientistas Erwin Chargaff e Jerry Donohue, para a elaboração desse modelo.

No segundo capítulo utilizamos livros didáticos de ciências da natureza para o ensino fundamental que foram aprovados no PNLD 2017 e livros didáticos de biologia para o ensino médio aprovados no PNLD 2015, para analisarmos como o processo de elaboração e proposta para estrutura do DNA está sendo apresentada, tendo em vista que esse material ainda se encontra como o principal recurso de apoio para a maioria dos professores e estudantes das instituições de ensino no Brasil. Nessa análise, buscamos ter como referência as pesquisas realizadas nesta dissertação sobre o episódio da construção do modelo de DNA de Watson e Crick, bem como categorias propostas em trabalhos desenvolvidos no âmbito do projeto *História da ciência e ensino: abordagens interdisciplinares no Ensino Superior (diagnóstico, formação continuada e especializada de professores)*, OBEDUC (Observatório da Educação).

De acordo com as pesquisas realizadas sobre o episódio da dupla hélice do DNA de Watson e Crick e nas análises sobre referências a esse episódio presentes nos livros didáticos, elaboramos uma proposta de sequência didática no terceiro capítulo, que visa ressaltar o caráter coletivo da construção de conhecimentos científicos, que a análise desse episódio pode proporcionar, bem como contribuir para o desenvolvimento do olhar crítico dos alunos por meio da História da Ciência.

Verificamos com essas análises que a visão do episódio referente às pesquisas da estrutura da molécula de DNA publicada por Watson e Crick proposta nos livros didáticos, ainda se apresenta distante das abordagens atuais em história da ciência. Com isso, tendo em vista as potencialidades que história da ciência apresenta para o ensino de ciências e biologia, com foco no desenvolvimento da criticidade nos alunos e a reflexão sobre o caráter coletivo da construção dos conhecimentos científicos, identificamos as necessidades de revisão sobre as abordagens presentes nos livros didáticos, assim como sobre as metodologias didáticas em que essas propostas são apresentadas.

Capítulo 1

Propostas para a molécula de DNA: a tripla e a dupla hélice.

Em 25 de abril de 1953 os cientistas James D. Watson (1928) e Francis Crick (1916-2004) publicaram um artigo na prestigiada revista *Nature*, trazendo uma proposta em dupla hélice para a estrutura da molécula de DNA. Nove anos mais tarde, em 1962, essa dupla, em parceria com o também cientista Maurice Wilkins (1916-2004), recebeu o prêmio Nobel¹ de fisiologia ou medicina por esse feito. Esse foi considerado um dos mais importantes acontecimentos da ciência no século XX e que permitiu o grande desenvolvimento da biologia molecular².

Nesse artigo, os autores mencionam nomes de cientistas, a saber: Linus Pauling (1901-1994), Erwin Chargaff (1905-2002) e Jerry Donohue (1920-1985), além daqueles cujos trabalhos foram citados em referências bibliográficas. Veremos neste capítulo, algumas dessas referências e o quão significativas foram para o desenvolvimento da construção do modelo da molécula de DNA. Em especial, discutiremos o debate entre a proposta de Pauling e Corey em relação à defendida no artigo de Watson e Crick. Devemos destacar que o artigo é aberto com uma clara referência a Linus Pauling, como reproduzido a seguir:

Uma estrutura para o ácido nucléico já foi proposta por Pauling e Corey (1953). Eles gentilmente permitiram que tivéssemos acesso a seu manuscrito antes da sua publicação.³

¹ "The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1962". Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014, acessado em 05 de outubro de 2017, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/index.html

² "Unwinding DNA", Exploratorium, acessado em 05 de outubro de 2017, <http://www.exploratorium.edu/origins/coldspring/ideas/index.html>

³ Watson and Crick, "A structure for desoxyribose nucleic acid", 737-38.

Meses antes da publicação da proposta do modelo da molécula de DNA de Watson e Crick, em fevereiro de 1953, Linus Pauling (1901-1994) e Robert Corey (1897-1971), cientistas do CALTECH⁴ (Instituto de Tecnologia da Califórnia) publicaram um artigo na PNSA - *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*⁵, propondo uma estrutura para a molécula de DNA⁶. Essa publicação foi fundamental para a elaboração do modelo proposto por Watson e Crick, como será descrito ainda neste capítulo.

Naquele período, Pauling era reconhecido como um dos grandes químicos de estruturas de moléculas orgânicas. Dentre suas propostas, aquela que mais se destacou foi o modelo da estrutura das proteínas alfa-hélice⁷, a qual lhe rendeu o prêmio Nobel de química em 1954⁸.

A forma de pensamento e elaboração dos modelos das estruturas moleculares que Pauling desenvolvia eram bastante peculiares. Ele se utilizava inicialmente de lápis e papel para escrever e desenhar suas ideias, e depois de materiais concretos para construir as configurações espaciais sobre as ligações entre os átomos⁹. A figura 1 um exemplo dos registros manuscritos para a construção do modelo da molécula de DNA, em novembro de 1952 e a figura 2 mostra o modelo construído por Pauling para a molécula da alfa-hélice.

⁴ California Institute of Technology, acessado em 05 de outubro de 2017, <http://www.caltech.edu/>

⁵ Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, acessado em 05 de outubro de 2017, <http://www.pnas.org/site/aboutpnas/index.xhtml>

⁶ "Table of contents", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, acessado em 07 de outubro de 2017, <http://www.pnas.org/content/39/2.toc>

⁷ Hausmann, *História da biologia molecular*, 11-17.

⁸ "The Nobel Prize in Chemistry 1954", Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014, acessado em 07 de outubro de 2017, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1954/

⁹ Mukherjee, *O Gene*, 181.

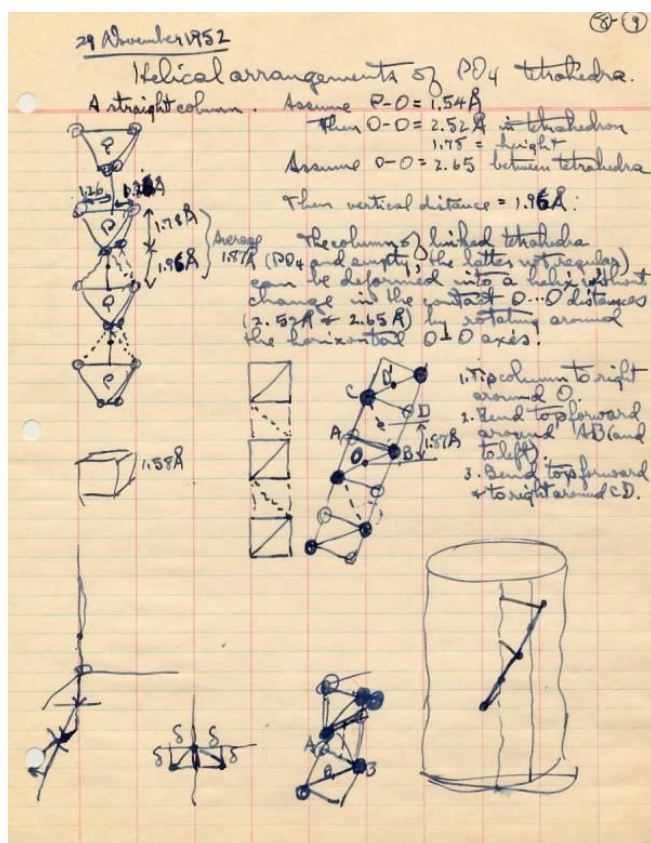


Figura 1 - Um exemplo dos manuscritos de Pauling para a construção do modelo da molécula de DNA.¹⁰

¹⁰ "Pictures and Illustrations", Linus Pauling and the Race for DNA, acessado em 10 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/notes/1952a.22-ms-08.html>

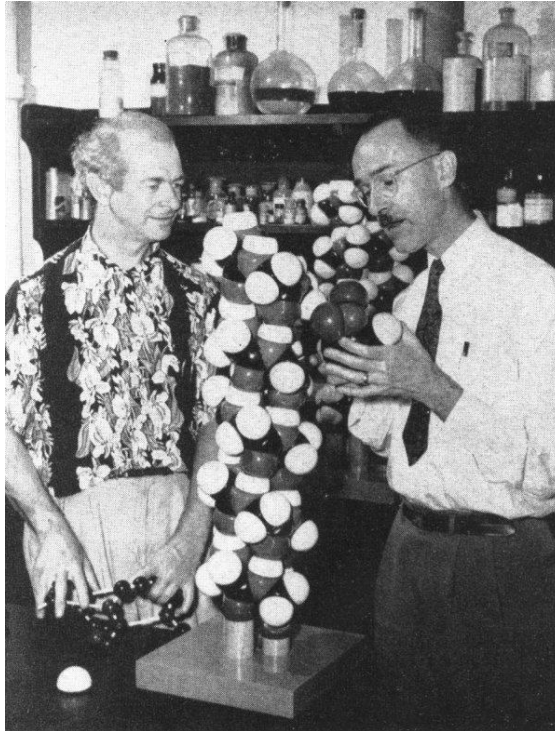


Figura 2 - Pauling e Corey analisando o modelo construído para a molécula proteica de alfa-hélice¹¹.

Como mostra a citação abaixo que data de 1951, até o início dos anos de 1950, Pauling declarou não estar totalmente convencido do poder hereditário do DNA.

"Eu sabia sobre a afirmação de que o DNA era o material hereditário, mas eu não aceitei... eu pensei que as proteínas formavam o material hereditário ao invés dos ácidos nucleicos. Mas, é claro, os ácidos nucleicos desempenhavam um papel".¹²

Percebe-se, assim, que ele acreditava que os genes pudessem ser formados por proteínas, por se tratarem de moléculas mais complexas e com maior variedade de formas e modelos.

O interesse de Pauling pelo DNA se intensificou logo após sua publicação sobre a estrutura das proteínas alfa-hélice em 1951 e também por influência da

¹¹ "Pictures and Illustrations", Linus Pauling and the Race for DNA, acessado em 10 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/pictures/portrait-paulingcorey.html>

¹² "From proteins to DNA", Linus Pauling and the race of DNA, acessado em 11 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/narrative/page5.html>

publicação da proposta para a molécula de DNA por Edward Ronwin¹³. Pouco tempo depois, no final de 1952, após um curto período de dedicação a esse estudo, Pauling e Corey haviam elaborado sua proposta para o modelo da molécula de DNA. Obras de divulgação científica consideram que Pauling estivesse com pressa para desvendar a estrutura do DNA, convencido de seu potencial, após o grande sucesso com a alfa-hélice, também por considerar que outros cientistas trabalhavam arduamente nessa proposta e pudessem alcançar esse objetivo primeiro¹⁴.

Antes mesmo da publicação, Linus Pauling enviou duas cópias de seu manuscrito sobre a estrutura da molécula de DNA¹⁵ a Londres. Uma endereçada ao diretor do laboratório Cavendish¹⁶, Sir William Lawrence Bragg (1890-1971)¹⁷ e outra ao seu filho Peter Pauling (1931-2003)¹⁸ que também desenvolvia pesquisas no mesmo laboratório que Watson e Crick, o próprio laboratório Cavendish na Universidade de Cambridge.

Bragg foi ganhador do prêmio Nobel de Física¹⁹ em 1915 juntamente com seu pai, pelo reconhecimento de seus trabalhos com a criação e o desenvolvimento da técnica de cristalografia de raio X em cristais. Há indícios de que Bragg disputava reconhecimento científico com Linus Pauling²⁰, principalmente pelos trabalhos com estruturas de macromoléculas.

¹³ Nessa proposta, Ronwin coloca os fosfatos no meio da molécula de DNA, com as bases planas para fora. "Diagram of the Ronwin structure for the nucleic acids. November 1951", Linus Pauling and the race of DNA, acessado em 12 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/pictures/ronwin-phospho.html>

¹⁴ Livio, *Tolices brilhantes*, 152-156.

¹⁵ "Manuscript Notes and Typescripts, A Proposed Structure for the Nucleic Acids. November - December 1952", Linus Pauling and the Race of DNA, acessado em 12 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/notes/1952a.22.html>

¹⁶ University of Cambridge, acessado em 12 de outubro de 2017, <https://www.phy.cam.ac.uk/history>

¹⁷ *Encyclopedia Britannica* "Sir Lawrence Bragg", acessado em 12 de outubro de 2017, <https://www.britannica.com/biography/Lawrence-Bragg>

¹⁸ "The Pauling Blog", The [Oregon State University Libraries](http://www.oregonstate.edu) Special Collections & Archives Research Center, acessado em 12 de outubro de 2017, <https://paulingblog.wordpress.com/2016/05/31/peter-pauling-and-the-discovery-of-the-double-helix-1952-1953/>

¹⁹ "Lawrence Bragg - Biographical", Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014, acessado em 12 de outubro de 2017, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1915/wl-bragg-bio.html

²⁰ Watson, *A dupla hélice*, 89, Linus Pauling and the race of DNA, acessado em 12 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/narrative/page4.html>

James D. Watson²¹, diplomado em biologia pela Universidade de Chicago, teve acesso à cópia do manuscrito dessa proposta que foi endereçada a Peter Pauling. Ao observar brevemente o manuscrito, ele verificou que algo poderia estar errado, pois Pauling propunha um modelo semelhante à proposta que o próprio Watson em parceria com Francis Crick²² havia anunciado, sem sucesso, quinze meses antes²³.

Em seu artigo, Pauling e Corey, propunham um modelo de DNA formado por três hélices centrais, como mostra o trecho abaixo:

“A explicação alternativa dos dados de raios-x é que a molécula é formada por três cadeias, que são enroladas uma sobre a outra. A estrutura que propomos é uma estrutura de três cadeias, sendo cada cadeia uma hélice...”²⁴

Podemos considerar que Pauling e Corey possuíam poucos e inadequados materiais para serem analisados, pois os dados utilizados por eles, obtidos por meio de fotos em raio-x do DNA, foram resultados dos trabalhos publicados em 1947 por William Astbury (1898-1961). Tais imagens não traziam boas definições para o que poderia ser interpretado sobre a estrutura da molécula de DNA. A figura 3 mostra as imagens obtidas por Astbury²⁵.

²¹ Ferreira, *Watson e Crick*, 52-56.

²² *Ibid.*, 37 – 51.

²³ Watson, *A dupla hélice*, 150-152.

²⁴ Pauling and Corey, “A proposed structure for the nucleic acids,” 87.

²⁵ Hausmann, *História da biologia molecular*, 72-74.

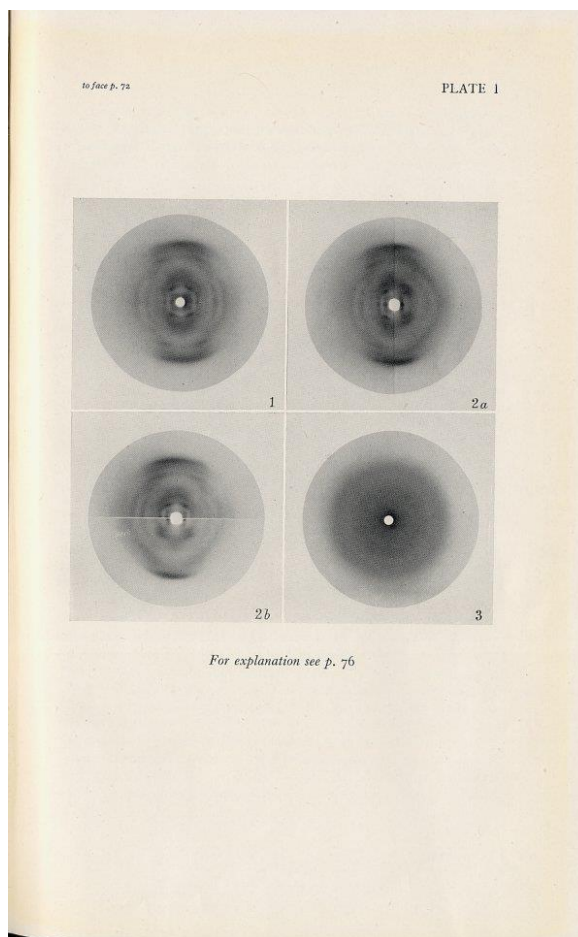


Figura 1 - Imagens da molécula de DNA obtidas por Astbury em 1947.

Uma das questões mais criticadas nesse modelo, que inclusive aparece registrado no artigo de Watson e Crick, e que será verificado mais adiante neste capítulo, está relacionada à configuração espacial da molécula. Segundo a proposta, a parte interna de cada hélice seria formada por grupos açúcar-fosfato e as bases nitrogenadas, purinas e pirimidinas, estariam na parte externa da molécula. Essa ideia de três hélices contrastava com valores obtidos sobre a densidade da molécula, tornando esse modelo muito denso e apertado, reconhecido no próprio artigo de Pauling e Corey, como mostrado abaixo:

“A estrutura é extraordinariamente apertada, com pouca oportunidade de mudança na posição dos átomos.”²⁶

²⁶ Pauling and Corey, “A proposed structure for the nucleic acids,” 91.

Podemos considerar que a questão mais criticada dessa proposta tenha sido a maneira como Pauling e Corey sugeriram unir as hélices, propondo para isso, fracas ligações de hidrogênio entre os fosfatos centralizados. Uma breve análise de Watson no manuscrito, confirmada por cientistas de um laboratório de química orgânica de Cambridge, mostrava que esse arranjo não tornava a molécula de ácido nucleico necessariamente um ácido²⁷.

Havia ainda o problema da pouca viabilidade do modelo, pois o mesmo estaria no limite da estabilidade entre as forças estabelecidas pelas cargas elétricas entre os átomos dos grupos fosfato ligados no centro da molécula, uma vez que esses grupos apresentam cargas negativas²⁸. A imagem a seguir (figura 4), apresentada no artigo de Pauling e Corey, mostra um desenho da estrutura proposta para a molécula de DNA.

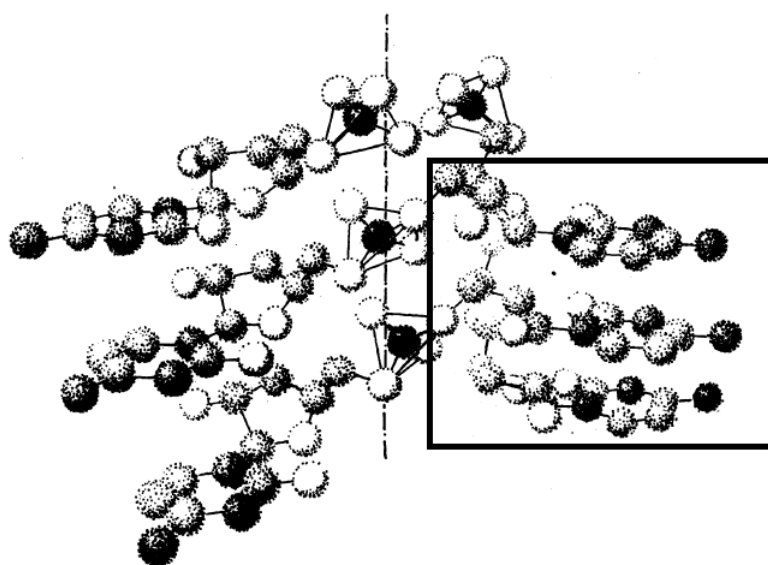


Figura 2- Na molécula de DNA proposta por Pauling e Corey é possível verificar que os grupos açúcar-fosfato estão na parte interna e as bases nitrogenadas (em destaque) na parte externa da molécula.

No dia 21 de março de 1953, dias antes da publicação do artigo na *Nature*, Watson e Crick enviaram uma carta a Linus Pauling, relatando que haviam proposto uma nova estrutura para o DNA. Nessa carta²⁹, os autores relatam que

²⁷ Watson, *DNA*, 62- 70.

²⁸ Mukherjee, *O Gene*, 185-186. Também em: Livio, *Tolices brilhantes*, 151-152.

²⁹ Pauling and Corey, "A proposed structure for the nucleic acids," 90.

mencionaram a estrutura de Pauling e Corey no artigo, solicitando a permissão para o relato das mudanças entre as duas propostas³⁰.

O artigo de Watson e Crick iniciava-se relatando que ambos tiveram acesso ao manuscrito de Pauling e Corey antes mesmo da publicação, como já destacado no início deste capítulo.

Logo após os autores iniciam suas críticas em relação à proposta da molécula de DNA de Pauling e Corey, apontando dois problemas relacionados ao modelo de três hélices com os grupos açúcar-fosfato na parte interna e as bases nitrogenadas na parte externa da molécula, sugerindo a inviabilidade da molécula devido às forças que manteriam a estrutura unida, bem como a molécula ser apertada e densa:

“Em nossa opinião, essa estrutura é insatisfatória por duas razões: (1) Acreditamos que o material que fornece os diagramas de raios-X é o sal, não o ácido livre. Sem os átomos acídicos de hidrogênio não é claro que forças manteriam a estrutura unida, especialmente porque os fosfatos negativamente carregados que estão perto do eixo se repelirão uns aos outros. (2) Algumas das distâncias de Van der Waals parecem ser muito pequenas”.³¹

O terceiro cientista a dividir o prêmio Nobel em 1962, por ter contribuído na construção do modelo de DNA, o físico Maurice Wilkins, desenvolvia trabalhos com o DNA, mais especificamente, com a técnica de cristalografia, que tirava fotos de difração de raios-X de amostras de DNA cristalizado³².

Embora não trabalhassem juntos, Wilkins também era pesquisador do laboratório do King's College em Londres³³, onde a física Rosalind Franklin (1920-1958) realizava suas pesquisas. Franklin havia se especializado na técnica de fotografia de difração de raio-X e, junto de seu aluno de pós-

³⁰ “Correspondence”, Linus Pauling and the Race of DNA, acessado em 14 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/corr/sci9.001.32-watsoncrick-lp-19530321-transcript.html>

³¹ Watson and Crick, “A structure for desoxyribose nucleic acid”, 737.

³² Ferreira, *Watson e Crick*, 42-46

³³ “Famous King's People, Maurice Wilkins and Rosalind Franklin,” King's College London, acessado em 14 de outubro de 2017, <https://www.kcl.ac.uk/aboutkings/history/famouspeople/wilkinsfranklin.aspx>

graduação Raymond Gosling (1926-2015), registrou aquela que seria uma das principais evidências sobre a estrutura da molécula de DNA.

A famosa foto 51 foi tirada em uma amostra de DNA da forma B, com maior proporção de água, diferentemente da forma A, utilizada até então, que apresentava resultados menos expressivos³⁴, como as imagens conseguidas por Astbury e utilizadas como base para a construção da proposta de Pauling e Corey.

Talvez a questão mais discutida e criticada em relação à publicação e ao prêmio Nobel, concedido aos cientistas, esteja relacionado à ética no meio científico e também ao não reconhecimento dos trabalhos de Franklin. James Watson teve acesso à foto 51 por meio de Wilkins, sem que Franklin soubesse, quando visitou o laboratório do King's College para mostrar o manuscrito de Pauling com a intenção de confirmar as falhas naquela proposta. Apresentar a foto 51 a Watson, provavelmente tenha sido a mais significativa contribuição de Wilkins para a construção do modelo de DNA.

Ao observar brevemente a foto 51 (figura 5), Watson verificou resultados bastante reveladores sobre a possível estrutura do DNA, podendo concluir que a molécula era uma hélice, como mostra seu relato:

“No instante em que vi a imagem, minha boca se abriu e meu coração disparou. O padrão era inacreditavelmente mais simples do que o anterior (forma "A"). Além do mais, a cruz negra de reflexos que dominava a imagem só poderia surgir de uma estrutura helicoidal.”³⁵

³⁴ Ferreira, *Watson e Crick*, 57-58.

³⁵ Watson, *A dupla hélice*, 158.



Figura 5- A foto 51 obtida por Franklin e Gosling, a partir da amostra da forma B do DNA cristalizado.

É provável que Pauling pudesse ter desenvolvido um modelo mais consistente para a molécula de DNA, se tivesse acesso a materiais e dados mais significativos, como as imagens produzidas pela equipe do laboratório do King's College, mais especificamente por Franklin e Gosling. Ciente dos trabalhos e resultados obtidos nesse laboratório, Pauling havia solicitado algumas fotos obtidas do DNA a Maurice Wilkins. No entanto, Wilkins negou o pedido, justificando que necessitava de mais tempo de dedicação no processo de interpretação dos resultados. O próprio Wilkins revelou anos mais tarde que se Pauling tivesse visitado seu laboratório em 1952 não teria como deixar de apresentar os resultados obtidos por meio da técnica com o DNA na forma B, demonstrando reverência ao grande cientista, como pode ser verificado em uma entrevista para a BBC em 1997³⁶.

O contexto pós segunda guerra, principalmente as tensões entre o governo norte americano e os movimentos comunistas presentes em alguns

³⁶ "Lifestory: Linus Pauling", Audio Clips, Linus Pauling and the Race of DNA, acessado em 14 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/audio/1997v.1-photos.html>

países europeus, contribuiu para dificultar a visita de Pauling ao laboratório do King's College. Naquela época, ele havia sido convidado para uma conferência na Royal Society em Londres, sobre as estruturas proteicas, que aconteceria em maio de 1952. No entanto, a divisão de passaportes do Departamento de Estado de Washington recusou o passaporte de Pauling, justificando que o pedido desse passaporte não era de interesse dos Estados Unidos da América, julgando que Pauling era simpático ao movimento comunista³⁷ (figura 6).

“Caro Doutor Pauling,

Em resposta à sua carta de 24 de janeiro de 1952, você está informado de que seu pedido de passaporte foi cuidadosamente considerado pelo Departamento. No entanto, um passaporte deste Governo não está sendo emitido para você, uma vez que o Departamento é de opinião de que sua viagem proposta não seria do melhor interesse dos Estados Unidos.”

³⁷ “Letter from Ruth B. Shipley to Linus Pauling. February 14, 1952.”, Correspondence, Linus Pauling and the Race of DNA, acessado em 14 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/corr/bio2.002.5-shipley-lp-19520214.html>

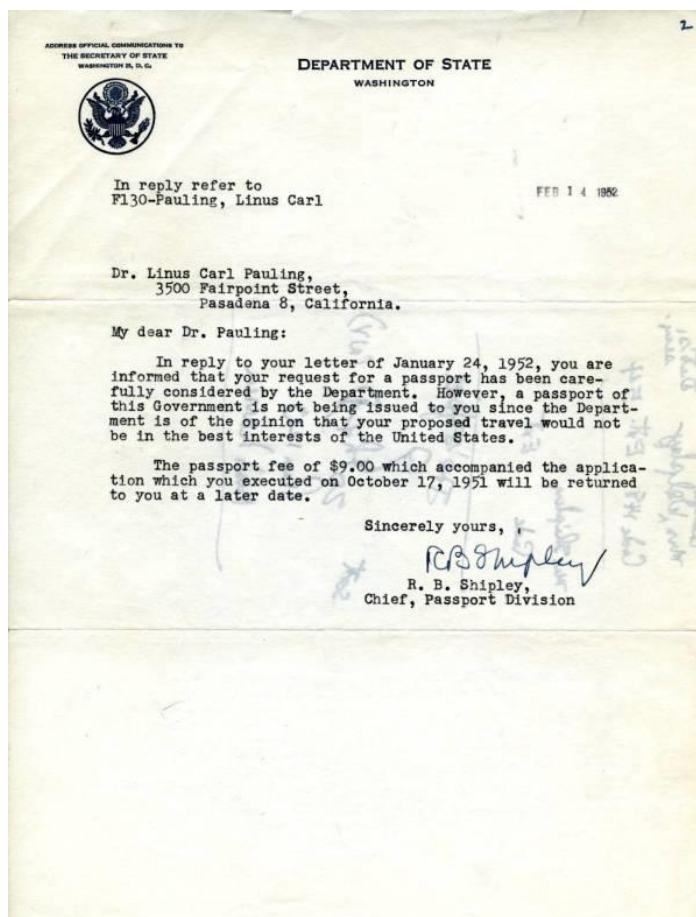


Figura 6- O pedido de passaporte negado à Linus Pauling pelo Departamento de Estado de Washington.

Como será abordado e discutido mais adiante, além dos dados obtidos pelos experimentos de Erwin Chargaff, os quais mostravam as proporções entre as bases nitrogenadas distintas, adenina-timina e citosina-guanina, os dados obtidos sobre a densidade do DNA³⁸ não sustentavam a ideia de três cadeias da molécula, como ocorria na proposta de Pauling e Corey. Sobre essa questão, Watson defendia uma estrutura com duas cadeias, como mostrado em seu relato:

“A essa altura, eu percebera que as medidas de densidade do DNA favoreciam ligeiramente um modelo de duas cadeias, não três, de modo que decidi buscar duplas hélices plausíveis. Como

³⁸ Medidas encontradas sobre o diâmetro das hélices de DNA estavam na casa de 20 Å (Angstroms), uma grandeza muito pequena utilizada em distâncias interatômicas. Para mais informações, vide: Ferreira, *Watson e Crick*, 61-62.

biólogo, eu preferia a ideia de uma molécula genética constituída de dois, não três, componentes. Afinal, os cromossomos, como as células, multiplicam-se por duplicação, não triplicação.”³⁹

Watson e Crick eram admiradores de Linus Pauling. Para o desenvolvimento de suas ideias sobre a estrutura do DNA, buscaram inspiração nos métodos utilizados por Pauling, como a construção de modelos tridimensionais utilizando materiais concretos produzidos na oficina do próprio Laboratório Cavendish. A imagem abaixo (figura 7) mostra o modelo da estrutura do DNA construído pela dupla.

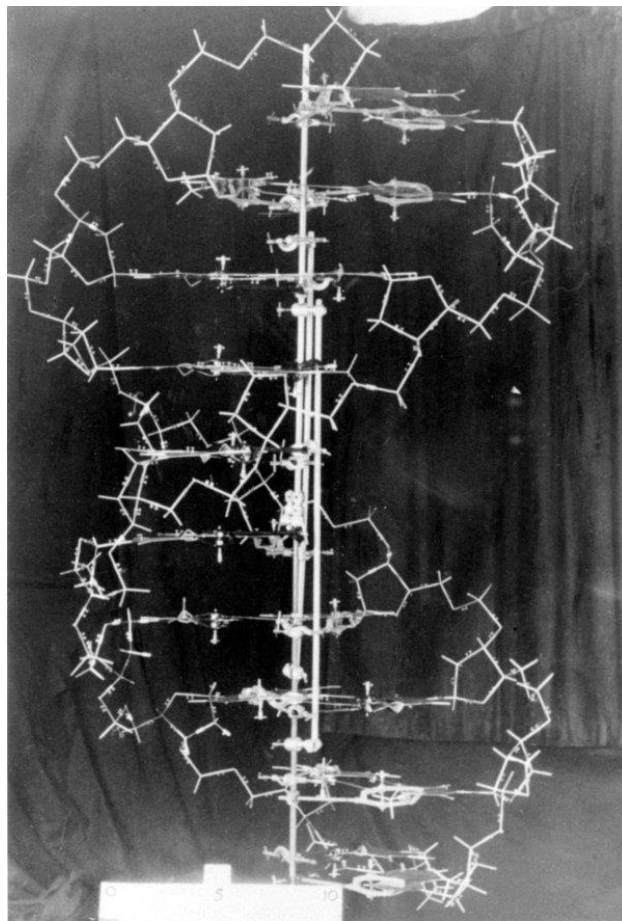


Figura 7 - Modelo da molécula de DNA construído com materiais concretos por Watson e Crick. ⁴⁰

³⁹ Watson, *DNA*, 64.

⁴⁰ “The original DNA demonstration model, designed by James Watson and Francis Crick. approx. 1953.”, Pictures and Illustrations, Linus Pauling and the Race for DNA, acessado em 14 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/pictures/picture-dnamodel.html>

A transcrição abaixo mostra uma carta de agradecimento enviada à Pauling em 1962, ano em que a dupla recebeu o prêmio Nobel, onde Francis Crick demonstra sua admiração e inspiração no trabalho do colega cientista:

“Caro professor Pauling,

Muito obrigado pela sua carta de parabéns. (...)

Tenho certeza de que na verdade não tenho que lhe dizer, mas Jim e eu sempre estaremos conscientes da profunda influência que seu trabalho sobre a hélice α teve na nossa abordagem da estrutura do DNA.

Francis Crick

Com os melhores cumprimentos

Com todos os bons desejos”⁴¹

1.1 - A influência de Chargaff e Donohue na construção do modelo do DNA.

O artigo publicado por Watson e Crick também fez referências às contribuições e influências de outros trabalhos e cientistas, para a construção do modelo de DNA. No parágrafo final desse artigo, a dupla comenta sobre a importante contribuição do jovem químico teórico americano Jerry Donohue:

Agradecemos muito ao Dr. Jerry Donohue pelos conselhos constantes e pelos comentários críticos, especialmente no que se refere às distâncias interatômicas.⁴²

⁴¹ “Letter from Francis Crick to Linus Pauling. October 24, 1962.”, Correspondence, Linus Pauling and the Race of DNA, acessado em 15 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/corr/corr68.11-crick-lp-19621024.html>

⁴² Watson and Crick, “A structure for desoxyribose nucleic acid”, 737-738

Esse comentário de agradecimento foi bastante pertinente, pois, como será visto mais adiante, as orientações de Donohue levaria às revisões na estrutura da molécula e no pareamento entre bases distintas.

Donohue, que havia sido parceiro do prestigiado químico Linus Pauling no laboratório Caltech⁴³ em Pasadena Califórnia, era especialista em ligações químicas, principalmente nas ligações de hidrogênio. Ele, em uma passagem por Cambridge no laboratório Cavendish, teve contato com Watson e Crick, no período em que a dupla finalizava a proposta para a estrutura da molécula de DNA.

Em uma correspondência endereçada a Pauling em 20 março de 1953, Donohue comenta sobre a engenhosa proposta do modelo construído pela dupla e a intenção de enviá-lo à Pauling antes da publicação na revista Nature.⁴⁴

A contribuição de Donohue foi fundamental para que a dupla resolvesse problemas na estrutura da proposta da molécula, e também fizesse uso dos importantes resultados encontrados nos trabalhos de Chargaff, como será discutido ainda neste capítulo. Em sua análise para a proposta da estrutura do DNA, Donohue apontou à dupla que a mesma não funcionaria, pois as formas tautoméricas⁴⁵ das bases nitrogenadas timina e guanina, utilizadas no modelo e que eram apresentadas nos livros de química orgânica, estariam incorretas.

Segundo Donohue, essas bases deveriam ocorrer nas formas cetônicas e não enólicas, sugerindo que as devidas correções poderiam ser realizadas na proposta que estava sendo construída, como mostra a figura 8.

⁴³ California Institute of Technology, acessado em 15 de outubro de 2017, <http://www.caltech.edu/>

⁴⁴ "Letter from Jerry Donohue to Linus Pauling. March 20, 1953.", Correspondence, Linus Pauling and the Race for DNA, acessado em 15 de outubro de 2017, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/corr/sci9.001.31-donohue-lp-19530320.html>

⁴⁵ Formas tautoméricas são isômeros que se diferenciam pela posição dos átomos de hidrogênio.

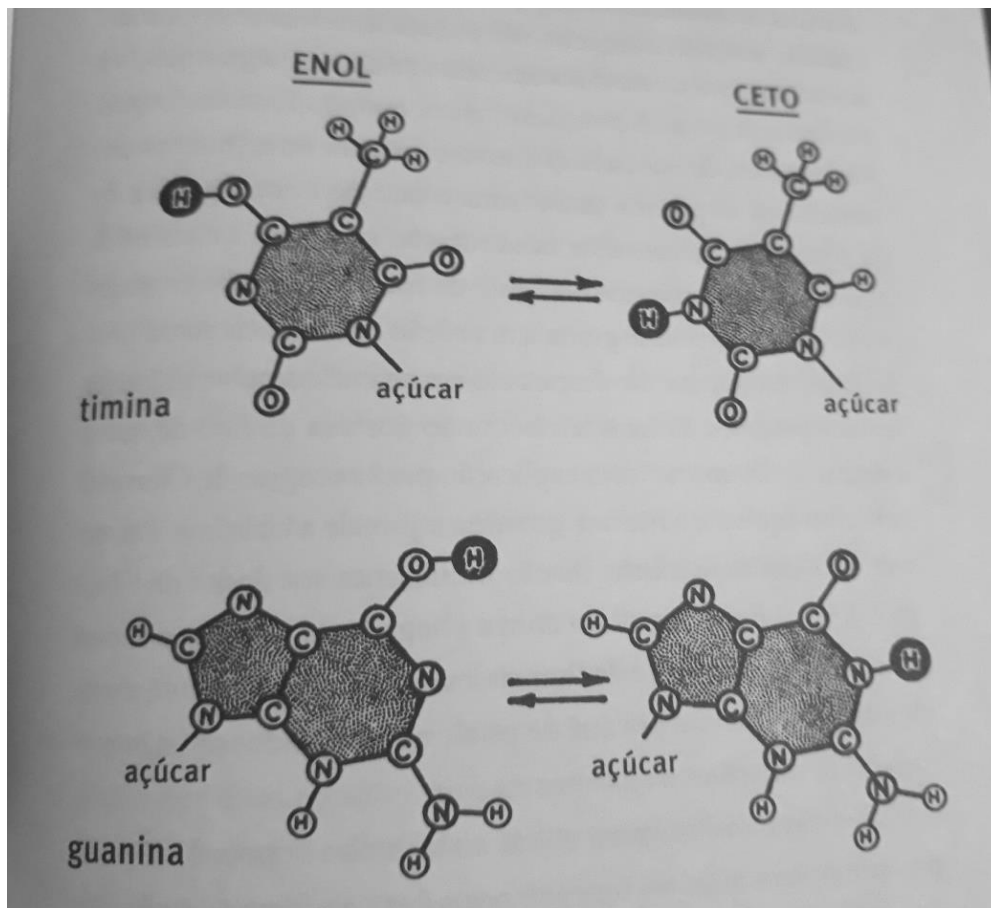


Figura 8 - As diferenças entre as formas tautoméricas das bases nitrogenadas timina e guanina⁴⁶.

Com as alterações nas formas tautoméricas das bases timina e guanina foi possível resolver o problema da distorção que causava no esqueleto da molécula de DNA, por conta das distâncias estabelecidas e entre os ângulos das ligações, como pode ser verificado no relato de Watson:

“A mudança dos átomos de hidrogênio para seus locais cetônicos tornou ainda mais importante a diferença de tamanho entre as purinas e pirimidinas do que seria se as formas enólicas existissem. Somente por um anseio muito especial eu poderia imaginar o esqueleto de polinucleotídeo se dobrando o bastante para acomodar sequencias de bases irregulares.”⁴⁷

⁴⁶ Watson, *A dupla hélice*, 177.

⁴⁷ Watson, *A dupla hélice*, 178.

Tais distorções verificadas nas fitas de DNA do modelo, ocorriam porque inicialmente nessa proposta, o pareamento ocorria entre bases nitrogenadas idênticas, ou seja, adenina-adenina, citosina-citosina, timina-timina e guanina-guanina. Portanto, com as novas configurações foi possível formar pares entre as bases púricas com as bases pirimídicas, ou seja, adenina-timina e os pares citosina-guanina, tornando a configuração do modelo mais simétrico.

Por consequência, a formação desses pares de bases passou a dar sentido aos resultados dos experimentos do bioquímico austríaco Erwin Chargaff, na Universidade Columbia, sobre medidas nas proporções das quantidades de cada base nitrogenada do DNA, obtidas em diferentes tecidos de diferentes espécies de seres vivos⁴⁸.

O reconhecimento dos resultados dos experimentos de Chargaff para a construção do modelo da molécula de DNA também foram considerados por Watson e Crick, como mostrado no trecho abaixo registrado no artigo da dupla:

“Foi observado experimentalmente (Chargaff, Wyatt, 1952) que a razão entre as quantidades de adenina e timina, e a razão entre guanina e citosina são sempre muito próximas da unidade para o ácido desoxirribonucleico”⁴⁹.

Os resultados obtidos nos trabalhos de Chargaff, mostravam que a proporção da base nitrogenada adenina era semelhante a proporção da base timina. A mesma relação se aplicava entre as bases guanina e citosina. Com isso formulou-se a regra de Chargaff de 1:1 entre as bases nitrogenadas⁵⁰.

No entanto, mesmo diante dos resultados das proporções, o pareamento entre as diferentes bases da molécula de DNA não foi interpretado inicialmente por Chargaff. Tal pareamento havia sido pensado por Crick⁵¹ diante do

⁴⁸ Ferreira, *Watson e Crick*, 65-66.

⁴⁹ Watson and Crick, “A structure for desoxyribose nucleic acid”, 737

⁵⁰ Hausmann, *História da biologia molecular*, 74-76.

⁵¹ Referências a respeito desse assunto, podem ser encontradas em: Manchester, Historical Opinion: Erwin Chargaff and his ‘rules’ for the base composition of DNA: why did he fail to see the possibility of complementarity? 69. Também em: Watson, DNA, 62. Além de: Watson, a dupla hélice, 128.

conhecimento sobre as proporções das bases, mas somente com as observações de Donohue sobre as formas moleculares, foi possível aliviar o incômodo e reverter a ideia da ligação entre bases idênticas, como mostra o relato de Watson:

“Francis também não gostava do fato de que a estrutura não apresentava explicação para as regras de Chargaff (adenina equivale a timina, guanina equivale a citosina).”⁵²

As soluções para os problemas encontrados no modelo proposto inicialmente por Watson e Crick, foram resolvidas com a contribuição de Donohue e pela interpretação e uso dos trabalhos de Chargaff, como destacado no trecho abaixo por Watson.

“Duas sequencias de bases irregulares poderiam ser comprimidas regularmente no centro de uma hélice se uma purina sempre se ligasse por meio de hidrogênio a uma pirimidina. Além do mais a necessidade de haver uma ligação de hidrogênio significava que a adenina sempre faria par com a timina, enquanto a guanina só poderia parear com a citosina. As regras de Chargaff se destacaram repentinamente como consequência de uma estrutura duplo-helicoidal para o DNA. Ainda mais animador era que esse tipo de hélice sugeria um esquema de replicação muito mais satisfatório do que o meu pareamento semelhante-com-semelhante considerado por breves instantes”.⁵³

É importante destacar as diversas contribuições para a construção do modelo de DNA, como os resultados experimentais realizados no laboratório King’s College, principalmente o resultado obtido por R. Franklin e Gosling com a foto 51, o qual foi fundamental para que o modelo do DNA fosse pensado como uma molécula helicoidal. Sobre essa questão, vale ressaltar as críticas em relação à ética no meio científico e ao não reconhecimento aos pesquisadores que produziram essa foto.

⁵² Watson, *A dupla hélice*, 178.

⁵³ Watson, *A dupla hélice*, 180.

Pauling foi uma referência importante, como cientista de estruturas moleculares, para Watson e Crick. Diálogos entre Pauling e outros cientistas que trabalhavam com o DNA nos laboratórios Cavendish e King's College na Inglaterra, também contribuíram para o desenvolvimento das ideias de Watson e Crick. No entanto, a influência dos métodos para construção de modelos moleculares tridimensionais, parece ter sido a principal contribuição de Pauling para a elaboração do modelo da molécula de DNA de Watson e Crick.

As orientações corretivas de Donohue foram fundamentais na reelaboração das formas moleculares das bases nitrogenadas. Com essas correções, a dupla conseguiu interpretar e relacionar os resultados dos trabalhos de Chargaff com a estrutura que estava sendo construída do DNA, propondo o pareamento de bases nitrogenadas diferentes e resolvendo o problema da distorção que ocorria no modelo se as bases iguais fossem pareadas.

Assim, baseados nos estudos de diversos cientistas, Watson e Crick propuseram um novo modelo para a molécula de DNA, formado por duas cadeias de açúcar-fosfato em formato de hélices, ligadas ao pareamento de bases nitrogenadas, purina e pirimidina, na parte interna da molécula. A figura 9 mostra o desenho da molécula de DNA apresentada no artigo publicado na revista Nature em 25 de abril de 1953⁵⁴.

⁵⁴ Watson and Crick, "A structure for desoxyribose nucleic acid", 737.

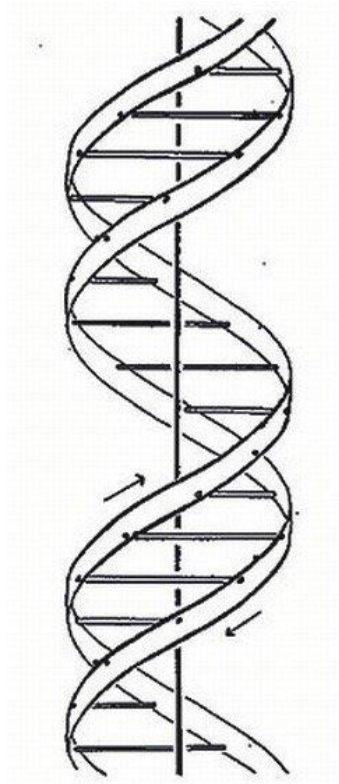


Figura 9- O desenho da molécula de DNA apresentado no artigo da revista *Nature* em 1953.

Do que foi analisado neste capítulo, podemos concluir que este episódio mostra muito bem a construção coletiva de conhecimentos científicos, bem como ilustra a ideia comum, porém inadequada de descoberta científica.

Nesse sentido, no próximo capítulo, após analisarmos as referências a esse episódio em vários livros didáticos, apresentaremos uma sequência didática que procura ressaltar o caráter coletivo da produção do conhecimento científico.

Capítulo 2

Análise de livros didáticos de ciências da natureza: A história dos modelos de DNA

Diversos estudos atuais destacam a importância da presença da História da Ciência no ensino das ciências naturais. As reflexões e discussões sobre a gênese e reelaboração de conceitos sobre fenômenos naturais, as particulares questões sociais e técnicas desenvolvidas, assim como os diferentes modelos de elaboração e construção de conhecimentos, são potentes nos estudos em História da Ciência.⁵⁵

A reflexão que se faz sobre essa questão é necessária a fim de evitar que as propostas para o ensino de ciências da natureza, de certa forma, levem a uma visão empobrecida e até distorcida em relação aos processos que envolveram as construções dos conhecimentos sobre os fenômenos naturais.⁵⁶ Dessa forma, é importante favorecer um ensino que potencialize as discussões e reflexões sobre a produção dos conhecimentos científicos como construções humanas coletivas, diretamente relacionadas às diferentes épocas e sociedades, o que é fundamental para o ensino de ciências naturais⁵⁷, de acordo com as razões consideradas potentes descritas no parágrafo anterior.

As possibilidades de interação entre História da Ciência e ensino de ciências da natureza, compreende a construção de interfaces entre estes distintos campos disciplinares. Nesse sentido é fundamental a elaboração de atividades didáticas a partir de tendências pedagógicas, que sejam adequadas às perspectivas historiográficas consideradas. Para isso, o comprometimento dos educadores envolvidos torna-se significativo ao buscar estabelecer a reflexão e análises de contextos históricos, privilegiando a construção do conhecimento científico pautado nos debates, no desenvolvimento de técnicas e

⁵⁵ Beltran, Saito & Trindade, *História da Ciência para formação de professores*, 101.

⁵⁶ Cachapuz et al., *A necessária renovação do ensino das ciências*, 48.

⁵⁷ *Ibid.* 113.

nas particularidades de cada sociedade, diferentemente do que propor apenas leituras e experimentos de alguns cientistas que se tornaram mais conhecidos.⁵⁸

Dessa forma, a construção de interfaces pressupõe buscar as relações que se estabelecem entre um determinado objeto de estudo com diferentes campos de conhecimento, como apontado por Alfonso-Goldfarb (2003, p. 63-64) afirma:

“...devo desencapar a malha analítica metodológica de minha ciência de origem e ver de que maneira posso conectar os fios ali encontrados com os de outras teorias, que estabeleçam interface com meu objeto de estudo. A conexão desses vários fios através de várias malhas relacionadas me levariam a observar um mesmo objeto de estudo em níveis diferentes.”

No entanto, é observado que ainda existem muitas questões a serem discutidas e investigadas, como a atualização dos objetivos e conteúdos relacionados à História da Ciência nos currículos dos cursos de formação de professores, bem como as abordagens em História da Ciência presentes nos livros didáticos utilizados nas salas de aula. Nesse sentido, Pozo e Crespo admitem que embora uma concepção da ciência, segundo os autores, positivista, de forma a se pensar que a elaboração de conhecimentos sobre a natureza seja baseada em observações de fatos e utilização um determinado método já tenha sido superada entre historiadores da ciência, ela ainda persiste nas salas de aula.⁵⁹

Em relação aos currículos nacionais, podemos encontrar a presença da História da Ciência nos objetivos e orientações didáticas. É o caso da recomendação nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) no que se refere às ciências da natureza e suas tecnologias, para o ensino fundamental:

A história das Ciências também é fonte importante de conhecimentos na área. A história das ideias científicas e a história das relações do ser humano com seu corpo, com os ambientes e com os recursos naturais devem ter lugar no ensino, para que se possa construir com os alunos

⁵⁸ Beltran, Saito & Trindade, *História da Ciência para formação de professores*, 117-118.

⁵⁹ Pozo & Crespo, *A aprendizagem e o ensino de ciências*, 20

uma concepção interativa de Ciência e Tecnologia não-neutras, contextualizada nas relações entre as sociedades humanas e a natureza. A dimensão histórica pode ser introduzida nas séries iniciais na forma de história dos ambientes e das invenções. Também é possível o professor versar sobre a história das ideias científicas, conteúdo que passa a ser abordado com mais profundidade nas séries finais do ensino fundamental.⁶⁰

Ainda no documento dos PCN em ciências naturais para as séries finais do ensino fundamental, é orientado como parte dos objetivos gerais, que os alunos desenvolvam as seguintes capacidades:

- compreender a natureza como um todo dinâmico, sendo o ser humano parte integrante e agente de transformações do mundo em que vive;
- identificar relações entre conhecimento científico, produção de tecnologia e condições de vida, no mundo de hoje e em sua evolução histórica;⁶¹

Já os PCNs de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, para o componente curricular biologia do ensino médio, reconhece que:

Elementos da história e da filosofia da Biologia tornam possível aos alunos a compreensão de que há uma ampla rede de relações entre a produção científica e o contexto social, econômico e político. É possível verificar que a formulação, o sucesso ou o fracasso das diferentes teorias científicas estão associados a seu momento histórico.⁶²

Esse mesmo documento orienta para o desenvolvimento das seguintes habilidades e competências descritas no âmbito de contextualização sociocultural:

- Reconhecer o sentido histórico da ciência e da tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio.
- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolveram por acumulação, continuidade ou

⁶⁰ PCN, Ensino Médio, 27.

⁶¹ Ibid. 31.

⁶² PCN, Ciências Naturais, 14

ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.⁶³

Uma das formas de se implementar essas proposições curriculares para a educação que acontece de fato nas salas de aula é por meio de materiais didáticos disponíveis tanto aos professores quanto aos alunos. O livro didático, portanto, contribui, além dos conteúdos conceituais específicos de cada componente curricular, como um meio de transpor esses objetivos curriculares descritos anteriormente.

A realidade do ensino no Brasil mostra que o livro didático pode ser considerado como a principal fonte de consulta para a maioria dos professores, além do principal material de estudos para os alunos do ensino básico. Esse material ainda se apresenta como uma valiosa ferramenta didática aos professores, bem como um recurso potente aos alunos, no que se refere ao contexto da educação brasileira.⁶⁴ No entanto, em relação às propostas para o ensino da História da Ciência, os livros didáticos ainda apresentam breves trechos, enfatizando datas e descobertas, idolatrando alguns cientistas em trabalhos isolados, como pudemos constatar por meio das análises apresentadas nesta dissertação.

O PNLD (Programa Nacional do Livro e do Material Didático) visa avaliar e disponibilizar materiais didáticos às escolas públicas de educação básica das redes federal, estadual, municipal e distrital. O Guia do PNLD 2017 elaborado para o componente curricular ciências da natureza dos anos finais do ensino fundamental, traz uma orientação aos professores para a escolha do livro didático em relação as propostas para o ensino da História da Ciência, como pode ser observado no trecho abaixo:

Ao realizar a escolha da coleção mais adequada, observe, portanto, como o diálogo com a ciência está sendo estabelecido. Este diálogo comumente aparece, nas obras selecionadas, em quadros, boxes, seções, em textos anexos ao conteúdo e, raramente, no texto principal e com destaque ao trabalho de um

⁶³ Ibid. página 13.

⁶⁴ Vasconcelos & Souto “O livro didático de ciências”, 93-94.

único cientista de um determinado momento histórico. Mas trazer para o livro didático os (as) cientistas brasileiros (as) e o contexto histórico, social e cultural de produção da ciência não garante que a coleção está evitando abordar a ciência pelo viés positivista. A história da ciência precisa estar vinculada à própria apresentação do conteúdo. Por isso, é importante perceber como a coleção escolheu narrar a ciência, sendo esta uma pista para uma boa escolha do livro didático a ser adotado pela escola.⁶⁵

Podemos observar nesse trecho que esse guia apoia a contextualização histórica, social e cultural da produção científica, assim como repudia a ideia da valorização de descobertas realizadas por cientistas isolados. Essa orientação, portanto, pode contribuir para a escolha de livros didáticos que valorizem que o ensino da História da Ciência possa ser proposto como uma construção coletiva dos conhecimentos sobre a natureza.

Diversos episódios da História da Ciência podem ser trabalhados em sala de aula, cada qual evidenciando determinadas características no que se refere à construção de conhecimentos sobre a natureza. As histórias sobre as propostas para uma estrutura da molécula de DNA, publicadas na década de 1950, são tidas como significativas para o desenvolvimento da Biologia Molecular. Nesse sentido, esses episódios também apresentam um grande potencial para o ensino dos conteúdos de Genética e da História da Ciência, por privilegiar a reflexão sobre a contribuição dos pesquisadores envolvidos nos debates sobre os diferentes modelos para a molécula de DNA. Como destacam Beltran e Saito:

“[...] propõe-se que as atividades envolvendo História da Ciência sejam partes integrantes do ensino de conteúdos específicos. Além disso, procura-se privilegiar a seleção de episódios nos quais se evidenciem debates entre concepções e/ou modelos diferentes para a explicação de um mesmo fenômeno ou

⁶⁵ PNLD 2017, 32.

que levem a refletir sobre a coerência interna de concepções elaboradas em outras épocas e culturas.”⁶⁶

Esses eventos mostram como o conhecimento científico pode também ser interpretado como um processo de construção e discussão coletiva de conhecimentos, envolvendo cientistas de diferentes campos da ciência, como a física, química e biologia. Dessa forma, esse episódio sobre as diferentes propostas para a molécula de DNA, apresentada na maioria das coleções de livros didáticos de biologia e ciências da natureza, pode ser investigada como proposta de estudos em história da ciência, para estudantes do ensino fundamental e ensino médio

No presente trabalho, foram analisados alguns livros didáticos de ciências da natureza para o ensino fundamental selecionados no PNLD 2017, bem como alguns livros de biologia para o ensino médio, que foram selecionados no PNLD 2015. Os critérios utilizados nessas análises estão descritos a seguir nesta dissertação.

Levando em conta as conclusões da análise, foi elaborada uma proposta de sequência didática, contemplando atividades de discussão e reflexão sobre a História da Ciência, com foco em debates sobre a estrutura da molécula de DNA ocorridos durante a década de 1950.

3.1 Análise dos livros didáticos de ciências da natureza.

Para essas análises foram selecionados livros didáticos de ciências da natureza para as séries finais do ensino fundamental, e livros de biologia para o ensino médio. A escolha por analisar livros de segmentos diferentes, ensino fundamental e ensino médio, teve como intenção, a comparação das abordagens propostas em cada um desses segmentos.

Os livros de ciências da natureza para as séries finais do ensino fundamental analisados foram aprovados pelo PNLD 2017, ou seja, passaram a ser adotados no ano de 2017 e devem ser utilizados pelas escolas públicas no

⁶⁶ Beltran & Saito, *Algumas propostas para contribuir na formação do cidadão crítico*, 34.

triênio 17/18/19. Já os livros de biologia para o ensino médio analisados, foram aprovados no PNLD 2015, pois ainda estavam em uso nas escolas (e ainda podem estar), no início das análises realizadas pelo mestrando.

Como já afirmado anteriormente, esta análise será pautada em categorias levantadas a partir de pesquisas desenvolvidas no PEPG em História da Ciência da PUCSP, especialmente aquelas abordando a interface entre História da Ciência e ensino.

Essas categorias estão descritas nas dissertações de mestrado de Ana Paula Pires Trindade e Ana Flávia Santos, e foram baseados nas discussões e propostas presentes na publicação: *História da Ciência para formação de professores*⁶⁷. Adjetivamos tais categorias como historiográficas, pois estão relacionadas às formas de se escrever a História da Ciência, ou seja, a abordagens historiográficas. Elas foram levantadas a partir de estudos fundamentais desenvolvidos especialmente pela equipe de pesquisadores do CESIMA.⁶⁸

Assim, são categorias que refletem características de abordagens historiográficas tradicionais em história da ciência: linearidade/ideia de evolução/erros x acertos; precursores, patronos e heróis; concepção de proto-ciência; história da ciência como “adorno” e estímulo; anacronismos.

Outras categorias que refletem manifestações de tais abordagens tradicionais em propostas de interação entre história da ciência e ensino, são: uso de originais em sala de aula; filosofia da ciência x história da ciência; replicação de experimentos; biografias/narrativas históricas.

Além das categorias historiográficas, também analisaremos os textos com base nas informações históricas descritas, em relação ao processo de pesquisa realizado para esta dissertação e apresentada no capítulos 1.

⁶⁷ Santos, “Lavoisier nos livros”. Trindade, “Análise de artigos”. Beltran & Trindade, *Abordagens interdisciplinares*

⁶⁸ Alfonso-Goldfarb, Ferraz & Beltran “A historiografia contemporânea e as ciências da matéria”, 49-73.

Livros de ciências da natureza para o ensino fundamental:

Livro 1 – Ciências Novo Pensar – 9º ano – Editora FTD – Gowdak e Martins – página 39

O trecho a seguir é apresentado no capítulo que propõe o estudo de moléculas orgânicas, no caso, os ácidos nucleicos.

Estrutura

No dia 25 de abril de 1953, o biólogo americano James Watson e o físico inglês Francis Crick publicaram na revista científica Nature um artigo no qual descreviam a estrutura do DNA. Essa descrição foi, possivelmente, o começo de uma nova e extraordinária ciência: a biologia molecular.

Essa descoberta foi de tal forma importante que rendeu aos dois pesquisadores e a outro físico inglês, Maurice Wilkins, o Prêmio Nobel de Medicina.

A proposta aceita até hoje determina que os nucleotídeos do DNA formam uma estrutura em dupla-hélice. Essa forma permite explicar como funciona a hereditariedade, como ocorrem as mutações gênicas e de que maneira o DNA pode se autoduplicar.

Análise:

O livro traz a ideia de descoberta do DNA por parte dos cientistas Watson e Crick, com a contribuição de Wilkins, como verificado no seguinte trecho: *Essa descoberta foi de tal forma importante que rendeu aos dois pesquisadores e a outro físico inglês, Maurice Wilkins, o Prêmio Nobel de Medicina.* Essa abordagem tende a valorizar o individualismo e a história do vencedor e herói, a ciência que deu certo. Essa visão também foi encontrada em análises de outros textos didáticos, bem como de outros publicados em periódicos e constitui uma das características da perspectiva historiográfica tradicional da História da Ciência. É importante rever a ideia de descoberta na ciência, pois a mesma não privilegia e não valoriza a construção de conhecimentos e os debates. Ainda,

passa ao leitor a sensação de que a ciência progride por meio das descobertas, como se elas fossem o centro da prática científica. Por isso, levaremos em conta nesta análise o conceito de descoberta, encontrado em livros de divulgação científica e em livros didáticos, pois esse conceito pode reforçar concepções muito tradicionais da história da ciência.⁶⁹

Não citar as contribuições de outros cientistas e resultados experimentais, como o caso de Chargaff, Franklin e Donohue, bem como as investigações e outras propostas de modelos, como o de Pauling, apontadas no capítulo 1 desta dissertação, para a elaboração do modelo de DNA proposto pela dupla, traz a ideia de que Watson e Crick tenham sido os pioneiros na elaboração de modelos para a molécula de DNA e os precursores da biologia molecular, como querem os autores ao afirmar que: *Essa descrição foi, possivelmente, o começo de uma nova e extraordinária ciência: a biologia molecular* .

Ainda em relação a essa ideia de um marco inicial do nascimento de uma nova ciência, a biologia molecular, podemos considerar o fato da proposta desse modelo realmente ter contribuído significativamente para o desenvolvimento da biologia molecular, mas não se trata do nascimento de uma nova ciência a partir desse evento, uma vez que os estudos sobre moléculas de atividade biológica já aconteciam havia tempos. Podemos exemplificar os trabalhos do bioquímico suíço **Johann** Friedrich Miesher (1844-1895), quando investigava os componentes orgânicos presentes nos núcleos celulares e encontrou uma substância ácida a qual nomeou de nucleína, sendo reconhecida, mais tarde, como o próprio DNA.⁷⁰

Livro 2 – Ciências Novo Pensar – 8º ano – Editora FTD – Gowdak e Martins – páginas 229 e 230.

Nesse livro, encontramos o texto abaixo escrito pelo jornalista Ricardo Miotto em uma matéria para o jornal Folha de São Paulo, versão on line, publicado no caderno *Ciência* no dia trinta de setembro de dois mil e dez.

⁶⁹ Cestari Jr, “O conceito de descoberta científica,” 95

⁷⁰ Mukherjee, *O Gene*, 166. Hausmann, *História da biologia molecular*, 37-38.

Rosalind Franklin e a descoberta da estrutura do DNA.

[...]

Cartas reveladas agora ajudam a contar a história da mulher mais injustiçada da ciência moderna. Nelas, Rosalind Franklin, cujo fundamental papel na descoberta da estrutura do DNA hoje é reconhecido, é atacada pelo próprio chefe do seu laboratório, o biólogo molecular Maurice Wilkins, nos anos 1950. Eles se odiavam e mal conversavam.

[...]

Havia, na época, uma corrida desesperada por mostrar como era o DNA. Franklin, com trinta e poucos anos, acabou sendo jogada para fora da pista pelos colegas.

Competiam dois grupos. De um lado, o de Wilkins, esse que a chamou de bruxa, no King's College de Londres, onde ela estava. De outro, Crick e James Watson, na Universidade de Cambridge.

A jovem Franklin avançava rápido. Em 1952, obteve com raio-X ótimas imagens de DNA, em especial uma delas, conhecida simplesmente como "a fotografia 51". Ficou com essas imagens por meses, mas não teve o insight de perceber que se tratava de uma dupla hélice, como uma escada em caracol.

Um aluno de Franklin, intrigado com a questão em aberto, mostrou a foto 51 a Wilkins, sem que a sua orientadora soubesse, querendo saber se ele teria alguma proposta de estrutura. Wilkins compartilhou a imagem com os colegas de Cambridge.

Lá, Crick e Watson tiveram o lampejo que Franklin não teve. Em 1953, publicariam um artigo na revista "Nature" com a proposta de estrutura, hoje consagrada. Wilkins escreveu um comentário. Franklin não foi citada.

Ela viria a morrer em 1958, com câncer no ovário, aos 37, sem reconhecimento e sem saber que o trio que publicou na "Nature" tinha visto seus dados -achou, aliás, que as conclusões deles faziam sentido, e que tinham encontrado resultados parecidos com os dela independentemente.

Em 1962, ganharam o Nobel de medicina -o papel de Franklin ainda era desconhecido e, mesmo que não fosse, não há Nobel póstumo.

As cartas mostram, porém, que os três tinham consciência de que não conseguiriam o Nobel sem o trabalho dela.

Logo após a publicação na "Nature", Wilkins escreve para Crick: "E pensar que Rosie teve todas aquelas imagens em 3D por nove meses e não viu uma hélice. Cristo."

Só a partir do final dos anos 1960 ela começou a ser reconhecida. Em 2000, o próprio Watson citou o seu papel na descoberta. Segundo ele, ela só não soube interpretar seus próprios dados. Ficou para a história como a "dama sombria" da descoberta da dupla hélice.

Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/807079-carta-revela-desprezo-por-rosalind-franklin-mae-do-dna.shtml>

Acesso em: maio de 2018.

Atividades

- 1- Qual a contribuição de Rosalind Franklin para a descoberta da estrutura do DNA?
- 2- Podemos dizer que a descoberta da estrutura do DNA permitiu o desenvolvimento da Biotecnologia?
- 3- Historicamente, a profissão de cientista era considerada como tipicamente masculina. Muitos pesquisadores acreditam que a falta de reconhecimento dos trabalhos de Rosalind Franklin por seus colegas deveu-se ao fato de que, na época, as mulheres não tinham credibilidade como cientistas. Em sua opinião, existem profissões masculinas e femininas?

Análise:

Nesse texto encontramos novamente a ideia de descoberta, o que não valoriza os processos de construção de conhecimentos, influenciando o leitor ao

pensamento de que a ciência progride por meio de descobertas e as mesmas são o centro do fazer científico, verificado no trecho: *Nelas, Rosalind Franklin, cujo fundamental papel na descoberta da estrutura do DNA hoje é reconhecido [...]*. Vale ressaltar que o modelo para a estrutura do DNA foi uma proposta construída a partir de evidências e não uma descoberta ao acaso. Essa abordagem da descoberta, reforçada na questão 1 de interpretação do texto, também valoriza o individualismo e a ideia do vencedor e herói da ciência.

O texto também descreve que Franklin foi a cientista mais injustiçada da ciência moderna no trecho: *Cartas reveladas agora ajudam a contar a história da mulher mais injustiçada da ciência moderna*. De fato, do ponto de vista ético, esse evento foi bastante questionado, uma vez que Wilkins mostrou os resultados experimentais a Watson, sem o consentimento de Franklin. No artigo publicado em 1953 pela dupla Watson e Crick, não há referências aos trabalhos de Franklin. O que se discute também sobre esse episódio foi a falta de reconhecimento ao trabalho habilidoso de Franklin. Sabe-se também que a análise da foto 51 foi determinante para a confirmação de que a molécula do DNA teria estrutura helicoidal. No entanto, outras questões também foram fundamentais para a elaboração da proposta sobre a estrutura do DNA, como os trabalhos de Chargaff e a contribuição de Donohue, o que permitiu o pareamento das bases nitrogenadas, bem como a influência de Pauling na construção de modelos concretos, como pode ser verificado no capítulo 1 desta dissertação.

É precipitado fazer esse juízo de valor de que Franklin tenha sido a cientista mais injustiçada da ciência moderna, sem ao menos se trazer referências de outras muitas injustiças relacionadas ao gênero feminino cometidas no contexto científico. De fato, R. Franklin foi injustiçada, mas, a falta de reconhecimento e exclusão das mulheres, bem como as considerações de que o trabalho feminino fosse menor e auxiliar, são ideias com origens em vários contextos.⁷¹

O texto também menciona a ideia de que houve uma corrida entre cientistas para a elaboração de uma estrutura do DNA, como pode ser verificado em: *Havia, na época, uma corrida desesperada por mostrar como era o DNA*. No

⁷¹ Beltran, Trindade & Tonetto, *Práticas e estratégias femininas*, 11.

entanto, não há evidências que indiquem tal “desespero” nessa suposta corrida. Além disso, nem todos os envolvidos são mencionados no trecho acima. Assim, como analisado nesta dissertação, sabe-se que, no mesmo período, Pauling também desenvolvia sua proposta de um modelo para a molécula de DNA e tinha conhecimento sobre grupos na Inglaterra que também investigavam tal molécula, como no laboratório do Cavendish em Cambridge e no laboratório King’s College em Londres. Mesmo assim, deve-se admitir que atualmente, no meio científico, por vezes possa existir a busca, ou corrida, por soluções e patentes por descobertas, objetivando ganhos financeiros e obtenção de verbas para custear os mais diversas pesquisas. Mas, essa disputa não é inerente à elaboração de conhecimentos científicos.

Livro 3: Ciências naturais Biologia – Coleção Araribá Plus – Editora Moderna – página 25.

Esse texto faz parte de um BOX chamado de *Saiba mais!*, ao se tratar da descrição de moléculas orgânicas, no caso, os ácidos nucleicos.

A descoberta da forma da molécula de DNA

Em 1952, a biofísica britânica Rosalind Franklin (1920-1958) realizou um experimento em que raios X foram disparados contra moléculas de DNA. A difração dos raios X nas moléculas de DNA foi captada em um filme fotográfico, formando uma imagem que dava uma ideia da posição dos átomos na molécula de DNA. Examinando os dados de Rosalind, James Watson (1928 -), biólogo molecular, geneticista e zoologista estadunidense, e Francis Crick (1916-2004), biólogo molecular, biofísico e neurocientista britânico, propuseram, em 1953, o modelo tridimensional de dupla-hélice para a molécula de DNA, que ficou conhecido como modelo de Watson e Crick.

Análise:

Essa breve descrição que destaca apenas alguns fatos sobre o episódio do modelo da molécula de DNA, não valoriza o processo de construção dessa proposta, nem mesmo as contribuições e debates entre outros cientistas envolvidos. Em geral, esses textos presentes em boxes, privilegiam apenas uma breve biografia de alguns cientistas envolvidos. Novamente, essa abordagem reforça a ideia de precursores e heróis credits à dupla Watson e Crick.

Livro 4 – Companhia das Ciências– 8º ano – Editora Saraiva – Usberto Salvador – página 224

O texto abaixo está presente no contexto dos estudos sobre genética e transmissão de informações hereditárias.

“Os cromossomos são formados por DNA

Os cromossomos são formados, em grande parte, por uma substância chamada DNA (ou ácido desoxirribonucleico). Embora desde o começo do século XX já se conhecesse o papel dos cromossomos na hereditariedade, o reconhecimento do papel do DNA só aconteceu na década de 1940. Durante muitos anos, pesquisadores desenvolveram inúmeros estudos tentando entender como o DNA poderia ser responsável pelas características hereditárias.

Uma das investigações procurava compreender como era formada a molécula de DNA, ou seja, qual a sua constituição e qual a sua estrutura. Em 1953, os cientistas Francis Crick e James Watson apresentaram um modelo para essa molécula, que representava de modo semelhante a uma escada torcida. Segundo esse modelo, o DNA é uma grande molécula formada por inúmeras moléculas menores que se ligam umas às outras: os “corrimões” da escada são formados por um tipo de açúcar ligado a um grupo

fosfato. Já os “degraus” são moléculas chamadas de bases nitrogenadas.”⁷²

Análise:

Ao apresentar apenas o feito de Watson e Crick sem contextualizar, nem descrever as importantes contribuições de outros cientistas, esse texto traz uma concepção que valoriza apenas os cientistas que publicaram o artigo com a proposta para a molécula de DNA, como se fossem precursores e heróis da ciência. Essa concepção não valoriza o processo de construção de conhecimentos, típico das ciências naturais.

Outro ponto que podemos analisar nesse texto é a analogia estabelecida entre a molécula de DNA como uma escada, comparando as moléculas de açúcares centrais como corrimões e as bases nitrogenadas como degraus. Embora o uso de analogias seja valorizado no ensino, é preciso cuidado ao apresentá-las aos leitores, pois essas comparações, que busquem simplificar ou adaptar a linguagem, podem reforçar o senso comum e subestimar a capacidade crítica e interpretativa dos leitores que não sejam do meio científico.⁷³ Nesse caso, a comparação do DNA com uma escada é interessante, pois contribui para uma aproximação da compreensão do modelo de sua estrutura. No entanto, os autores poderiam também, ao menos, informar que se trata de uma molécula em dupla hélice, como descrevem os cientistas.

Livros de Biologia para o ensino médio:

Livro 1: Biologia em contexto – volume único – Amabis e Martho – editora moderna – páginas 307 e 308.

Em relação a esse livro, selecionamos trechos encontrados no corpo textual presente no módulo sobre estudos em genética e biotecnologia na atualidade.

⁷² Salvador, *Companhia das ciências* 8, 224.

⁷³ Cestari Jr, “O conceito de descoberta científica,” 102

“O estopim dessa revolução na Genética foi a publicação na revista científica inglesa Nature, em 1953, do artigo intitulado Molecular structure of nucleic acid: a structure for desoxyribose nucleic acid (Estrutura molecular do ácido nucleico: uma estrutura para o ácido nucleico desoxirribose), de autoria de James Watson (n. 1928) e Francis Crick (1916-2004).”

Logo abaixo desse parágrafo, o livro apresenta uma foto de Watson e Crick junto do modelo construído pela dupla, com a seguinte legenda:

“James Watson (esq.) e Francis Crick ao lado do modelo de DNA construído por eles em 1953. Por terem descoberto a estrutura do DNA, eles ganharam o prêmio Nobel para a Medicina ou Fisiologia, e, 1962.”

Na página seguinte, o corpo textual apresenta novamente um trecho do episódio:

“O modelo de Watson e Crick foi bem aceito porque além de ser coerente com as propriedades físicas e químicas da molécula de DNA, também explicava como ela se duplica, produzindo duas réplicas exatamente iguais. [...]”

Análise:

Aqui podemos verificar novamente a ideia de descoberta, já discutida nas análises dos livros anteriores, como no trecho: *Por terem descoberto a estrutura do DNA, eles ganharam o prêmio Nobel para a Medicina ou Fisiologia, e, 1962.* Esses breves trechos descritos no corpo textual do livro não contextualiza esse importante episódio da História da Ciência para o desenvolvimento da biologia molecular. A ausência do contexto sócio histórico, bem como as contribuições e debates entre os diversos cientistas envolvidos, desvaloriza os processos de construção de conhecimentos sobre fenômenos naturais, comum no meio científico.

Concordamos com o comentário em que qualifica o modelo proposto, argumentado que o mesmo foi considerado consistente, pois era coerente com as propriedades físicas e químicas da molécula de DNA, já conhecidas anteriormente à publicação dessa proposta, descrito no trecho: *O modelo de Watson e Crick foi bem aceito porque além de ser coerente com as propriedades*

físicas e químicas da molécula de DNA, também explicava como ela se duplica, produzindo duas réplicas exatamente iguais. No entanto, o primeiro artigo de 1953, em que a dupla apresentava um modelo estrutural para a molécula de DNA, não mencionava propostas para o processo de duplicação da molécula, como afirmado no texto. Foi um segundo artigo da dupla, publicado no mesmo ano, que apresentava uma proposta para a duplicação do DNA.

Livro 2: Bio 2 – Sônia Lopes e Sergio Rosso – editora saraiva – páginas 169 e 170.

Em relação a esse livro, selecionamos trechos do corpo textual presente no módulo sobre estudos em genética.

“Um desafio na época era entender como esses nucleotídeos se dispunham formando o DNA. Em 1949, Erwin Chargaff (1905-2002), um bioquímico austríaco que vivia nos Estados Unidos da América, descobriu que a porcentagem dos nucleotídeos de adenina era semelhante à dos nucleotídeos de timina e que a porcentagem de nucleotídeos de citosina era semelhante à daqueles de guanina, podendo-se dizer que $[A] = [T]$ e $[C] = [G]$. Essa relação ficou conhecida como regra de Chargaff e provou-se válida para todos os seres vivos estudados. Chargaff e os demais pesquisadores, no entanto, não conseguiram explicar o motivo dessa relação.

Um acontecimento foi crucial na interpretação da estrutura do DNA e para a resposta de muitas das dúvidas sobre essa molécula. No início da década de 1950, a químico-física britânica Rosalind Franklin (1920-1958) começou a estudar o DNA usando uma técnica chamada difração de raios X. Depois de um trabalho intenso, Franklin publicou, em maio de 1952, a imagem mostrada na figura 5.10.”

A figura mencionada mostra a foto 51 com a seguinte legenda:

“Fotografia publicada em 1952 por Rosalind Franklin. Essa imagem, conhecida como “a fotografia 51”, mostra o padrão de difração de raios X da molécula de

DNA, mas não revela a estrutura da molécula. Ela permite inferir que a molécula de DNA é formada por duas fitas que se enrolam em espiral.”

O corpo textual continua descrevendo o episódio com as seguintes informações:

“Paralelamente ao trabalho de Franklin, outros pesquisadores estavam tentando entender a estrutura da molécula de DNA, entre eles, o biólogo norte-americano James Watson (1928-) e o físico britânico Francis Crick (1916-2004). Eles construíram vários modelos tridimensionais da molécula de DNA usando arames e cartões, mas nenhum desses modelos conseguia explicar a estrutura da molécula de DNA. Foi quando, no início do ano de 1953, o biólogo Maurice Wilkins (1916-2004), chefe do laboratório onde Franklin trabalhava, mostrou a Watson uma cópia da fotografia, tirada por ela. Os três, então, conseguiram definir a estrutura do DNA, publicando em abril do mesmo ano o trabalho que revolucionou a Biologia. Por esse feito, Watson, Crick e Wilkins receberam, em 1962, o prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia. Wilkins e Franklin, no entanto, são pouco mencionados quando se fala da estrutura do DNA.

Watson e Crick descreveram a molécula de DNA como formada por duas fitas de nucleotídeos, sendo cada fita uma sequência linear de nucleotídeos. A ordem em que os nucleotídeos aparecem pode variar: uma molécula de DNA difere de outra pelo número e pela ordem em que os nucleotídeos se dispõem.

Uma fita se enrola em espiral sobre a outra, formando uma dupla-hélice, semelhante a uma escada em espiral. Essa estrutura tridimensional correspondia à fotografia tirada por Franklin.”

Análise:

O texto menciona o cientista Chargaff e seus resultados experimentais com relação as proporções das bases nitrogenadas, como pode ser verificado no seguinte trecho: *“Um desafio na época era entender como esses nucleotídeos se dispunham formando o DNA. Em 1949, Erwin Chargaff (1905-2002), um bioquímico austríaco que vivia nos Estados Unidos da América, descobriu que a porcentagem dos nucleotídeos de adenina era semelhante à dos nucleotídeos*

de timina e que a porcentagem de nucleotídeos de citosina era semelhante à daqueles de guanina [...]. No entanto, não relaciona como se deu o uso desses resultados nos trabalhos de Watson e Crick, como descrito no capítulo 1 dessa dissertação, isolando esse importante fato do contexto elaborado nesse corpo textual.

Ao mencionar os importantes trabalhos de Franklin sobre os resultados experimentais que geraram a famosa foto 51, os autores informam, de maneira equivocada, que essa foto foi publicada em 1952, como pode ser verificado no seguinte trecho: *Um acontecimento foi crucial na interpretação da estrutura do DNA e para a resposta de muitas das dúvidas sobre essa molécula. No início da década de 1950, a químico-física britânica Rosalind Franklin (1920-1958) começou a estudar o DNA usando uma técnica chamada difração de raios X. Depois de um trabalho intenso, Franklin publicou, em maio de 1952 [...].* O que se sabe é que essa foto foi publicada na mesma revista em que o artigo de Watson e Crick propuseram o modelo do DNA, em abril de 1953. Ainda sobre os resultados obtidos por Franklin, a legenda da imagem informa que era possível inferir que a molécula era composta por duas fitas em espiral. Nesse caso, ficou evidente que a molécula tinha uma forma helicoidal, mas não era possível inferir que se tratava de duas fitas.

Em relação aos trabalhos de Watson e Crick, o texto informa que a dupla havia construído anteriormente diversos modelos tridimensionais utilizando arames e cartões, mas o que se sabe é que a dupla somente construiu um modelo tridimensional após a análise da foto 51. O texto também credits a Wilkins a construção do modelo, mas tudo indica que Wilkins colaborou apenas em apresentar a foto 51 a Watson, como podemos verificar no trecho a seguir: *Paralelamente ao trabalho de Franklin, outros pesquisadores estavam tentando entender a estrutura da molécula de DNA, entre eles, o biólogo norte-americano James Watson (1928-) e o físico britânico Francis Crick (1916-2004). Eles construíram vários modelos tridimensionais da molécula de DNA usando arames e cartões, mas nenhum desses modelos conseguia explicar a estrutura da molécula de DNA. Foi quando, no início do ano de 1953, o biólogo Maurice Wilkins (1916-2004), chefe do laboratório onde Franklin trabalhava, mostrou a Watson uma cópia da fotografia, tirada por ela. Os três, então, conseguiram*

definir a estrutura do DNA publicando em abril do mesmo ano o trabalho que revolucionou a Biologia. Por esse feito, Watson, Crick e Wilkins receberam, em 1962, o prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia [...]. O modelo foi construído pela dupla e teve uma importante contribuição de Donohue, corrigindo as formas tautoméricas dos açúcares, o que permitiu o pareamento entre as diferentes bases nitrogenadas, como descrito no capítulo 1 desta dissertação. Também se sabe que essa publicação não revolucionou a biologia molecular inicialmente, como informa o texto, pois ainda era necessário interpreta-la e dar sentido aos processos de duplicação e transcrição dessa molécula. Uma proposta para a duplicação do DNA foi publicada em um segundo artigo no mesmo ano de 1953, como já mencionado anteriormente.

Livro 3: Biologia 1 – Cézar, Sezar e Caldini – Editora Saraiva – página 51.

Nesse livro encontramos uma breve citação sobre o episódio da proposta para a molécula de DNA, em uma sessão denominada Leitura. Nesse texto, o contexto descreve os experimentos de Frederick Griffith em relação as investigações sobre o material portador das informações hereditárias transmitidas entre os seres vivos. Nesses experimentos, Griffith chegou aos resultados que evidenciavam que os genes eram as moléculas que transmitiam as características hereditárias.

“Na década de 1950, dois pesquisadores, Watson e Crick, propuseram um modelo da estrutura da molécula de DNA em forma de dupla-hélice. A compreensão da estrutura do DNA levou a entender as propriedades dos genes e impulsionou todas as pesquisas sobre genética molecular, que continuam até hoje.”

Análise:

Esse texto menciona que a compreensão da estrutura do DNA levou a entender as propriedades dos genes, como verificado no trecho: *A compreensão da estrutura do DNA levou a entender as propriedades dos genes.* Como já foi discutido nesta dissertação, o primeiro artigo da dupla, sobre um modelo para a

estrutura do DNA, não mencionava o possível funcionamento dessa molécula no diz respeito a transcrição e duplicação gênica. Foi somente o segundo artigo, publicado no mesmo ano, que trouxe uma proposta para esse funcionamento.

Podemos também verificar que esse breve texto não traz a contextualização histórica para esse episódio, nem as fundamentais contribuições dos outros cientistas envolvidos no processo de construção desse modelo. Essa abordagem valoriza apenas a ideia de precursores e heróis da ciência creditadas à dupla Watson e Crick, deixando de lado os importantes debates e os processos de construção de conhecimentos no fazer científico.

As análises descritas neste capítulo sugerem que as concepções de História da Ciência presentes nos livros didáticos de ciências da natureza para o ensino fundamental e o de biologia para o ensino médio, ainda se apresentam distantes das abordagens historiográficas atuais em história da ciência.

Os contextos históricos e socioculturais são pouco explorados nos textos analisados. Embora as análises feitas nesta dissertação tenham sido focadas apenas nos episódios sobre as propostas para o modelo da molécula de DNA, e não de outros textos sobre a história da ciência, essa questão deve ser levada em consideração também pelo fato de que um dos critérios eliminatórios presentes no PNLD 2017 para o ensino fundamental de ciências da natureza, verifica que a história da ciência tenha que ser apresentada além de nomes ou datas, e ainda que o contexto social, cultural, econômico e político seja levado em consideração no processo de produção do conhecimento científico.⁷⁴

Outro ponto que podemos destacar é a falta de valorização dos debates e contribuições dos demais cientistas envolvidos no episódio para a proposta do modelo da molécula de DNA, publicada por Watson e Crick. Como verificado na pesquisa realizada e descrita no capítulo 1 desta dissertação, cientistas como Linus Pauling, Erwin Chargaff e Jerry Donohue, foram fundamentais para a construção desse modelo. Não encontramos nos textos analisados, qualquer

⁷⁴ PNLD 2017, 28.

menção de Pauling e Donohue e apenas um texto que cita os resultados dos trabalhos de Chargaff.

Verificamos, entretanto, que boa parte dos textos analisados fazem menção às contribuições de Franklin para a construção do modelo de DNA, destacando seus importantes trabalhos como cientista, mas principalmente criticando o episódio como injustiça e o não reconhecimento de seus feitos. Concordamos com a apresentação desses apontamentos, pois além de trazerem um fato fundamental relacionado à análise da foto 51 para a construção do modelo da molécula de DNA, também contribuem para a reflexão sobre aspectos relacionados às questões de gênero no meio científico.

De fato, essa é uma questão que merece atenção, pois contribui na promoção positiva da imagem da mulher, bem como sua participação em diferentes profissões, reforçando seu protagonismo social, como orientado no anexo 3 do edital para o PNLD 2017, como princípios e critérios para avaliação das obras didáticas, como verificado abaixo:

*promover positivamente a imagem da mulher, considerando sua participação em diferentes trabalhos, profissões e espaços de poder, reforçando sua visibilidade e protagonismo social.*⁷⁵

É muito provável que essas menções, observadas na maioria dos livros analisados, se deva por motivos dos critérios eliminatórios presentes no edital.

Essa questão também é encontrada nas orientações e critérios de análises avaliativas propostas pelo PNLD, como pode ser verificado no trecho abaixo presente no guia 2017 para o ensino fundamental de ciências da natureza:

As coleções valorizam os grupos historicamente discriminados, particularmente mulheres e negros, apresentando tais grupos em papéis sociais estratégicos, como profissional atuante na pesquisa científica e no exercício de profissões como a de médico(a). Apresentam a relação de gênero e discussões sobre sexualidade de forma inclusiva e não preconceituosa, convidando o estudante a problematizar a intolerância

⁷⁵ PNLD, Edital 2017, 40.

*existente em relação aos diferentes exercícios da sexualidade e às questões culturais que designam papéis masculinos e femininos na sociedade.*⁷⁶

Por fim, podemos refletir sobre as necessidades de revisão sobre as abordagens historiográficas em História da Ciência presentes nos livros didáticos, assim como as propostas de metodologias didáticas em que essas propostas são apresentadas, para que possamos usufruir das potencialidades dessa área de conhecimento para o ensino de ciências da natureza, assim como na promoção da criticidade nos estudantes, mesmo estando cientes de essa não seja o único ponto para a melhoria na qualidade da educação científica.

⁷⁶ PNLD 2017, Ciências, 36

Capítulo 3

A construção do conhecimento em História da Ciência - O modelo de DNA de Watson e Crick: uma proposta de sequência didática

Como já comentado nos capítulos anteriores, esse episódio sobre um modelo para a estrutura do DNA foi marcante para a história da ciência e apresenta um grande potencial para o ensino de ciências da natureza e biologia. No entanto, é raro encontrar exemplos de propostas de aplicação em sala de aula na abordagem histórica de conteúdos envolvidos. Por isso a propusemos uma sequência didática com base nas pesquisas desenvolvidas para esta dissertação.

Uma sequência didática é um agrupamento de atividades entrelaçadas, que sejam organizadas e planejadas de acordo com determinados objetivos que o professor deseje alcançar em termos de aprendizagem de seus alunos.

A abordagem histórica deve ser feita sobre conteúdos que o professor usualmente trate em seu curso. Aqui no caso o DNA e os estudos sobre genética e hereditariedade, são temáticas bastante presentes nos planejamentos dos cursos de biologia.

Portanto, esta sequência didática é proposta para o curso de biologia para o ensino médio, no contexto da temática genética, no que se refere a compreensão sobre o conhecimento dos genes, duplicação e transcrição gênica. Foi planejada para a terceira série do ensino médio, mas pode ser aplicada também em outras séries, pois localização dessa temática depende da organização curricular de cada escola.

Objetivos:

- O principal objetivo desta sequência didática é criar condições para que os alunos possam compreender que o conhecimento científico se dá por meio de um processo de construção coletiva.
- Conheçam os principais eventos que contribuíram para a proposta do modelo da molécula de DNA proposto por Watson e Crick.

Proposta didática:

1- O modelo da estrutura da molécula de DNA é um símbolo bastante conhecido e utilizado nos dias de hoje. Podemos encontra-la até em rótulos de produtos populares, como algumas embalagens de shampoo. Com o intuito de localizar os alunos frente à proposta da aula, o professor pode apresentá-la, perguntado o que já sabem sobre a tal representação. Na internet é possível encontrar esse modelo facilmente, mas ele também está disponível no texto proposto nesta sequência didática. É provável que os alunos reconheçam que se trata de uma imagem que representa a molécula de DNA, que está relacionado à genética e até a alimentos transgênicos, por exemplo.

2- Na sequência, o professor pode perguntar se os alunos sabem quem desenvolveu e quando essa estrutura foi proposta. É provável que os alunos não saibam dessas informações, mas serve como motivadora para o trecho da reportagem abaixo que destaca os 60 anos em que esse modelo foi proposto. O título dessa reportagem traz a ideia de descoberta da estrutura. Essa denominação será importante para as questões reflexivas que serão propostas no final da sequência didática. Dessa forma, o professor pode propor uma leitura coletiva desse trecho de reportagem.

Descoberta da estrutura do DNA faz 60 anos

[...]

Sem conhecer a estrutura da molécula de DNA, seria impossível entender como funciona. E, sem entender como o DNA funciona, seria impossível entender como a vida funciona. A existência do DNA (ácido desoxirribonucleico) já era conhecida desde o fim do século 19, mas sua estrutura molecular (e portanto suas funções essenciais) permaneceu um mistério até Watson e Crick a desvendarem. O trabalho histórico, curto e elegantemente simples, com apenas uma página e um desenho, foi publicado em 25 de abril de 1953 na revista científica britânica Nature.

Fonte: adaptado de - <https://www.estadao.com.br/noticias/geral,descoberta-da-estrutura-do-dna-faz-60-anos,1025378>. Acessado em 25/06/2018.

3- As informações apresentadas no trecho dessa reportagem podem motivar o professor a apresentar o artigo original, em inglês, aos alunos. Esse artigo está presente nas figuras 10 e 11, encontradas abaixo. Apresentamos também, a seguir, uma versão traduzida para a língua portuguesa, caso o professor julgue ser interessante fazer uma leitura de algumas partes do mesmo. O objetivo aqui não é realizar a leitura do artigo inteiro, pois os termos e conceitos descritos não são de domínios dos alunos dessa faixa etária e nem fazem parte dos currículos em ciências da natureza e biologia para a educação básica. Assim por exemplo conceitos de distâncias de Van der Waals, ligações de hidrogênio e formas tautoméricas, podem não ser compreendidos pelos alunos.

Portanto, nesse caso, o professor pode chamar a atenção dos alunos para alguns aspectos discutidos nesta dissertação, tais como:

- o fato de um artigo tão importante apresentar apenas uma página na revista *Nature*. No artigo original, reproduzido nas figuras... a seguir, é possível verificar o quão enxuta foi essa publicação.

- a menção feita a outros cientistas, principalmente Pauling, Chargaff e Donohue. *Destacamos os seguintes trechos que tais cientistas são mencionados:*

“Uma estrutura para o ácido nucléico já foi proposta por Pauling e Corey (1953). Eles gentilmente permitiram que tivéssemos acesso a seu manuscrito antes da sua publicação. O modelo que eles propõem consiste de três cadeias entrelaçadas...”;

“Foi observado experimentalmente (Chargaff, Wyatt, 1952) que a razão entre as quantidades de adenina e timina, e a razão entre guanina e citosina são sempre muito próximas da unidade para o ácido desoxirribonucléico.”

“Agradecemos muito ao Dr. Jerry Donohue pelos conselhos constantes e pelos comentários críticos, especialmente no que se refere às distâncias inter-atômicas.”

- a ausência de menções à determinante contribuição dos resultados experimentais de R. Franklin para a construção do modelo.

O foco principal dessas atividades está nas reflexões sobre o processo de construção coletiva e as diversas contribuições de outros cientistas que fazem parte desse episódio histórico. Portanto, o professor pode chamar a atenção para esses cientistas mencionados, pois suas contribuições serão descritas no texto proposto nesta sequência didática. No caso da R. Franklin, que não é mencionada no artigo, o professor pode apresentá-la aos alunos como uma das principais estudiosas que contribuíram para a construção dessa proposta, conforme será também descrito no texto.

equipment, and to Dr. G. E. R. Deacon and the captain and officers of R.R.S. *Discovery II* for their part in making the observations.

¹ Young, F. B., Gerrard, H., and Jevons, W., *Phil. Mag.*, **40**, 149 (1920).

² Longuet-Higgins, M. S., *Mon. Not. Roy. Astro. Soc., Geophys. Supp.*, **5**, 285 (1949).

³ Von Arx, W. S., *Woods Hole Papers in Phys. Oceanogr. Meteor.*, **11** (3) (1956).

⁴ Ekman, V. W., *Arkiv. Mat. Astron. Fysik. (Stockholm)*, **2** (11) (1905).

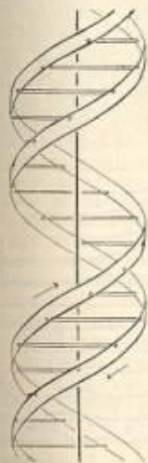
MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey¹. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three intertwined chains, with the phosphates near the fibre axis, and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons: (1) We believe that the material which gives the X-ray diagrams is the salt, not the free acid. Without the acidic hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphates near the axis will repel each other. (2) Some of the van der Waals distances appear to be too small.

Another three-chain structure has also been suggested by Fraser (in the press). In his model the phosphates are on the outside and the bases on the inside, linked together by hydrogen bonds. This structure as described is rather ill-defined, and for this reason we shall not comment on it.



This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis.

We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). We have made the usual chemical assumptions, namely, that each chain consists of phosphate-ester groups joining β -D-deoxy-ribofuranose residues with 3',5' linkages. The two chains (but not their bases) are related by a dyad perpendicular to the fibre axis. Both chains follow right-handed helices, but owing to the dyad the sequences of the atoms in the two chains run in opposite directions. Each chain loosely resembles Furberg's² model No. 1; that is, the bases are on the inside of the helix and the phosphates on the outside. The configuration of the sugar and the atoms near it is close to Furberg's 'standard configuration', the sugar being roughly perpendicular to the attached base. There

is a residue on each chain every 3.4 Å, in the z-direction. We have assumed an angle of 36° between adjacent residues in the same chain, so that the structure repeats after 10 residues on each chain, that is, after 34 Å. The distance of a phosphorus atom from the fibre axis is 10 Å. As the phosphates are on the outside, cations have easy access to them.

The structure is an open one, and its water content is rather high. At lower water contents we would expect the bases to tilt so that the structure could become more compact.

The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. The planes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical z-co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position 1 to pyrimidine position 1; purine position 6 to pyrimidine position 6.

If it is assumed that the bases only occur in the structure in the most plausible tautomeric forms (that is, with the keto rather than the enol configurations) it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are: adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

In other words, if an adenine forms one member of a pair, on either chain, then on these assumptions the other member must be thymine; similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain does not appear to be restricted in any way. However, if only specific pairs of bases can be formed, it follows that if the sequence of bases on one chain is given, then the sequence on the other chain is automatically determined.

It has been found experimentally^{3,4} that the ratio of the amounts of adenine to thymine, and the ratio of guanine to cytosine, are always very close to unity for deoxyribose nucleic acid.

It is probably impossible to build this structure with a ribose sugar in place of the deoxyribose, as the extra oxygen atom would make too close a van der Waals contact.

The previously published X-ray data^{5,6} on deoxyribose nucleic acid are insufficient for a rigorous test of our structure. So far as we can tell, it is roughly compatible with the experimental data, but it must be regarded as unproved until it has been checked against more exact results. Some of these are given in the following communications. We were not aware of the details of the results presented there when we devised our structure, which rests mainly though not entirely on published experimental data and stereochemical arguments.

It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.

Full details of the structure, including the conditions assumed in building it, together with a set of co-ordinates for the atoms, will be published elsewhere.

We are much indebted to Dr. Jerry Donohue for constant advice and criticism, especially on interatomic distances. We have also been stimulated by a knowledge of the general nature of the unpublished experimental results and ideas of Dr. M. H. F. Wilkins, Dr. R. E. Franklin and their co-workers at

Figura 10 - Página inicial do artigo de Watson e Crick, publicado na revista *Nature* em abril de 1953.

King's College, London. One of us (J. D. W.) has been aided by a fellowship from the National Foundation for Infantile Paralysis.

J. D. WATSON
F. H. C. CRICK

Medical Research Council Unit for the
Study of the Molecular Structure of
Biological Systems,
Cavendish Laboratory, Cambridge.
April 2.

Francis Crick

- ¹ Fauling, L., and Corey, R. B., *Nature*, **171**, 346 (1952); *Proc. U.S. Nat. Acad. Sci.*, **39**, 84 (1953).
² Furlberg, S., *Acta Chem. Scand.*, **6**, 634 (1952).
³ Chargaff, E., for references see Zamenhof, S., Braverman, G., and Chargaff, E., *Biochim. et Biophys. Acta*, **9**, 462 (1952).
⁴ Wyatt, G. B., *J. Gen. Physiol.*, **36**, 201 (1952).
⁵ Astbury, W. T., *Symp. Soc. Exp. Biol.*, **1**, Nucleic Acid, 66 (Camb. Univ. Press, 1947).
⁶ Wilkins, M. H. F., and Randall, J. T., *Biochim. et Biophys. Acta*, **10**, 192 (1953).

Molecular Structure of Deoxyribose Nucleic Acids

WHILE the biological properties of deoxyribose nucleic acid suggest a molecular structure containing great complexity, X-ray diffraction studies described here (cf. Astbury¹) show the basic molecular configuration has great simplicity. The purpose of this communication is to describe, in a preliminary way, some of the experimental evidence for the polynucleotide chain configuration being helical, and existing in this form when in the natural state. A fuller account of the work will be published shortly.

The structure of deoxyribose nucleic acid is the same in all species (although the nitrogen base ratios alter considerably) in nucleoprotein, extracted or in cells, and in purified nucleate. The same linear group of polynucleotide chains may pack together parallel in different ways to give crystalline²⁻⁵, semi-crystalline or paracrystalline material. In all cases the X-ray diffraction photograph consists of two regions, one determined largely by the regular spacing of nucleotides along the chain, and the other by the longer spacings of the chain configuration. The sequence of different nitrogen bases along the chain is not made visible.

Oriented paracrystalline deoxyribose nucleic acid ('structure B' in the following communication by Franklin and Gosling) gives a fibre diagram as shown in Fig. 1 (cf. ref. 4). Astbury suggested that the strong 3.4-A. reflexion corresponded to the inter-nucleotide repeat along the fibre axis. The ~34 A. layer lines, however, are not due to a repeat of a polynucleotide composition, but to the chain configuration repeat, which causes strong diffraction as the nucleotide chains have higher density than the interstitial water. The absence of reflexions on or near the meridian immediately suggests a helical structure with axis parallel to fibre length.

Diffraction by Helices

It may be shown⁶ (also Stokes,⁷ unpublished) that the intensity distribution in the diffraction pattern of a series of points equally spaced along a helix is given by the squares of Bessel functions. A uniform continuous helix gives a series of layer lines of spacing corresponding to the helix pitch, the intensity distribution along the n th layer line being proportional to the square of J_n , the n th order Bessel function. A straight line may be drawn approximately through

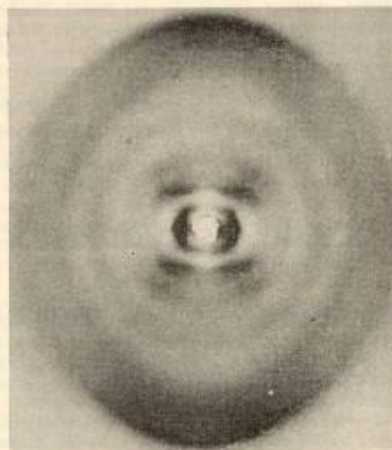


Fig. 1. Fibre diagram of deoxyribose nucleic acid from *E. coli*. Fibre axis vertical.

the innermost maxima of each Bessel function and the origin. The angle this line makes with the equator is roughly equal to the angle between an element of the helix and the helix axis. If a unit repeats n times along the helix there will be a meridional reflexion (J_n^2) on the n th layer line. The helical configuration produces side-bands on this fundamental frequency, the effect⁸ being to reproduce the intensity distribution about the origin around the new origin, on the n th layer line, corresponding to C in Fig. 2.

We will now briefly analyse in physical terms some of the effects of the shape and size of the repeat unit or nucleotide on the diffraction pattern. First, if the nucleotide consists of a unit having circular symmetry about an axis parallel to the helix axis, the whole diffraction pattern is modified by the form factor of the nucleotide. Second, if the nucleotide consists of a series of points on a radius at right-angles to the helix axis, the phases of radiation scattered by the helices of different diameter passing through each point are the same. Summation of the corresponding Bessel functions gives reinforcement for the inner-

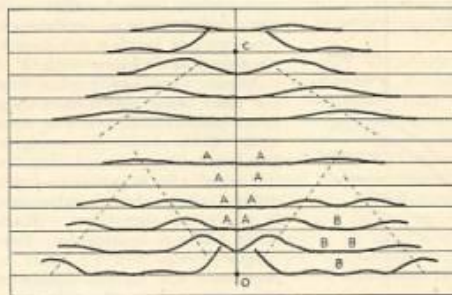


Fig. 2. Diffraction pattern of system of helices corresponding to structure of deoxyribose nucleic acid. The squares of Bessel functions are plotted about 0 on the equator and on the first, second, third and fifth layer lines for half of the nucleotide mass at 20 A. diameter and remainder distributed along a radius, the mass at a given radius being proportional to the radius. About C on the tenth layer line similar functions are plotted for an outer diameter of 12 A.

Figura 11- Final do artigo de Watson e Crick, onde são apresentadas as referências bibliográficas. O artigo seguinte traz a foto 51, publicada por Franklin e Gosling.

Artigo original traduzido por: Ildeu de castro Moreira.

Nature v. 171, n. 4356, 1953 p. 737-738

Uma Estrutura para o Ácido Desoxirribonucléico

J.D. Watson e F.H.C. Crick

Laboratório Cavendish, Cambridge

Gostaríamos de sugerir uma estrutura para o sal de ácido desoxirribonucléico (D.N.A.). Essa estrutura tem características inusitadas que são de interesse biológico considerável.

Uma estrutura para o ácido nucléico já foi proposta por Pauling e Corey (1953). Eles gentilmente permitiram que tivéssemos acesso a seu manuscrito antes da sua publicação. O modelo que eles propõem consiste de três cadeias entrelaçadas com os fosfatos próximos do eixo do filamento e as bases localizadas na parte externa. Em nossa opinião, essa estrutura é insatisfatória por duas razões: (1) Acreditamos que o material que fornece os diagramas de raios-X é o sal, não o ácido livre. Sem os átomos acídicos de hidrogênio não é claro que forças manteriam a estrutura unida, especialmente porque os fosfatos negativamente carregados que estão perto do eixo se repelirão uns aos outros. (2) Algumas das distâncias de Van der Waals parecem ser muito pequenas.

Outra estrutura com três cadeias foi também sugerida por Fraser (no prelo). Nesse modelo, os fosfatos estão situados na parte externa e as bases na parte de dentro, mantidas juntas por ligações de hidrogênio. A estrutura tal como descrita é mal definida, e por essa razão não a comentaremos.

Queremos propor uma estrutura radicalmente diferente para o sal de ácido desoxirribonucleico. Essa estrutura tem duas cadeias helicoidais, cada uma delas enrolada em torno do mesmo eixo (veja o diagrama). Fizemos as suposições químicas usuais, ou seja, que cada cadeia consiste de grupos fosfato diester que ligam resíduos de b-D-desoxirribose com ligações 3', 5'. As duas cadeias (mas não suas bases) estão ligadas por um par (díade) perpendicular ao eixo da fibra. Ambas as cadeias seguem hélices que giram no sentido

dextrógiro, mas, por causa do par, as sequências dos átomos nas duas cadeias vão em direções opostas. Cada cadeia assemelha-se vagamente ao modelo n. 1 proposto por Furberg (1952), isto é, as bases estão do lado de dentro da hélice e os fosfatos na parte externa. A configuração do açúcar e dos átomos perto dele é similar à “configuração padrão” de Furberg, o açúcar sendo aproximadamente perpendicular à base ligada. Há um resíduo em cada cadeia a cada 3,4 Å na direção z. Fizemos a suposição de um ângulo de 36° entre resíduos adjacentes na mesma cadeia, de modo que a estrutura se repete depois de 10 resíduos em cada cadeia, isto é, após 34 Å. A distância de um átomo de fósforo do eixo do filamento é de 10 Å. Como os fosfatos estão na parte externa, cátions têm acesso fácil a eles.

A estrutura é aberta, e seu teor de água é bastante alto. Com conteúdo de água mais baixo esperaríamos que as bases se inclinassem de modo que a estrutura poderia se tornar mais compacta.

A característica nova da estrutura é a maneira pela qual as duas cadeias são mantidas juntas pelas bases purina e pirimidina. Os planos das bases são perpendiculares ao eixo do filamento. Elas estão unidas aos pares, sendo que uma única base de uma cadeia está conectada, por ligação de hidrogênio, a uma única base da outra cadeia, de modo que as duas jazem lado a lado com coordenadas z idênticas. Um dos pares deve ser uma purina e o outro uma pirimidina para que a ligação possa ocorrer. As ligações de hidrogênio são feitas como se segue: purina posição 1 para pirimidina posição 1; purina posição 6 para pirimidina posição 6.

Se supomos que as bases ocorrem na estrutura somente nas formas tautoméricas mais plausíveis (isto é, com a configuração ceto em vez de configuração enol) encontra-se que somente pares específicos de bases podem se ligar. Esses pares são: adenina (purina) com timina (pirimidina), e guanina (purina) com citosina (pirimidina).

Em outras palavras, se uma adenina constitui o elemento de um par, em qualquer uma das cadeias, então, sob essas suposições, o outro elemento deve ser timina. O mesmo ocorre para a guanina e a citosina. A sequência de bases em uma única cadeia não parece sofrer qualquer restrição. No entanto, se

apenas pares específicos de bases puderem ser formados, segue-se que se a sequência de bases em uma cadeia for dada, a sequência da outra fica automaticamente determinada.

Foi observado experimentalmente (Chargaff, Wyatt, 1952) que a razão entre as quantidades de adenina e timina, e a razão entre guanina e citosina são sempre muito próximas da unidade para o ácido desoxirribonucléico.

É provavelmente impossível construir essa estrutura com um açúcar ribose no lugar do desoxirribose, porque o átomo extra de oxigênio levaria a um contato de Van der Waals muito próximo.

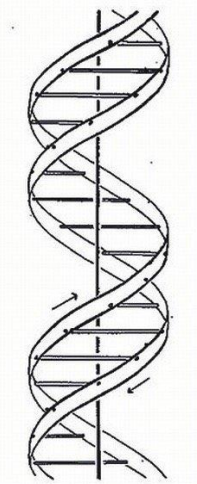
Os dados de raios-X sobre o ácido desoxirribonucléico previamente publicados (Atsbury, 1947; Wilkins e Randall, 1953) são insuficientes para um teste rigoroso de nossa estrutura. Até onde podemos afirmar, ela é aproximadamente compatível com os dados experimentais, mas isso deve ser considerado como não comprovado até que tenha sido verificado com dados mais precisos. Alguns desses dados experimentais serão apresentados nas comunicações seguintes. Não tínhamos conhecimento dos detalhes dos resultados ali apresentados quando imaginamos nossa estrutura, que está escorada principalmente, embora não inteiramente, sobre dados experimentais publicados e argumentos estereoquímicos.

Não escapou à nossa observação que o pareamento específico que postulamos sugere imediatamente um possível mecanismo de cópia para o material genético.

Detalhes mais completos sobre a estrutura, incluindo as condições que foram supostas ao construí-la, junto com um conjunto de coordenadas para os átomos, serão publicadas em outro local.

Agradecemos muito ao Dr. Jerry Donohue pelos conselhos constantes e pelos comentários críticos, especialmente no que se refere às distâncias inter-atômicas. Fomos também estimulados pelo conhecimento da natureza geral de resultados experimentais não publicados e idéias do Dr. M.H. Wilkins, Dra. R.E. Franklin e seus colaboradores no King's College, Londres. Um de nós (J.D.W.)

recebe o apoio através de uma bolsa da National Foundation for Infantile Paralysis.



Esta figura é simplesmente diagramática. As duas folhas simbolizam as duas cadeias açúcar-fostato e as barras horizontais os pares de bases que mantém juntas as cadeias. A linha vertical indica o eixo da fibra.

Referências Bibliográficas:

Pauling, L. and Corey, R.B. *Nature*, 171:346, 1953; *Proc. U.S. Nat. Acad. Sci.* 39:84, 1953.

Furberg, S. *Acta Chem. Scand.* 6:634, 1952.

Chargaff, E. Para referências veja Zamenhof, S., Brawerman, G., and Chargaff, E. *Biochim et Biophys. Acta* 9:402, 1952.

Wyatt, G.R. *J. Gen. Physiol.* 36:201, 1952.

Astbury, W.T. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 1, *Nucleic Acid*, 66 (Cambridge Univ. Press, 1947)

Wilkins, M.H.F. and Randall, J.T. *Biochim. et Biophys. Acta* 10:192, 1953.

4- Após a breve análise do artigo original e da discussão das questões acima sugeridas, o professor pode agora propor a leitura do texto em que descreve eventos históricos importantes que contribuíram para a construção do modelo de DNA por Watson e Crick. Esse texto é uma adaptação do capítulo 1 desta

dissertação e encontra-se a seguir. Após essa leitura, serão apresentadas questões de interpretação e reflexão que serão debatidas com os alunos.

A construção coletiva do modelo de DNA

Em 25 de abril de 1953 os cientistas James D. Watson (1928) e Francis Crick (1916-2004) publicaram um artigo na prestigiada revista *Nature*⁷⁷, trazendo uma proposta em dupla hélice para a estrutura da molécula de DNA. Nove anos mais tarde, em 1962, esses dois pesquisadores, em parceria com o também cientista Maurice Wilkins (1916-2004), receberam o prêmio Nobel de fisiologia ou medicina por esse feito. Esse foi considerado um dos mais importantes acontecimentos da ciência no século XX e que permitiu o grande desenvolvimento da biologia molecular.

Meses antes da publicação da proposta do modelo da molécula de DNA de Watson e Crick, em fevereiro de 1953, Linus Pauling (1901-1994) e Robert Corey (1897-1971), cientistas do CALTECH⁷⁸ (Instituto de Tecnologia da Califórnia) já haviam publicado um artigo propondo uma estrutura para a molécula de DNA⁷⁹.

Naquele período, Pauling era reconhecido como um dos grandes químicos de estruturas de moléculas orgânicas. Dentre suas propostas, aquela que mais se destacou foi o modelo da estrutura das proteínas alfa-hélice, a qual lhe rendeu o prêmio Nobel de química em 1954. Por seus feitos contra testes submarinos com bombas atômicas, Pauling também recebeu o Nobel de paz em 1962.⁸⁰

A forma de pensamento e elaboração dos modelos das estruturas moleculares que Pauling desenvolvia eram bastante peculiares. Ele se utilizava inicialmente de lápis e papel para escrever e desenhar suas ideias, e depois de

⁷⁷ Saiba mais informações sobre esse prêmio em: The official web site of the Nobel Prize, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/index.html

⁷⁸ California Institute of Technology, <http://www.caltech.edu/>

⁸⁰ Para saber sobre a história que levou Pauling a receber o Nobel da paz, consulte: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/1962/pauling-bio.html

materiais concretos para construir as configurações espaciais sobre as ligações entre os átomos. A figura 1 mostra o modelo construído por Pauling para a molécula da alfa-hélice e a figura 2 um exemplo dos registros manuscritos para a construção do modelo da molécula de DNA, em novembro de 1952.

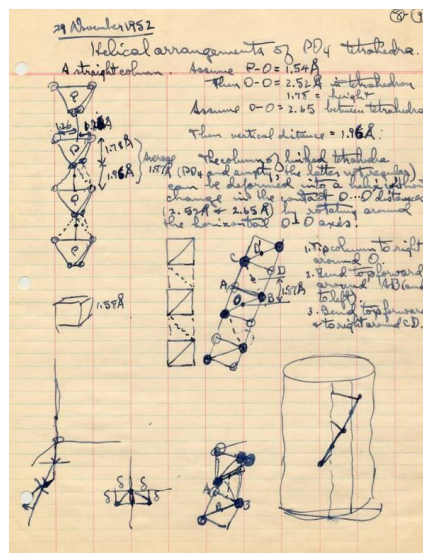
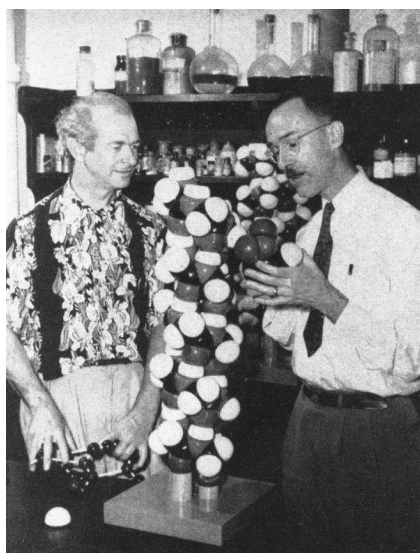


Figura 3 - Pauling e Corey analisando o modelo construído para a molécula proteica de alfa-hélice. ⁸¹ **Figura 4 - Um exemplo dos manuscritos de Pauling para a construção do modelo da molécula de DNA.** ⁸²

Antes mesmo da publicação, Linus Pauling enviou duas cópias de seu de seu artigo sobre a estrutura da molécula de DNA a Londres. Uma endereçada ao diretor do laboratório Cavendish e outra ao seu filho Peter Pauling (1931-2003) que também desenvolvia pesquisas no mesmo laboratório que Watson e Crick, o próprio laboratório Cavendish na Universidade de Cambridge.

James D. Watson, diplomado em biologia pela Universidade de Chicago, teve acesso à cópia do artigo dessa proposta que foi endereçada a Peter Pauling. Ao observar brevemente o artigo, ele verificou que algo poderia estar errado, pois Pauling propunha um modelo semelhante à proposta que o próprio Watson em parceria com Francis Crick havia anunciado, sem sucesso, quinze meses antes.

⁸¹ Imagem obtida em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/pictures/portrait-paulingcorey.html>

⁸² <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/notes/1952a.22-ms-08.html>

Em seu artigo, Pauling e Corey, propunham um modelo de DNA formado por três hélices centrais, como mostra o trecho abaixo:

“A explicação alternativa dos dados de raios-x é que a molécula é formada por três cadeias, que são enroladas uma sobre a outra. A estrutura que propomos é uma estrutura de três cadeias, sendo cada cadeia uma hélice...”⁸³

Uma das questões mais criticadas nesse modelo, está relacionada à configuração espacial da molécula. Segundo a proposta, a parte interna de cada hélice era formada por grupos açúcar-fosfato e as bases nitrogenadas, purinas e pirimidinas, na parte externa da molécula, como mostra a figura 3.

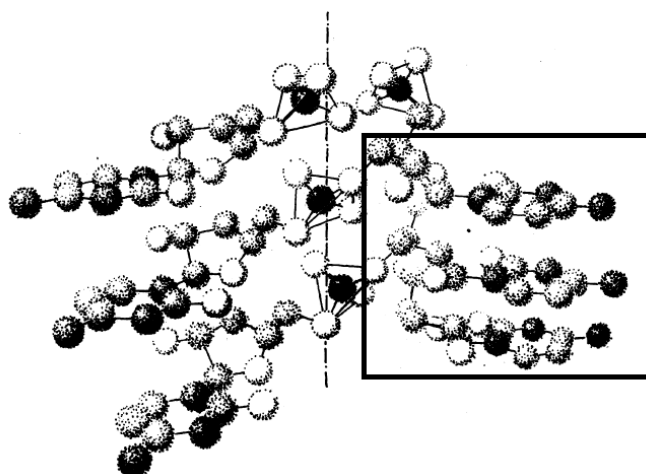


Figura 3- Na molécula de DNA proposta por Pauling e Corey é possível verificar que os grupos açúcar-fosfato estão na parte interna e as bases nitrogenadas (em destaque) na parte externa da molécula.

No dia 21 de março de 1953, dias antes da publicação do artigo na *Nature*, Watson e Crick enviaram uma carta a Linus Pauling, relatando que haviam proposto uma nova estrutura para o DNA. Nessa carta, os autores relatam que mencionaram a estrutura de Pauling e Corey no artigo, solicitando a permissão para o relato das mudanças entre as duas propostas.

O artigo de Watson e Crick iniciava-se relatando que ambos tiveram acesso ao manuscrito de Pauling e Corey antes mesmo da publicação:

⁸³ Essa imagem está disponível no artigo de Pauling and Corey, “A proposed structure for the nucleic acids,” 87.

“Uma estrutura para o ácido nucléico já foi proposta por Pauling e Corey (1953). Eles gentilmente permitiram que tivéssemos acesso a seu manuscrito antes da sua publicação”.⁸⁴

Logo após os autores iniciam suas críticas em relação à proposta da molécula de DNA de Pauling e Corey, apontando dois problemas relacionados ao modelo de três hélices com os grupos açúcar-fosfato na parte interna e as bases nitrogenadas na parte externa da molécula.

O terceiro cientista a dividir o prêmio Nobel em 1962, por ter contribuído na construção do modelo de DNA, o físico Maurice Wilkins, desenvolvia trabalhos com o DNA, mais especificamente, com a técnica de cristalografia, que tirava fotos de difração de raios-X de amostras de DNA cristalizado.

Embora não trabalhassem juntos, Wilkins também era pesquisador do laboratório do King's College em Londres, onde a física Rosalind Franklin (1920-1958) realizava suas pesquisas. Franklin havia se especializado na técnica de fotografia de difração de raio-X e, junto de seu aluno de pós-graduação Raymond Gosling (1926-2015), conseguiram aquela que seria uma das principais evidências sobre a estrutura da molécula de DNA.

A famosa foto 51 foi tirada em uma amostra de DNA da forma B, com maior proporção de água, diferentemente da forma A, utilizada até então, que apresentava resultados menos expressivos, como as imagens utilizadas como base para a construção da proposta de Pauling e Corey.

Talvez a questão mais discutida e criticada em relação à publicação e ao prêmio Nobel, concedido aos cientistas, esteja relacionado à ética no meio científico e também ao não reconhecimento dos trabalhos de Franklin. James Watson teve acesso à foto 51 por meio de Wilkins, sem que Franklin soubesse, quando visitou o laboratório do King's College para mostrar o manuscrito de Pauling com a intenção de confirmar as falhas naquela proposta. Apresentar a foto 51 a Watson, provavelmente tenha sido a mais significativa contribuição de Wilkins para a construção do modelo de DNA.

⁸⁴ Watson and Crick, “A structure for desoxyribose nucleic acid”, 737.

Ao observar brevemente a foto 51 (figura 4), Watson verificou resultados bastante reveladores sobre a possível estrutura do DNA, podendo concluir que a molécula era uma hélice, como mostra seu relato:

“No instante em que vi a imagem, minha boca se abriu e meu coração disparou. O padrão era incrivelmente mais simples do que o anterior (forma "A"). Além do mais, a cruz negra de reflexos que dominava a imagem só poderia surgir de uma estrutura helicoidal.”⁸⁵



Figura 4- A foto 51 obtida por Franklin e Gosling, a partir da amostra da forma B do DNA cristalizado.

Watson e Crick eram admiradores de Linus Pauling. Para o desenvolvimento de suas ideias sobre a estrutura do DNA, buscaram inspiração nos métodos utilizados por Pauling, como a construção de modelos tridimensionais utilizando materiais concretos produzidos na oficina do próprio Laboratório Cavendish. A imagem abaixo (figura 5) mostra o modelo da estrutura do DNA construído pela dupla.

⁸⁵ Mais informações podem ser encontradas no livro que Watson escreveu sobre esse episódio. Watson, *A dupla hélice*, 158.

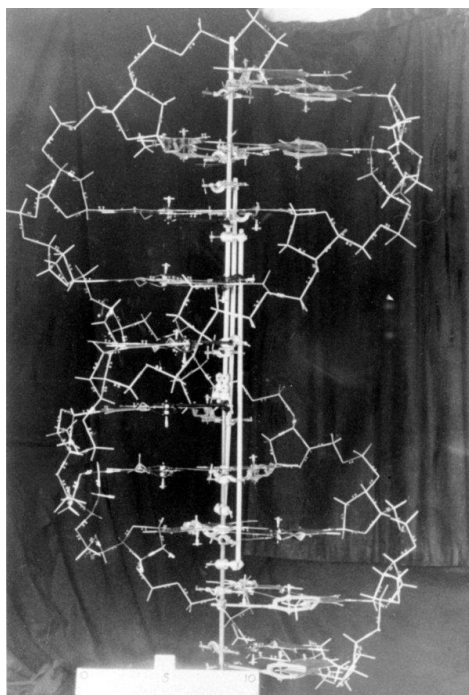


Figura 5 - Modelo da molécula de DNA construído com materiais concretos por Watson e Crick.

A transcrição abaixo mostra uma carta de agradecimento enviada à Pauling em 1962, ano em que a dupla recebeu o prêmio Nobel, onde Francis Crick demonstra sua admiração e inspiração no trabalho do colega cientista:

“Caro professor Pauling,

Muito obrigado pela sua carta de parabéns. (...)

Tenho certeza de que na verdade não tenho que lhe dizer, mas Jim e eu sempre estaremos conscientes da profunda influência que seu trabalho sobre a hélice α teve na nossa abordagem da estrutura do DNA.

Francis Crick

Com os melhores cumprimentos

Com todos os bons desejos”⁸⁶

O artigo publicado por Watson e Crick também fez referências às contribuições e influências de outros trabalhos e cientistas, para a construção do modelo de DNA. No parágrafo final desse artigo, a dupla comenta sobre a

⁸⁶ Uma cópia dessa carta pode ser encontrada em: Linus Pauling and the race of DNA, <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/corr/corr68.11-crick-lp-19621024.html>

importante contribuição do jovem químico teórico americano Jerry Donohue (1920-1985):

Agradecemos muito ao Dr. Jerry Donohue pelos conselhos constantes e pelos comentários críticos, especialmente no que se refere às distâncias interatômicas.⁸⁷

Donohue, que havia sido parceiro do prestigiado químico Linus Pauling (1901-1994) no laboratório Caltech em Pasadena Califórnia, era especialista em ligações químicas. Ele, em uma passagem por Cambridge no laboratório Cavendish, teve contato com Watson e Crick, no período em que a dupla finalizava a proposta para a estrutura da molécula de DNA.

Em uma correspondência endereçada a Pauling em 20 março de 1953, Donohue comenta sobre a engenhosa proposta do modelo construído pela dupla e a intenção de enviá-lo à Pauling antes da publicação na revista *Nature*.⁸⁸

A contribuição de Donohue foi fundamental para que a dupla resolvesse problemas na estrutura do modelo que estavam construindo, pois as algumas bases nitrogenadas apresentavam formas erradas em suas ligações químicas.

Inicialmente, Watson e Crick pensavam em parear bases nitrogenadas iguais no centro do DNA, como adenina com adenina, timina com timina e assim por diante. Em sua análise para a proposta da estrutura do DNA, Donohue apontou à dupla que a mesma não funcionaria, pois não haveria arranjo espacial possível para acomodar as bases nitrogenadas.

Por consequência, a correção nas formas das bases nitrogenadas possibilitou à dupla rever as ligações entre as moléculas e relacioná-las aos resultados dos experimentos do bioquímico austríaco Erwin Chargaff (1905-2002), na Universidade Columbia, sobre medidas nas proporções das quantidades de cada base nitrogenada do DNA, obtidas em diferentes tecidos de diferentes espécies de seres vivos.

⁸⁷ Watson and Crick, "A structure for desoxyribose nucleic acid", 737-738

⁸⁸ Uma cópia dessa carta pode ser encontrada em:
<http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/dna/corr/sci9.001.31-donohue-lp-19530320.html>

Os resultados obtidos nos trabalhos de Chargaff mostravam que a proporção da base nitrogenada adenina era semelhante a proporção da base timina. A mesma relação se aplicava entre as bases guanina e citosina. Com isso formulou-se a regra de Chargaff de 1:1 entre as bases nitrogenadas.

O reconhecimento dos resultados dos experimentos de Chargaff para a construção do modelo da molécula de DNA também foram considerados por Watson e Crick, como mostrado no trecho abaixo registrado no artigo da dupla:

“Foi observado experimentalmente (Chargaff, Wyatt, 1952) que a razão entre as quantidades de adenina e timina, e a razão entre guanina e citosina são sempre muito próximas da unidade para o ácido desoxirribonucleico”⁸⁹.

No entanto, mesmo diante dos resultados das proporções, o pareamento entre as diferentes bases da molécula de DNA não foi interpretado inicialmente por Chargaff. Tal pareamento havia sido pensado por Crick⁹⁰ diante do conhecimento sobre as proporções das bases, mas somente com as observações de Donohue sobre as formas moleculares, foi possível aliviar o incômodo e reverter a ideia da ligação entre bases idênticas, como mostra o relato de Watson:

“Francis também não gostava do fato de que a estrutura não apresentava explicação para as regras de Chargaff (adenina equivale a timina, guanina equivale a citosina).”⁹¹

É importante destacar as diversas contribuições para a construção do modelo de DNA, como os resultados experimentais realizados no laboratório King’s College, principalmente o resultado obtido por R. Franklin e Gosling com a foto 51, o qual foi fundamental para que o modelo do DNA fosse pensado como uma molécula helicoidal. Sobre essa questão, vale ressaltar as críticas em

⁸⁹ Watson and Crick, “A structure for desoxyribose nucleic acid”, 737

⁹⁰ Referências a respeito desse assunto, podem ser encontradas em: Manchester, Historical Opinion: Erwin Chargaff and his ‘rules’ for the base composition of DNA: why did he fail to see the possibility of complementarity?, 69. Também em: Watson, DNA, 62. Além de: Watson, a dupla hélice, 128.

⁹¹ Watson, *A dupla hélice*, 178.

relação à ética no meio científico e ao não reconhecimento aos pesquisadores que produziram essa foto.

Pauling foi uma referência importante, como cientista de estruturas moleculares, para Watson e Crick. Diálogos entre Pauling e outros cientistas que trabalhavam com o DNA nos laboratórios Cavendish e King's College na Inglaterra, também contribuíram para o desenvolvimento das ideias de Watson e Crick. No entanto, a influência dos métodos para construção de modelos moleculares tridimensionais, parece ter sido a principal contribuição de Pauling para a elaboração do modelo da molécula de DNA de Watson e Crick.

As orientações corretivas de Donohue foram fundamentais na reelaboração das formas moleculares das bases nitrogenadas. Com essas correções, a dupla conseguiu interpretar e relacionar os resultados dos trabalhos de Chargaff com a estrutura que estava sendo construída do DNA, propondo o pareamento de bases nitrogenadas diferentes e resolvendo o problema da distorção que ocorria no modelo se as bases iguais fossem pareadas.

Assim, baseados nos estudos de diversos cientistas, Watson e Crick propuseram um novo modelo para a molécula de DNA, formado por duas cadeias de açúcar-fosfato em formato de hélices, ligadas ao pareamento de bases nitrogenadas, purina e pirimidina, na parte interna da molécula. A figura 6 mostra o desenho da molécula de DNA apresentada no artigo publicado na revista *Nature* em 25 de abril de 1953⁹².

⁹² Watson and Crick, "A structure for desoxyribose nucleic acid", 737.

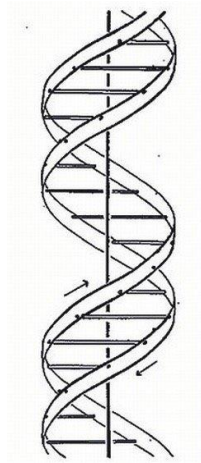


Figura 6- O desenho da molécula de DNA apresentado no artigo da revista *Nature* em 1953

Do que foi analisado neste texto, podemos concluir que este episódio da molécula de DNA mostra muito bem a construção coletiva de conhecimentos científicos, bem como ilustra a ideia comum, porém inadequada de descoberta científica.

5- Como orientado anteriormente, as questões apresentadas abaixo, tem como objetivo fomentar o debate com os alunos sobre esse importante episódio da História da Ciência, onde mostra o processo de construção coletiva de conhecimentos científicos. O professor pode orientar uma discussão inicial entre grupos de alunos a partir das questões abaixo, e depois abrir para um debate com a sala toda, enriquecido com as reflexões e interpretações diversas. O professor, como mediador, pode organizar um cartaz com as ideias debatidas, sistematizando um registro coletivo sobre esse episódio da História da Ciência. As questões são:

O texto que vocês leram baseia-se em documentos históricos cuja interpretação leva a entendimentos sobre as pesquisas que levaram a propostas de estrutura para o DNA.

- Quais as diferenças entre as propostas de Pauling e Corey e de Watson e Crick para a estrutura do DNA?

- A cientista Rosalind Franklin não é mencionada no artigo e nem premiada com o Nobel para esse modelo. Essa cientista contribuiu para a elaboração desse modelo? Ela foi injustiçada? Comente.
- Como foi visto neste episódio, cartas foram trocadas, além das discussões e interpretações de resultados dos trabalhos realizados por outros cientistas. Comente sobre o papel dos diálogos entre os estudiosos.
- Depois de realizar as atividades propostas e a leitura do texto você afirmaria que Watson e Crick descobriram o DNA? Comente.

Resultados esperados:

É esperado, com essa sequência didática, que os alunos possam conhecer o episódio da proposta de um modelo estrutural para a molécula de DNA publicada por Watson e Crick, refletindo sobre os processos que caracterizam a produção de conhecimentos científicos como construções coletivas, valorizando os estudos da História da Ciência para a formação de cidadãos críticos.

Considerações finais

As pesquisas sobre o episódio de elaboração da proposta para a estrutura da molécula de DNA publicada por Watson e Crick, mostraram que esse processo ocorreu graças a contribuições de outros cientistas que foram, inclusive, mencionados no famoso artigo publicado na revista *Nature* em abril de 1953.

Podemos considerar que o cientista Linus Pauling foi uma influência importante para essa construção, como referência na modelagem de estruturas moleculares.

Ressaltamos que o trabalho de Watson e Crick na interpretação dos resultados experimentais de Chargaff, sobre a proporção entre as diferentes bases nitrogenadas da molécula de DNA, somente puderam ser consolidadas por meio das orientações corretivas do cientista Donohue, quanto às estruturas daquelas bases. Com isso, Watson e Crick puderam propor o pareamento de bases nitrogenadas diferentes, resolvendo o problema da distorção que ocorria ao se considerar que as bases iguais fossem pareadas.

Os resultados experimentais obtidos no laboratório King's College, a partir de imagens em cristalografia de difração de raio X, sobretudo a conhecida foto 51 conseguida Franklin e Gosling, foram decisivos para que o modelo estrutural do DNA fosse considerado como uma molécula helicoidal. Devemos destacar as críticas em relação à ética no meio científico e ao não reconhecimento aos pesquisadores que produziram essa foto. Ambos, Franklin e Gosling, não foram mencionados no artigo de Watson e Crick e nem considerados com a premiação do Nobel.

A partir das análises apresentadas no capítulo 2 desta dissertação, podemos considerar que as concepções de história da ciência verificadas nos livros didáticos de ciências da natureza e de biologia, ainda estão defasadas em relação às abordagens historiográficas atuais em história da ciência.

Nos textos de livros didáticos em que esse episódio é proposto, Watson e Crick são apresentados em geral como descobridores da estrutura molecular de DNA, sem ao menos que sejam reconhecidas as diversas e importantes

contribuições de outros cientistas, conferindo o caráter coletivo na elaboração do modelo proposto, que esse episódio ilustra consideravelmente.

Podemos destacar, entretanto, que boa parte dos textos descrevem os trabalhos de Franklin, como a foto 51, como significativos para a construção do modelo da estrutura do DNA, mas também criticam o episódio como uma injustiça com a cientista, pelo não reconhecimento de seus feitos.

Verificamos nas obras analisadas que os contextos socioculturais e históricos são pouco considerados, o que contraria um dos critérios eliminatórios presentes no PNLD 2015 de biologia e 2017 de ciências da natureza, os quais apontam para um ensino em que a história da ciência seja apresentada além de nomes ou datas, e ainda que o contexto social, cultural, econômico e político seja levado em consideração no processo de produção do conhecimento científico.⁹³

Dessa forma, podemos apontar para as necessárias revisões nos livros didáticos de ciências da natureza e biologia, no que se referem às abordagens historiográficas em história da ciência, com o intuito de valorizar o potencial, especialmente para o desenvolvimento do olhar crítico dos estudantes, que esse campo de conhecimento apresenta para a educação científica.

⁹³ PNLD 2017, 28. PNLD 2015, 15.

Referências bibliográficas

- Alfonso-Goldfarb, Ana Maria. *O que é história da ciência?* São Paulo: Brasiliense, 1994.
- Alfonso-Goldfarb, Ana Maria. “Como se daria a construção de áreas interface do saber?” *Kairós* 6, nº 1 (Jun. 2003): 55–66.
- Alfonso-Goldfarb, Ana M. “Documentos, métodos e identidade da história da ciência: Centenário Simão Mathias.” *CIRCUMSCRIBERE* 4 (2008): 5-9.
- Alfonso-Goldfarb, Ana M., Márcia H. M. Ferraz & Maria H. R. Beltran. “A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços.” in *Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*, org. Ana M. Alfonso-Goldfarb & Maria H. R. Beltran, 49-73. São Paulo: EDUC; Livraria Editora da Física; Fapesp, 2004.
- Amabis, José M., Gilberto R. Martho. *Biologia em contexto. Volume único*. São Paulo: Moderna, 2013.
- Andrade, M. A. B.S., Caldeira, A. M. A. “O modelo de DNA e a Biologia Molecular: inserção histórica para o Ensino de Biologia.” *Filosofia e História da Biologia* 4, (2009): 139-165.
- Araribá Plus. *Ciências naturais: Biologia*. São Paulo: Moderna, 2014.

- Beltran, Maria H. R. *História da ciência e ensino: Algumas considerações sobre construção de interfaces*. In: Witter, G. P.; Fujiwara, R. (org). Ensino de ciências e matemática. São Paulo: Ateliê Editorial, (2009): 179-208.
- Beltran, Maria H. R. “História da Química e Ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares.” *Abakós* 1, nº 2 (maio 2013): 67-77.
- Beltran, Maria H. R., & Laís S. P. Trindade. *História da ciência e ensino: Abordagens interdisciplinares*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.
- Beltran, Maria H. R., & Fumikazu Saito. “História da ciência, epistemologia e ensino: uma proposta para atualizar esse diálogo.” In *VIII ENPEC: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências / I CIEC: Congreso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias*. Campinas: ABRAPEC, 2012, pp. 1-8.
- Beltran, Maria. H. R., Ana M. Alfonso-Goldfarb, Márcia H. M. Ferraz, & Maria H. R. Beltran. “A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços.” in *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*, org. Ana M. Alfonso-Goldfarb & Maria H. R. Beltran. (São Paulo: Educ; Fapesp; Livraria da Física, 2004): 49-73.
- BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio*, Brasília: MEC/Semtec, 2000.
- BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, Secretaria de Educação Básica. “Edital de Convocação 02/2015 – CGPLI”. Brasília: MEC, 2017.

- Cachapuz, A., Daniel Gil-Pérez, Anna M. P. Carvalho, João Praia, & Amparo Vilches. *A necessária renovação do ensino das ciências*. São Paulo: Editora Cortez, 2011.
- Cestari, Decio H. "O conceito de descoberta científica: os raios de Roentgen como estudo de caso." Dissertação de mestrado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2015.
- Guia de livro de livros didáticos PNLD 2017, Biologia, Ensino Médio, Brasília, 2016.
- Ferreira, Ricardo. *Watson & Crick: A História da descoberta da estrutura da DNA*. Trad. Celma E. L. A. Hausmann, São Paulo: Odysseus Editora, 2003.
- Franklin, Rosalind E. & Raymond G. Gosling. "The structure of sodium thymonucleate fibres. I. The influence of water content." *Acta Cryst.* 6 (1953): 673-677.
- Gann, Alexander & Jan Witkowski. "The lost correspondence of Francis Crick." *Nature* 467 (September 2010): 519-524.
- Gibbons, Michelle G. "Reassessing Discovery: Rosalind Franklin, Scientific Visualization, and the Structure of DNA." *Philosophy of Science* 79 (January 2012): 63-80.
- Gowdak, Demétrio O., Eduardo L. Martins. *Ciências Novo Pensar 9, Biologia, Química, Física*. São Paulo: FDT, 2017
- Gowdak, Demétrio O., Eduardo L. Martins. *Ciências Novo Pensar 8*. São Paulo: FDT, 2017.

- Guia de Livros Didáticos PNLD 2015: biologia: ensino médio. Brasília, 2014.
- Guia de Livros Didáticos PNLD 2017: ciências, Ensino fundamental anos finais. Brasília, 2016.
- Hausmann, Rudolf. *História da Biologia Molecular*. Ribeirão Preto, SP: Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto, 2002.
- Kay, Lily E. *Who Wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code*. Stanford: Stanford University Press, 2000.
- Livio, Mario. *Tolices Brilhantes: de Darwin a Einstein, os grandes erros dos maiores cientistas*. Trad. Catharina Pinheiro, Rio de Janeiro: Record, 2017.
- Lopes, Sônia, Sergio Rosso. *Conecte Bio, 2*. São Paulo: Saraiva, 2014.
- Manchester, Keith L. "Historical Opinion: Erwin Chargaff and rules for the base composition of DNA: why did he fail to see the possibility of complementarity?" *Trends in Biochemical Sciences* 33 (2008): 65-70.
- Matthews, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
- Moreira, Ildeu C. "50 anos da dupla hélice e as contribuições da física." *Física na Escola* 4, nº 1 (2003): 5-7.
- Mukherjee, Siddhartha. *O Gene: Uma História Íntima*. Trad. Laura T. Motta, São Paulo: Companhia das Letras, 2016.
- Murphy, Michael P., & Luke A.J. O'Neal, orgs. "O Que É Vida?" 50 Anos Depois: Especulações sobre o Futuro da Biologia. São Paulo: Ed. UNESP, 1997.

- Pauling, Linus & Robert B. Corey. "A Proposed Structure for the Nucleic Acids."
Chemistry: 39 (1953): 84-96.
- Pozo, Juan I., & Miguel A. G. Crespo. *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- Salvador, Usberco, José Manoel, Eduardo Schechtmann, Luiz C. Ferrer, Herick M. Velloso. *Campanhas Ciências 8*. São Paulo: Saraiva, 2015.
- Santos, Ana F. "Lavoisier nos livros didáticos: uma Análise à Luz da História da Ciência." Dissertação de mestrado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2015.
- Schrödinger, Erwin. *O Que É Vida? O Aspecto Físico da Célula Viva*. São Paulo: Ed. UNESP, 1997.
- Silva, Marcos R. "As controvérsias a respeito da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice." *Scientiæ zudia* 8, nº 1 (2010): 69-92.
- Silva Júnior, César, Sezar Sasson, & Nelson Caldini Junior. *Biologia, volume único*. São Paulo: Saraiva, 2015.
- Silva Júnior, César, Sezar Sasson, & Nelson Caldini Junior. *Biologia, volume 1*. São Paulo: Saraiva, 2011.
- Thomas, Hager. "The Triple Helix." *Engineering & Science*, nº 1(1996): 23-31.
- Trindade, Lais S. P., Maria H.R. Beltran & Sonia R. Tonetto. *Práticas e estratégias femininas: histórias de mulheres nas ciências da matéria*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

- Vasconcelos, S. D. & Souto, E. “O livro didático de ciências no ensino fundamental – Proposta de critérios para análise do conteúdo zoológico.” *Ciência & Educação* 9, nº 1 (2007):93 - 104.
- Watson, James D. *A dupla hélice*. Trad. Zambujal, Lisboa: Gradiva, 2003. Rui Pedro Alves.
- Watson, James D. *DNA: O Segredo da Vida*. Trad. Carlos A. Malferrari, São Paulo: Companhia das Letras, 2005.
- Watson, James D. & Francis, H.C. Crick. “Molecular Structure of Nucleic Acids. A structure for Desoxyribose Nucleic Acid.” *Nature* 171, nº 4356 (April 1953): 737-738.
- Watson, James D. & Francis, H.C. Crick. “Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid.” *Nature* 4361 (May 30, 1953): 964-967.